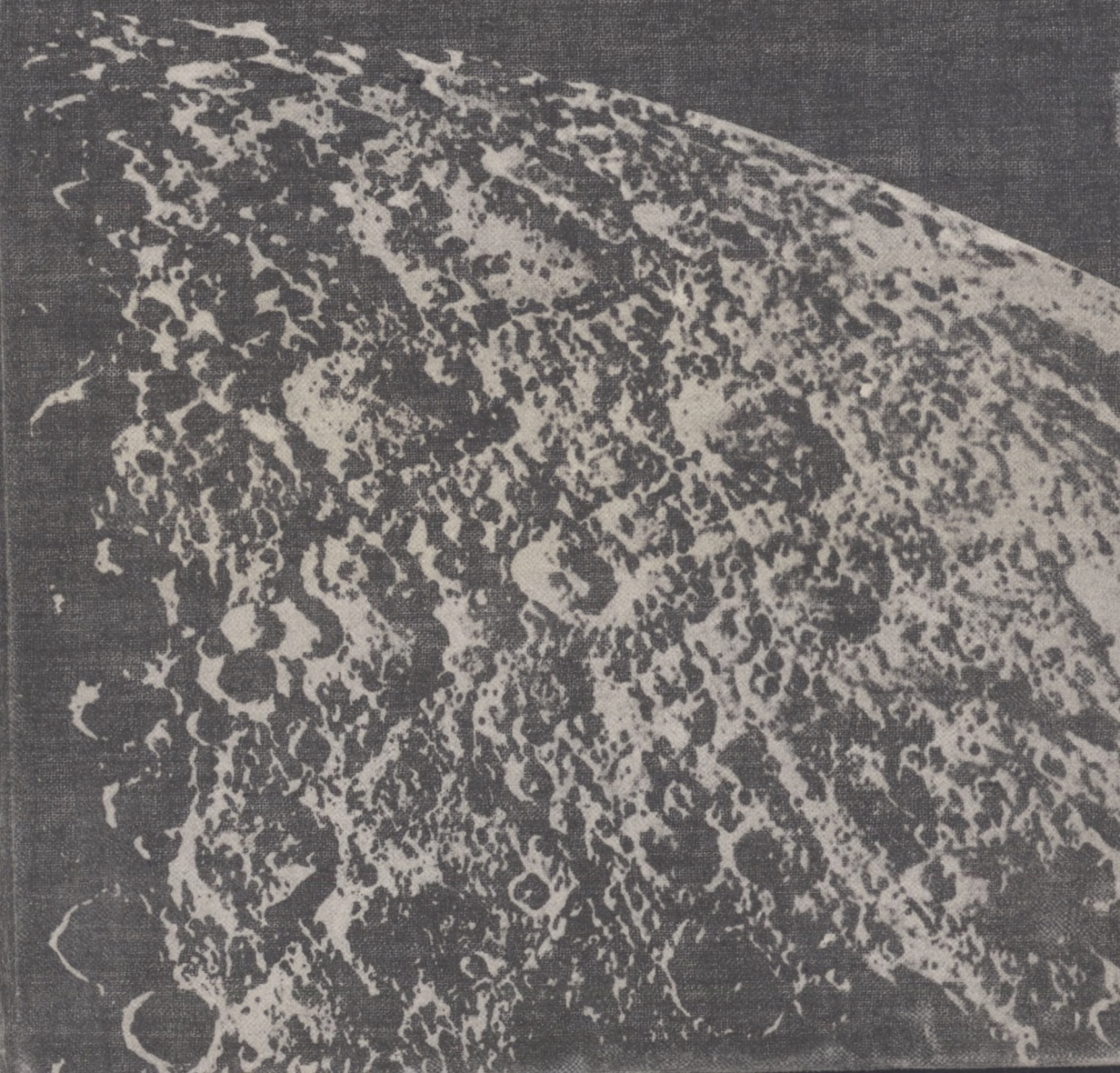


Проблемы
геологии
Луны



Академия наук СССР

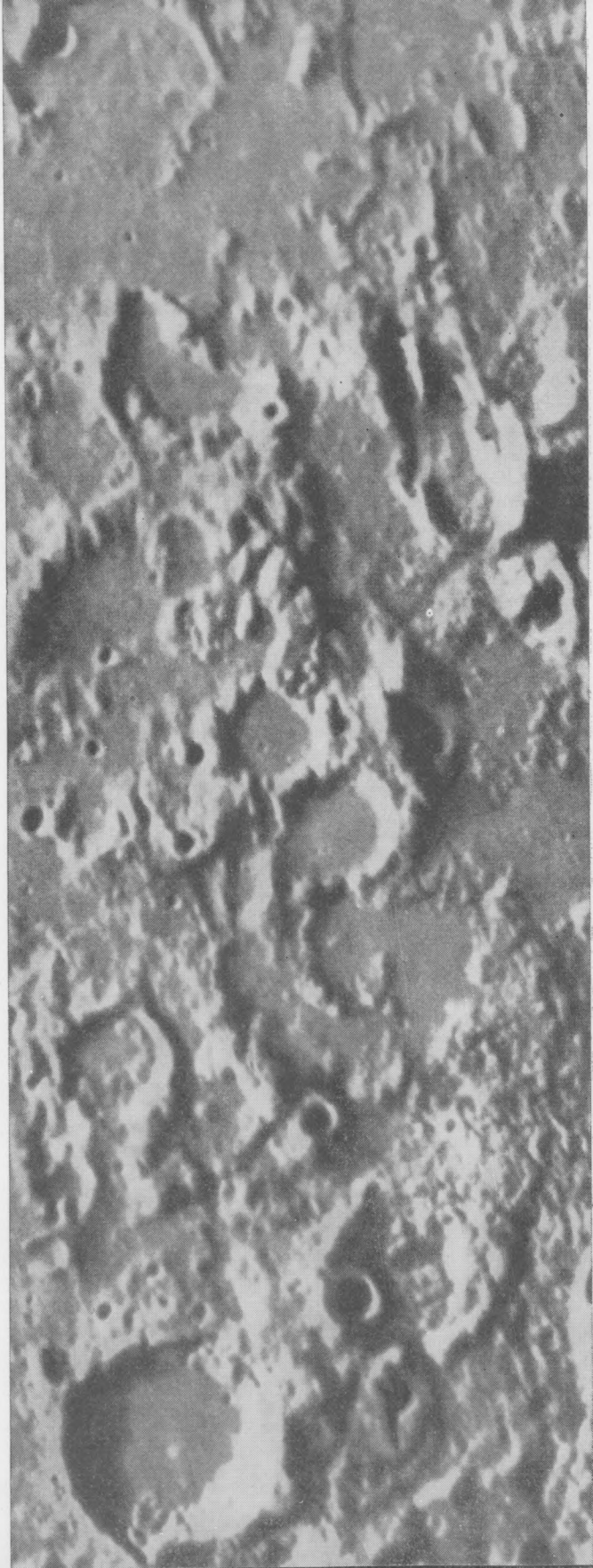
Ордена Трудового Красного Знамени

Геологический институт

ИЗДАНИЕ СССР

Издательство «Мир»

Москва



Проблемы
геологии
Луны



Издательство «Наука»

Москва 1969

ACADEMY OF SCIENCES OF THE USSR
ORDER OF THE RED BANNER OF SABUR
GEOLOGICAL INSTITUTE

PROBLEMS
OF LUNAR GEOLOGY

Publishing Office «Nauka»
Moscow 1969

Редакционная коллегия:

академик А. В. Пейве
Главный редактор

К. И. Кузнецова,
академик В. В. Меннер,
П. П. Тимофеев

Ответственный редактор

А. В. Пейве

Editorial Board:

Academician A. V. Peive
Chief editor

K. I. Kuznetzova,
Academician V. V. Menner,
P. P. Timofeev

Responsible editor

A. V. Peive

Введение

М. С. Марков

Бурные темпы космических исследований делают изучение геологического строения Луны и планет Солнечной системы уже назревшей необходимостью. В связи с этим крайне важны систематизация наших знаний о геологии этих небесных тел и выяснение основных проблем их дальнейшего изучения. Эти исследования имеют огромное значение и для изучения нашей планеты, так как они, несомненно, дадут новый фактический материал для сравнительно-геологического анализа. Такой анализ, с нашей точки зрения, позволит понять и объяснить многие особенности строения и истории развития Земли, в частности выявить те черты ее геологического строения, которые являются общими, и те, которые составляют ее специфику.

Назовем лишь некоторые из таких проблем, которые могут быть решены при сравнительно-геологическом изучении планет Солнечной системы.

1. Установление связей между массой планеты, характером и темпами дифференциации первичного вещества. Выяснение этих связей безусловно поможет лучшему познанию геологии ранних этапов развития Земли.

2. Установление связей между существованием ядра у ряда планет с особенностями поверхностных тектонических структур и в первую очередь с существованием складчатых зон. Сейчас как будто бы намечаются две группы небесных тел Солнечной системы: одна — это тела с отчетливо выраженным ядром, существенным магнитным полем, наличием складчатых зон и четкими следами горизонтальных движений в поверхностных частях коры (Земля); и вторая — тела без тяжелого ядра, с небольшим магнитным полем и слабым развитием горизонтальных движений (Луна, возможно, Марс).

3. Выяснение особенностей пространственного размещения тектонических структур на поверхности различных планет и возможных связей между их распределением и спецификой вращения планет. Даже самая первая сводка материалов по особенностям распределения крупных поверхностных структур Луны и Земли, что будет рассмотрено ниже, показывает, что здесь намечаются некоторые общие для этих тел

закономерности, выяснение причин которых, несомненно, представляется крайне интересным.

4. Изучение взаимосвязи системы Земля — Луна поможет выявить роль приливно-отливных сил в формировании фигур этих небесных тел, в закономерностях размещения регматической сети и тем самым понять значение одного из космических факторов в особенностях строения земной коры.

Таковы лишь некоторые из научных задач, которые могут быть поставлены перед сравнительно-планетологическими исследованиями. Следует также отметить, что изучение геологии других небесных тел может оказать существенное влияние и на геологическую практику. Изучение небесных тел без атмосферы и гидросферы поможет ответить на вопросы генезиса ряда полезных ископаемых, о способах их миграции и концентрации в поверхностных частях коры. Это относится в первую очередь к решению злободневной проблемы происхождения нефти, с решением которой непосредственно связаны прогнозы и поиски нефтяных месторождений на Земле. Очевидно, в ближайшее время будут накоплены наибольшие сведения по геологии Луны. Небольшая масса этого небесного тела определяет то, что на ней практически отсутствуют атмосфера и гидросфера, вследствие чего процессы переноса вещества и осадкообразования на ее поверхности крайне ограничены. Поэтому геологическое изучение Луны и ее сравнение с Землей представляются чрезвычайно интересными. Во-первых, на поверхности Луны мы сможем наблюдать в наиболее чистом виде такие геологические явления, как разломы, вулcano-тектонические структуры, формы, созданные в результате метеоритных бомбардировок. Во-вторых, сравнительное изучение Луны и Земли позволит выявить те структурные формы, образование которых невозможно без существования осадочной оболочки.

Вопросы геологии Луны издавна привлекали к себе внимание русских геологов. Достаточно напомнить о вышедшей в 1922 г. интересной статье А. П. Павлова, в которой давался сравнительный анализ геологического строения Земли и Луны; об изданной в 40-х годах нашего столетия книге А. В. Хабакова, заложившей основы методики геолого-морфологического анализа поверхности Луны.

Поступившие в последние годы обильные материалы в виде телескопических снимков Луны, снимков автоматических станций и спутников делают возможным существенную детализацию имевшихся ранее схематических геологических карт поверхности Луны. Такая работа и была поставлена в Геологическом институте АН СССР в рамках темы по сравнительной планетологии. В настоящем сборнике публикуются некоторые результаты этой работы.

В работах по анализу поверхности Луны в настоящее время наметились два несколько различных методических подхода к составлению карт. Первый из них заключается в выделении на поверхности Луны разных по морфологии структур (круговые моря, таласоиды, кратеры, разрывы и т. д.). Такие карты, составленные рядом исследователей, в целом дают представление о разнообразии развитых на поверхности Луны структурных форм. Однако, как нам представляется, их применение для разработки генетической классификации структур и выяснения процесса их развития крайне ограничено. Это и понятно, поскольку в саму методику их составления не заложен один из основных методических приемов геологии — метод исторического анализа. Авторы публикуемых в данной книге геоло-

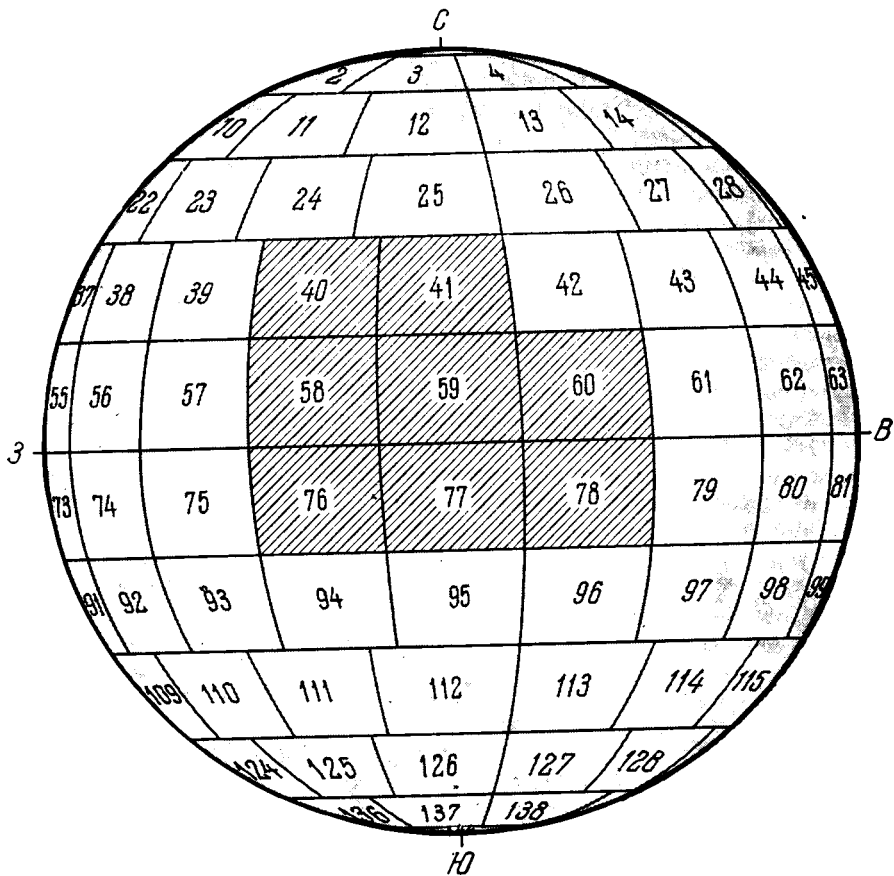


Схема расположения листов топографических карт масштаба 1 : 1 000 000 серии ЛАС. Заштрихованы листы, геолого-морфологические карты которых приводятся в настоящем сборнике. Составители: П. В. Флоренский (листы 40, 58); В. Г. Трифонов (листы 41, 59, 60), М. С. Марков (лист 76), А. Л. Суханов (листы 77, 78)

го-морфологических карт с самого начала работы пошли по иному пути, пытаясь выделить на поверхности Луны разновозрастные комплексы пород, а следовательно, и разновозрастные структуры. Этому предшествовала значительная работа по разработке методики геологического дешифрирования телескопических снимков и фотографий лунной поверхности, по существу представляющая собой дальнейшую детализацию идей А. В. Хабакова. Поэтому первая статья (А. Л. Суханов, В. Г. Трифонов) посвящена методике, и авторы будут признательны читателям за критические замечания по этому вопросу.

Изложенные в этой статье принципы картирования использовались при составлении геолого-морфологических карт и объяснительных записок к ним (П. В. Флоренский, М. С. Марков, А. Л. Суханов, В. Г. Трифонов).

Для работы была выбрана центральная часть видимого полушария Луны (рисунок). Выбор этого района определился тем, что именно для него имеется наибольшее количество телескопических снимков; существующие фотографии менее всего искажены, а топографические карты — наиболее подробны. Кроме того, судя по данным предыдущих исследователей, здесь распространены разнообразные по возрасту комплексы горных пород. В этой же области чаще всего можно наблюдать соотношения наиболее крупных структур поверхности Луны — лунных морей и материков. Все эти обстоятельства сделали этот район очень привлекательным для выработки методики картирования и составления геолого-морфологических карт лунной поверхности. На каждом из планшетов выбирались участки с наиболее четкими возрастными соотношениями различных поверхностных комплексов пород, затем эти соотношения прослеживались на большую территорию.

При составлении карт авторы обращали основное внимание на вопросы строения внекратерных пространств поверхности Луны, особенно внекратерных пространств лунных материков. Это было вызвано в основном тем обстоятельством, что анализ работ предыдущих исследователей показал наименьшую изученность именно этих участков поверхности Луны. Изучение восьми планшетов экваториального пояса позволило авторам составить легенду геолого-морфологических карт Луны, в которой выделены комплексы горных пород, слагающих межкратерные пространства, и сложно сочетающиеся с ними образования кратеров. Помимо этого в легенде нашли свое отражение и чисто структурные элементы: детали строения кратеров, различные разрывы, валы и купола лунных морей и др.

Во время работы были использованы телескопические снимки, опубликованные в «Фотографическом атласе Луны», масштаба примерно 1:1 500 000 (Kuiper a. oth., 1960), гипсометрические карты экваториальной части видимого полушария Луны (Lunar chart, S. 1 : 1 000 000, 1960—1964), фотографические снимки космических аппаратов «Зонд» и «Рейнджер» и фотоснимки советских и американских лунных станций и спутников.

В объяснительных записках к картам содержатся краткие сведения о предшествующих исследованиях того или иного участка лунной поверхности, далее следует описание возрастных комплексов горных пород и особенностей строения лунной поверхности на закартированных участках.

К вопросам картирования относится и статья, посвященная определению возможной мощности молодых, процелляриевых, образований, что может представлять существенный интерес при будущих геологических работах на Луне (А. Л. Суханов, Л. М. Шкерин). Статья иллюстрирована двумя листами карт, на которых проведено определение мощности пород процелляриевого комплекса.

Одним из результатов всей работы является вывод о широком распространении на поверхности Луны древних морей, в дальнейшем переработанных, застроенных кратерами и слагающих сейчас часть лунных материков. Статья А. Л. Суханова посвящена анализу распространения древних морей и причинам их осветления. Материалы о длительном и унаследованном развитии впадины Моря Дождей вошли в объяснительную записку В. Г. Трифонова.

Нет никаких сомнений в том, что первые экспедиции на Луну принесут ответы на многие вопросы о составе и строении слагающих ее поверхность горных пород. Однако, не дожидаясь этого, уже сейчас можно попытаться решить вопрос о распространении тех или иных пород на поверхности

нашего спутника и выявить их отличие от земных аналогов. При постановке таких экспериментальных исследований по моделированию приходится учитывать специфические условия Луны (отсутствие атмосферы, меньшую силу тяжести и интенсивное космическое облучение). В одной из статей (А. М. Гуткин и др.) сделана попытка учесть роль вакуума и меньшей гравитации в процессах вулканизма вообще и более конкретно в формировании особенностей структуры лавовых покровов. Приводимые в статье материалы, видимо, следует рассматривать как теоретическое обоснование моделирования лунных условий.

Две статьи настоящего сборника посвящены проблеме лунных кратеров. В одной из них рассматриваются кратеры-лунки, их классификация и возможные способы образования (А. Л. Суханов). Во второй на основе статистической обработки данных по диаметрам и распространенности предлагается классификация кольцевых форм Луны на классы и группы (П. В. Флоренский и др.). Можно думать, что предлагаемые морфологические и морфометрические классификации должны быть в дальнейшем учтены при решении проблем генезиса этих структур.

Следующие две статьи касаются вопроса о сопоставимости земных вулканических структур с формами лунного рельефа. В. Г. Трифонов сравнивает строение кальдер и трапсовых областей с лунными цирками и морскими впадинами. А. Л. Суханов рассматривает те детали лунного рельефа, которые могут быть интерпретированы как вулканические рвы, эффузивно-экструзивные хребты и отдельные стратовулканы.

Книга заканчивается статьями, в которых рассматриваются некоторые общие закономерности строения лунной поверхности (М. С. Марков, А. Л. Суханов и В. Г. Трифонов, П. В. Флоренский). Здесь авторы пытались учесть не только данные, полученные в результате составления карт, но и результаты оптических и радиоастрономических наблюдений. На основе их анализа делается попытка выяснить распространенность на поверхности Луны древних морских впадин, дать обобщенную схему строения лунной поверхности, установить особенности глубинного строения лунной коры и провести некоторые сравнения Луны и Земли. Вполне естественно, что ограниченность наших знаний о строении Луны делает эти представления во многом гипотетическими. Однако авторы надеются, что их обсуждение принесет несомненную пользу всем исследователям, в той или иной мере интересующимся вопросами сравнительной планетологии.

Методика составления и легенда геолого-морфологических карт Луны масштаба 1:1000 000

А. Л. Суханов, В. Г. Трифонов

Задача выделения на геолого-морфологических картах Луны разновозрастных комплексов горных пород и разновозрастных структур требовала от авторов разработки соответствующей методики дешифрирования телескопических и других снимков лунной поверхности. Рассмотрению этой методики и посвящена настоящая статья.

Предполагается, что отсутствие атмосферы и гидросферы на Луне приводит к резкому замедлению процессов разрушения и переноса вещества, а следовательно, формы рельефа если не полностью, то в большой степени соответствуют поверхностным геологическим структурам. В результате на поверхности Луны должны отчетливо наблюдаться возрастные взаимоотношения: наложения молодых структур на древние или перекрытия древних комплексов молодыми. Так, например, видимые на фотографиях проямолинейные уступы, по всей вероятности, свидетельствуют о наличии сбросов. Исчезновение таких сбросов по простиранию на ограниченных участках, а затем их продолжение в том же направлении скорее всего свидетельствуют о перекрытии этих форм рельефа молодым комплексом пород.

В то же время нельзя забывать о длительности развития поверхности Луны и о существовании здесь хотя и медленных, но все же действующих факторов эрозии. Поэтому разрушенность форм рельефа (геологических структур) также важна при составлении геолого-морфологической карты.

Наконец, последовательное наложение на одной и той же площади нескольких самостоятельных систем разрывов, кратеров и т. д. создает для более древних участков более сложно построенный рельеф, чем для участков, недавно вовлеченных в эти процессы.

Таким образом, явления перекрытия, характер сохранности или степень разрушенности поверхности геологических структур и общий характер рельефа — вот те основные критерии, которые могут быть использованы при дешифрировании фотоснимков Луны.

Проблемы возрастного различия комплексов горных пород уже давно ставились рядом исследователей. Наиболее последовательно эти вопросы

рассматривали Дж. Е. Спёрр в работе «Геология в применении к селенологии» (Spragg, 1945) и А. В. Хабаков в книге «Об основных вопросах истории развития поверхности Луны» (1949). В последние годы появилось большое количество исследований, посвященных интересующей нас проблеме (Хабаков, 1960; Shoemaker, Hackman, 1962; Козлов и Артемов, 1965, и др.). Много новых данных для целей картирования было получено при помощи космических аппаратов серии Рейнджер (Ranger VII, 1965; Ranger VIII, IX, 1966).

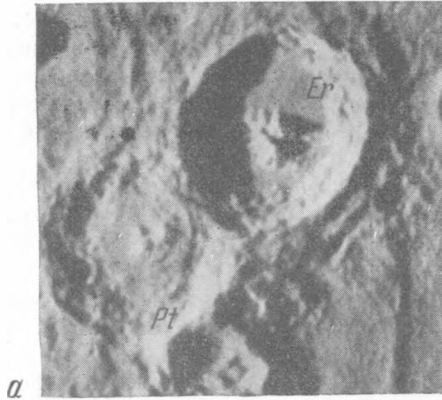
Следует отметить, что все упомянутые исследователи занимались преимущественно вопросами возрастного расчленения и картирования кратеров, разрывов и пород современных лунных морей. В то же время строение межкратерных материковых пространств, занимающих около половины лунной поверхности, оставалось слабо освещенным. Они затрагивались лишь постольку, поскольку перекрывались кратерными выбросами и пересекались разрывами. У А. В. Хабакова отмечается возможность расчленения межкратерных материковых пространств; Дж. Е. Спёрр на основании большого материала показывает необходимость такого расчленения и приводит его для многих мест. Однако несовершенство фото- и картографических материалов не позволило им откартировать лунную поверхность достаточно подробно. В результате до самого последнего времени о природе межкратерных пространств материков существуют самые различные точки зрения. Их считают либо остатками первичной лунной коры, либо выбросами из морей и кратеров, либо участками переплавленной и вторично застывшей коры. Все эти обстоятельства и заставили нас в первую очередь обратить внимание на расчленение материковых межкратерных пространств.

Как известно, на поверхности Луны отчетливо выделяются следующие крупные структурные формы: лунные моря и материки, кратеры и разрывы.

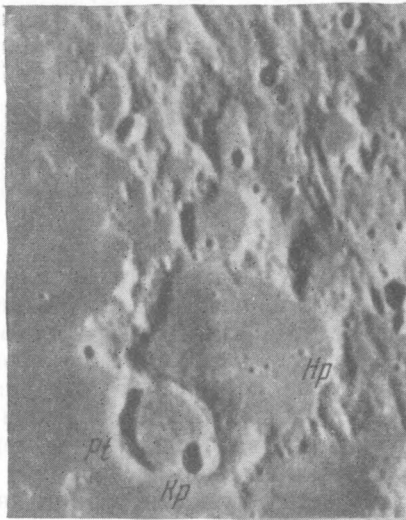
Ниже мы попытаемся рассмотреть методы картирования и возрастного расчленения каждой из выделенных категорий структур.

Возрастное разделение кратеров

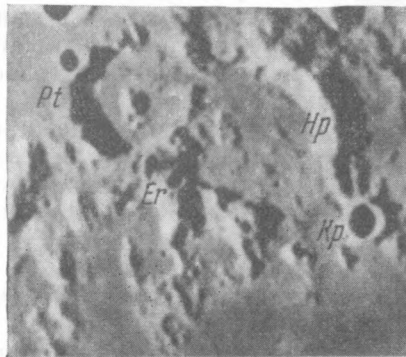
Относительный возраст кольцевых форм Луны — цирков, кратеров и воронок — наиболее просто и точно устанавливается по их взаимному наложению или перекрытию выбросами (рис. 1, а, б, в). Однако случаи наложения не столь часты, и поэтому важным возрастным признаком служит степень сохранности кратера и его нарушенности позднейшими разрывами. Молодые кратеры характеризуются резкими гребнями, значительным превышением валов над днищами. Внутри кратера присутствуют лишь те разрывы, которые генетически связаны с его образованием. Как правило, такие разломы не рассекают целиком всю кратерную постройку, а развиты только на отдельных ее участках. У некоторых крупных кратеров видны террасы на склонах и центральные горки или хребты; нередко картируются поля выбросов, далеко отходящие от кратерного вала. Многие самые молодые кратеры окружены венцами светлых лучей. По мнению Ю. М. Шумэкера и Р. Дж. Хэсмана (Shoemaker, Hackman, 1962), светлые лучи со временем темнеют, сливаясь с окружающей поверхностью, и оттого не различаются у более древних кратеров.



а



б



в



2

1. Относительный возраст лунных кратеров

- а — наложение цирка Теофил (эратосфенский комплекс — Er) на цирк Кирилл (птолемеевский комплекс — Pt);
- б — наложение кратера Деви (Pt) на кратер Деви У (гиппархский комплекс — Hp); в свою очередь на вал Деви наложен небольшой кратер коперниковского комплекса (Kp). Видно, что вал Деви У нарушен разрывами, а вал Деви — нет;
- в — наложение кратера Паллас (Pt) на кратер Мурчисон (Hp). На валах обоих кратеров — мелкие кратерочки (Kp);
- г — цепь разновозрастных кратеров: внизу — Гершель (Er), в центре — Шперер (Pt), лежащий внутри древнего кольцевого вала, вверху — догиппархский кратер (Php)

Чем древнее кратер, чем более сглажен его рельеф (см. рис. 1, *е*), тем меньше превышение вала над днищем. Древние кратеры в той или иной степени нарушены позднейшими разрывами; их форма в плане часто отличается от круговой; днища почти всегда плоские; поля выбросов, далеко отстоящие от гребня кратерного вала, не различаются на фоне окружающей местности.

Степень сохранности и взаимное положение позволяют устанавливать относительный возраст кратеров лишь на ограниченных участках лунной поверхности. Разные области Луны различаются как общей дислоцированностью, так и количеством разрывов того или иного возраста. Поэтому разновозрастные кратеры в разных областях могут быть разрушены и дислоцированы в разной степени, а разновозрастные, напротив, быть сходными.

Как правило, сказанное относится не к самым молодым формам (они коррелируются отчетливо даже при большом удалении), а к более древним генерациям кратеров. Их правильное возрастное сопоставление возможно лишь при непрерывном прослеживании степени дислоцированности как разновозрастных кратеров, так и межкратерных площадей.

Соотношение современных морей с материками

Возрастное разделение пород внекратерных пространств основано на структурных особенностях отдельных площадей (наличие определенных генераций кратеров, систем разрывов) и на характере границ между этими площадями (перекрывание древних структурных элементов более молодыми комплексами горных пород). Возрастные соотношения различных комплексов пород хорошо видны лишь в отдельных стратотипических участках. Вне таких участков картирование производится по характеру рельефа, присущего выходам пород того или иного комплекса.

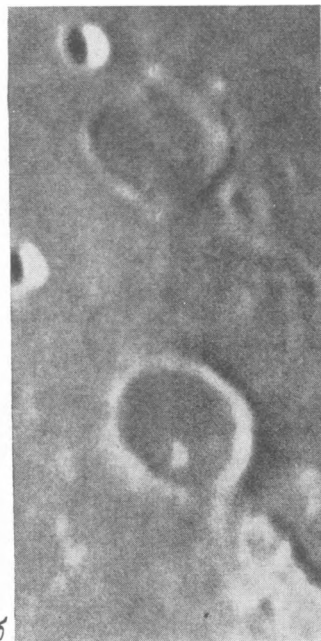
Наиболее наглядно указанные принципы картирования внекратерных пространств могут быть применены для определения относительного возраста пород, слагающих современные лунные моря и материки. Почти все исследователи считают, что морские породы залегают на материковых и являются более молодыми. Этот вывод следует и из наших работ. Он основан на следующих хорошо известных фактах.

1. Валы многих древних кратеров, расположенных на краях материков, погружаются в сторону моря. Со стороны моря валы кратеров нередко прерываются, на месте недостающей части вала и днища такого кратера залегают породы современных морей, которые образуют единый покров, «затопивший» часть кратера.

В одних случаях кратерный вал находится в основном на материке и морские породы внутри и вне кратера соединяются лишь через узкий проем кратерного вала (Шрётер — рис. 2, *а*, Деви Y — см. рис. 1, *б*). В других случаях море подступает к кратеру «широким фронтом» и обращенная к морю часть вала резко опущена относительно материковой. Морские породы покрывают все днище кратера и соединяются с внекратерными морскими породами несколькими широкими проливами, так что от морской части вала сохраняется лишь узкая дуга (Зоммеринг — см. рис. 2, *а*) или цепочка останцев (Оппользер).



а



б

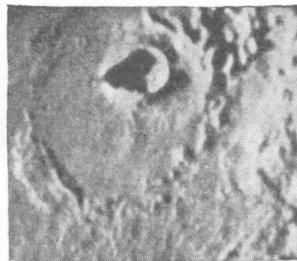
2. Перекрытие породами современных морей (процелляриевый комплекс — Pг) более древних кратеров

а — кратеры Шрётер (Hр) и южнее Зоммеринг (Pт);

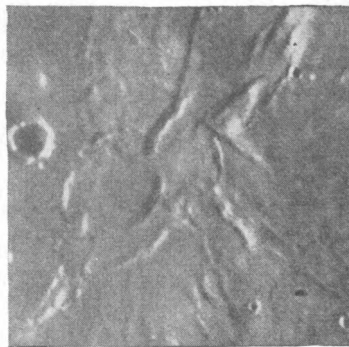
б — кратеры Янсен (Pт) и севернее Янсен R(Pт?);

в — кратер Торичелли (Kр) и полузатопленный цирк вокруг него (Hр);

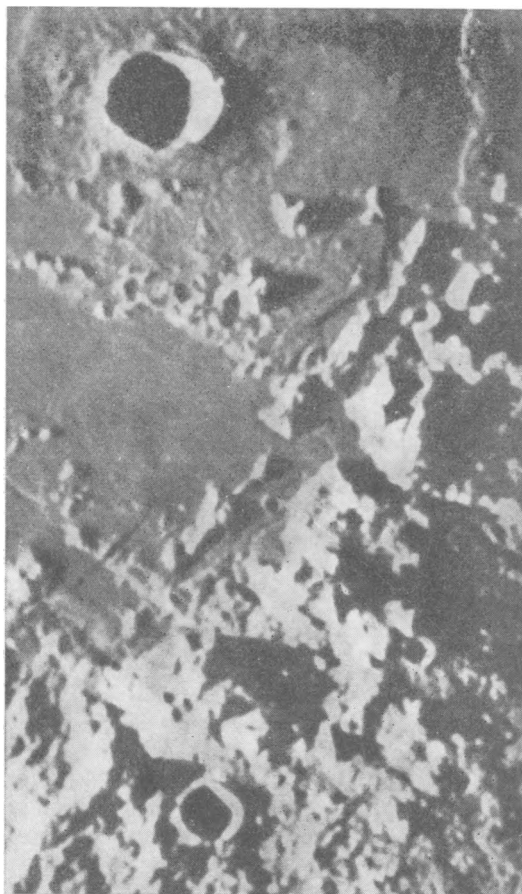
г — кратер-фантом Ламонт (Hр)



б



г



3. Апеннины и край Гнилого Болота. Разрывы северо-восточного направления, нарушающие древние материковые породы, не продолжаются на поверхность морских пород

2. Перекрытие морскими породами более древних кратеров наблюдается не только на границах с материками, но и внутри морей. Иногда все же видно, что валы таких кратеров залегают на внекратерной материковой поверхности (Янсен — см. рис. 2, б). Чаще среди сплошного покрова морских пород выступают лишь реликты кратерного вала в виде незамкнутого овала (Уоллес) или полумесяца (реликт крупного цирка вокруг Торичелли — см. рис. 2, в). При большом перекрытии кратерный вал облекается морскими породами и может выступать из-под них лишь в своих наиболее приподнятых частях. Таковы кратеры-фантомы: Ламонт (см. рис. 2, г), Янсен R (см. рис. 2, б) и многие другие.

3. Линейные системы разрывов, выраженных в виде гребней и борозд, прослеживаются на материках на большие расстояния, но исчезают на границах с морями и в моря не продолжают. Это хорошо видно севернее кратера Птолемей, а также на западном побережье Моря Спокойствия, на восточном краю Моря Паров и Среднего Залива. Там, где среди морских пород выступают останцы материковой поверхности или древнего кольцевого вала, обычно вновь прослеживаются эти системы разрывов (юго-восточный край Гнилого Болота — рис. 3).

4. Границы морей с материками часто извилисты и напоминают контакты ингрессивных серий земных отложений. Вещество лунных морей языками проникает внутрь материков, затопляя днища кратеров (см. рис. 2, а) или грабенообразные депрессии на материках (см. рис. 3). В областях, получивших название лунных болот, где комплекс морских отложений, очевидно, имеет малую мощность, границы моря с материком особенно извилисты. Все эти контакты хорошо видны из-за разницы в яркости между породами морей и материков. Однако их можно было бы проследить и в том случае, если бы породы морей были столь же светлы, как и материковые образования. Поверхности современных лунных морей являются наиболее ровными и гладкими и, как правило, резко отличаются от сложно расчлененных материковых поверхностей. Поэтому контакты между ними были бы хорошо видны даже при одинаковой светлоте как границы площадей с разным типом рельефа. По сравнению с современными морями материки представляются единым целым. Однако на самом деле они состоят из участков с разным характером рельефа, с разными структурами. При ближайшем рассмотрении оказывается, что на межкратерных пространствах материков наблюдаются явления перекрытия одних комплексов пород другими, аналогичные перекрытиям, наблюдавшимся вдоль границ современных морей и материков.

Возрастное разделение внекратерных пространств материков

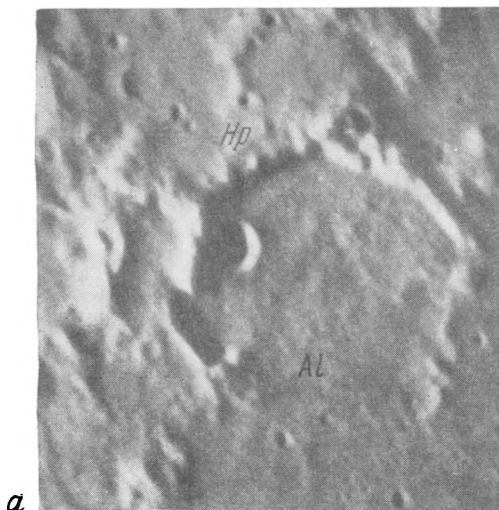
Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945) показал, что во многих случаях внекратерные пространства материков можно разделить на древние гребни и разделяющие их относительно ровные области, среди которых выступают реликты кратеров. Эти ровные области он считал возникшими в результате поверхностного переплавления лунных пород на больших площадях.

А. В. Хабаков (1949, 1960) вслед за М. Юэном выделил в районе Моря Нектара реликты древнего моря, ограниченные береговой кордильерой Алтайского хребта. Он полагает, что это море когда-то походило на современные лунные моря, но со временем было осветлено и застроено кратерами.

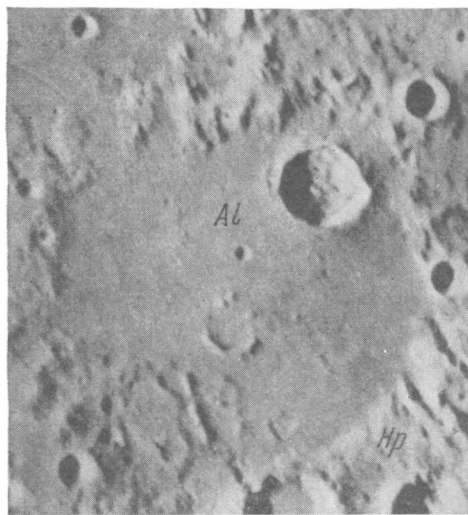
Круговые уступы типа кордильер, ограничивающие области «переплавленных» пород, выделены во многих местах Дж. П. Кэйпером и В. К. Хартманом (Hartmann, Kuiper, 1962).

Эти наблюдения использовались нами при разработке методики картирования. Решение задачи естественно распалось на два этапа: изучить возрастные соотношения в наиболее легко дешифрируемых (стратотипических) участках материков и затем скоррелировать выделенные комплексы путем прослеживания от одного участка к другому. В стратотипических участках обычно наблюдаются следующие взаимоотношения комплексов пород.

1. На поверхности материков различаются области, в разной степени всхолмленные и нарушенные разрывами. В их пределах и особенно вдоль границ областей с разным типом рельефа часто видны реликты кратерных валов в виде более или менее правильного полумесяца, серпа, незамкнутого кольца или овала. Кратерные валы имеют древний облик, изборождены разрывами и нередко деформированы в плане. Местами видно, что



a



b

4. Перекрытие кратеров породами морского алтайского комплекса (Al)

a — реликты цирка Ладе (Hr);

b — цирк Гиппарх и реликты мелких кратеров на его дне, перекрытые алтайскими породами

валы лежат на сложно расчлененном доколе. Насколько можно судить по телескопическим снимкам, рельеф цоколя и лежащего на нем вала похож и, по-видимому, создан в результате проявления одних и тех же дислокаций. В то же время центральные части кратеров и рядом лежащие области образуют другую часть материка. Она построена проще, чем цоколь кратера и его вал, и обычно залегает гипсометрически ниже цоколя. Здесь не столь велики перепады высот, рельеф слабо расчлененный, разрывов меньше или совсем нет. По-видимому, породы этой поверхности лежат стратиграфически выше пород цоколя и заливают днище кратера.

Соотношения цоколя, кратера и покрывающих пород могут быть весьма разнообразными. В ряде случаев, например у цирка Сондер, древний цоколь выходит на поверхность на значительном протяжении кратерного вала. Материковые породы, покрывающие днище кратера, образуют как бы глубокий залив, соединяющийся с основным полем их распространения через узкий проем кратерного вала. Сходные соотношения наблюдаются в районе древнего цирка Темпл. Здесь покрывающие породы также протягиваются внутрь кратера через узкий проем вала. Кроме того, хорошо видно, что часть вала, обращенная в сторону поля распространения покрывающих пород, значительно ниже и уже той части вала, рядом с которой древний цоколь выступает на поверхность. В других случаях подстилающие образования граничат с кратерным валом лишь на небольшом протяжении, а остальная часть вала со всех сторон окружена более молодыми породами, образуя изогнутые «полуострова» или цепочку останцев. Таковы реликты кратерного вала Мурчисона (см. рис. 1, в), выступающие на поверхность в форме подковы. Еще дальше процесс перекрытия заходит у цирка Ладе (рис. 4, a), который имеет

форму полумесяца, со всех сторон окруженного более молодыми горными породами.

2. Местами реликты древних цирков со всех сторон окружены выходами внекратерных пород, образующих единую поверхность с одинаковым рельефом. Реликты кратерных валов выступают в виде незамкнутого кольца или цепи низких холмов и гряд с проемами между ними (реликт небольшого кратера внутри Гиппарха — см. рис. 4, б). Очевидно, внутренняя часть кратера и окружающее пространство целиком покрыты более молодыми материковыми образованиями, аналогичными кратерам-фантомам в области современных лунных морей.

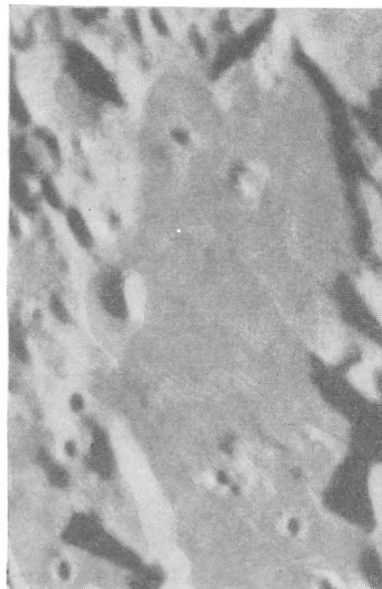
3. В ряде мест, например в районе Укерта (рис. 5, а), с материковой равниной граничат сложно построенные возвышенные участки. На них четко прослеживается одна или несколько систем разрывов. На материковой равнине разрывов либо нет совсем, либо они проявляются очень слабо, либо сохраняется одна система, а остальные исчезают.

Иногда одинаково ровная поверхность без разрывов окружает несколько возвышенных участков, которые нарушены одними и теми же разрывными системами. Местами одинаковые системы разрывов можно наблюдать на реликтах кратерных валов, поднятых частях цоколя и возвышенных бескратерных участках, тогда как между ними разрывы исчезают (см. рис. 4, б и 5, б). Очевидно, во всех этих случаях породы более ровной поверхности перекрыли древние разрывы.

4. Поверхности с разным характером рельефа имеют либо прямые, либо извилистые границы. Границы довольно отчетливы, и можно думать, что внекратерные материковые породы с более ровной поверхностью либо прислоняются к образованиям более холмистых участков, либо ингрессив-



а



б

5. Перекрытие разломов породами морского алтайского комплекса
а — район кратера Укерт;
б — район юго-восточнее кратера Гедин

но залегают на них, заполняя понижения рельефа (см. рис. 4, а, б). Все описанные соотношения видны на многих стратотипических участках. Их можно объяснить лишь одним способом: в некоторых областях материков имеются покровы пород, залегающие на кратерах, разрывах и других структурных элементах более древнего возраста.

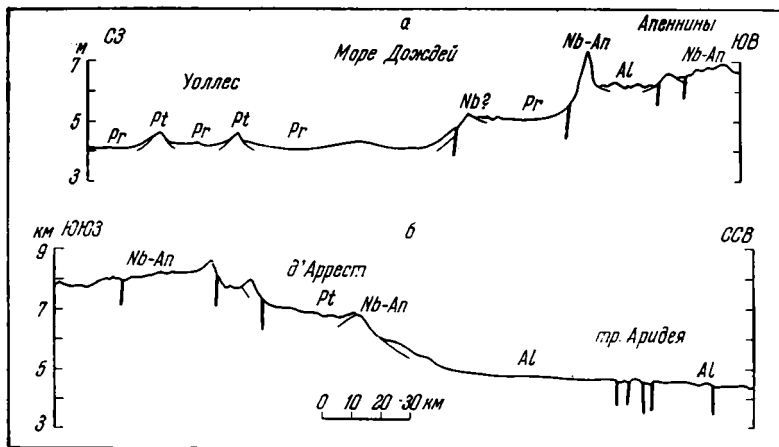
В каждом стратотипическом участке отчетливо устанавливается последовательность отложения кратерных и внекратерных пород. В одних случаях на древнем доколе расположены кратеры «полного профиля», т. е. кратеры с полностью сохранившимися валами, днищами и другими элементами внутренней структуры. В других картина обратная — видны лишь реликты кратерного вала, часто незамкнутого, нарушенного разрывами и с неодинаковой высотой гребня. Часто вал виден лишь по отдельным холмам. Пересекающие их разрывы не продолжаются на дно кратера, которое имеет одинаковый уровень и рельеф с окружающей кратер поверхностью. Такой кратер древнее этой поверхности.

Наконец, наблюдались участки, в которых на древних внекратерных породах залежали реликты более молодых кратеров, в свою очередь перекрытые внекратерными породами более молодого возраста.

Таким образом, в стратотипических участках удается выделить несколько генераций кратеров и несколько формаций внекратерных пород, подстилающих или покрывающих эти кратеры.

Для создания единой стратиграфической схемы и выделения площадей распространения пород того или иного возраста следовало увязать между собой комплексы пород, выделенные в стратотипических участках. При изучении таких участков выяснилось, что поверхности выходов внекратерных пород различного возраста характеризуются разными типами рельефа, разной степенью его гладкости или всхолмленности. Поэтому для корреляции комплексов проводилось непрерывное прослеживание поверхностей с одинаковым типом рельефа от одного участка к другому. Нужно подчеркнуть, что прослеживание комплексов должно быть непрерывным, поскольку поверхность одного комплекса от места к месту может изменяться. Если какая-либо поверхность в одном месте захвачена зоной более поздних нарушений, а в остальных местах не деформирована, то ее рельеф будет разным, и степень всхолмленности будет изменяться. Так, ровная алтайская поверхность в районе Теофила существенно отличается от одновозрастной, но сильно нарушенной разрывами поверхности в предгорьях Апеннин. Из-за разобщенности выходов в ряде случаев неизвестно, сохраняют ли единство близко расположенные одновозрастные поверхности, одна из которых находится посреди морской впадины или крупного цирка в виде останца, а другая — за разрывами береговой кордильеры или за пределами кратерного вала. Поэтому, когда непрерывное прослеживание поверхности оказывалось невозможным, сопоставление внекратерных комплексов пород при одинаковой степени гладкости или холмистости их поверхности производилось лишь предположительно.

Картирование одновозрастных комплексов пород значительно облегчается при наличии гипсометрических карт. Хотя на картах, которые были в нашем распоряжении, отдельные детали показаны не всегда точно, общий характер рельефа той или иной области передан достаточно верно. По этим картам строились все гипсометрические профили, приводимые в книге. Для наглядности различий типов рельефа на всех профилях



6. Профили лунной поверхности, составленные по топографическим картам масштаба 1 : 1 000 000. Вертикальный масштаб в 10 раз больше горизонтального

Береговые уступы:

а — молодого моря; б — древнего моря

вертикальный масштаб больше горизонтального в 10 раз (рис. 6; остальные профили приведены при описании отдельных листов карты).

На профилях помимо кратерных построек выделились отдельные уровни рельефа. На каждом уровне степень и характер расчлененности рельефа сохраняются постоянными или изменяются постепенно, но заметно отличаются от характера рельефа других уровней, более высоких или более низких. Как правило, более высокий уровень характеризуется и более сложным рельефом. Корреляция уровней путем их непрерывного прослеживания на снимках и картах позволяет выделять уровневые поверхности, отвечающие выходам тех или иных комплексов внекратерных пород в стратотипических участках.

Нижняя и наиболее выровненная поверхность, как было отмечено ранее, соответствует комплексу пород современных морей, покрывающих материковые образования. На материках различается несколько уровней поверхностей, сложенных разновозрастными комплексами. Изучение стратотипических участков выявило возрастные соотношения между комплексами внекратерных пород, составляющих разные поверхности. Породы одних участков материков, более выровненных, залегают на других, с более расчлененным рельефом. Существенные различия в морфологии, в количестве и характере разрывов позволяют считать, что периоды между формированием отдельных поверхностей охватывают значительные отрезки времени.

Разновозрастные комплексы внекратерных пород покрывают или подстилают кратерные постройки разных генераций. Однако не следует думать, что на поверхности Луны чередовались эпохи образования кратеров и отложения внекратерных пород. Внекратерные комплексы формировались длительно. Каждая генерация кратеров объединяет кратерные постройки, вероятно возникавшие неодновременно. Многие из них сами

Формировались в течение длительного времени. Поэтому один и тот же внекратерный комплекс в одном месте может перекрываться кратерными породами определенной генерации, а в другом фациально замещать их и даже своей верхней частью перекрывать какой-либо кратер этой генерации.

Древние моря

Итак, внекратерные комплексы материковых пород залегают на более древних кратерах и внекратерных образованиях подобно тому, как породы современных морей залегают на породах лунных материков и покрывающих их кратеров. По-видимому, и те и другие внекратерные образования слагают сложно построенные протяженные формации, возникшие одинаковым способом. Следовательно, многие материковые внекратерные комплексы представляют собой реликты древних лунных морей, позднее осветленных, часто нарушенных разрывами и застроенных кратерами.

Первоначальная структура древних морей еще плохо известна, поскольку она искажена позднейшими деформациями и эрозией. Однако уже сейчас можно наметить некоторые структурные элементы, общие для морей разного возраста.

Современные моря нередко имеют округлые очертания. Вдоль их краев на материках местами расположены кордильеры — асимметричные береговые хребты, крутые склоны которых обращены к морю и нарушены продольными сбросами. Иногда береговая кордильера имеет ступенчатое строение (юго-восточное побережье Моря Дождей — см. рис. 6, а). Она состоит из нескольких уступов, причем внутренняя ступень кордильеры, возможно относительно менее древняя, «затоплена» морскими породами и выступает из-под них лишь в виде узкого прерывистого гребня. Вдоль некоторых древних морей также выделяются береговые кордильеры. К этому типу структур относится сильно разрушенный материковый уступ между Агриппой и Дионисием (см. профиль через кратер д'Аррест и трещину Аридея, см. рис. 6, б). Береговой кордильерой А. В. Хабаков (1949, 1960) считает асимметричный Алтайский хребет. Параллельно ему, уже среди древнего моря протягивается гребень еще одного уступа, сильно разрушенного кратерами и частично перекрытого морскими породами. Возможно, в районе Алтайского хребта и к северо-востоку от него береговая кордильера древнего моря имеет ступенчатое строение, подобное строению кордильеры на юго-восточном краю современного Моря Дождей.

На поверхности современных морей при благоприятном освещении видны пологие длинные валы, нередко ветвящиеся (см. рис. 2, з). В одних случаях это сглаженные структуры облекания над неровностями погребенного материкового рельефа (гребнями, сбросовыми уступами, кратерными валами), в других — специфические образования, закономерно расположенные относительно береговой линии. Похожие валы местами различаются на мало дислоцированных участках древних морей.

У многих современных морей, не обладающих строго круговыми очертаниями, береговая линия крайне извилиста. Встречаются небольшие изолированные покровы морского вещества в отдельных депрессиях и кратерах внутри материков. Извилистые очертания характерны и для береговых линий многих древних морей. Древние морские породы также

могут слагать днища цирков или небольшие изолированные депрессии среди выходов более древних материковых пород.

Таким образом, на межкратерных участках лунных материков наблюдаются некоторые структурные формы, сходные со специфическими структурами современных морей Луны. Это служит еще одним доказательством морского происхождения внекратерных материковых образований.

Последовательное применение описанной методики геологического изучения Луны позволяет выделить на ее поверхности области распространения нескольких морских комплексов горных пород и сложно сочетающихся с ними образований лунных кратеров.

Существующие схемы возрастной последовательности лунных формаций

Попытки возрастного разделения форм лунного рельефа и слагающих их комплексов горных пород предпринимались рядом исследователей. Вполне естественно, что на ранних этапах изучения Луны такое разделение не могло быть дробным, причем некоторые предлагавшиеся тогда схемы разрабатывались лишь на отдельных участках.

Одной из первых схем возрастной последовательности лунных формаций, весьма детальной и распространенной на все видимое полушарие, была схема А. В. Хабакова (1949, 1960). Он предлагает различать в истории Луны «семь основных периодов рельефообразования (считая от настоящего времени и следуя в глубь времен): VII (М) — современный; VI (К) — коперниковский; V (О) — океанский период образования новейших кратеров и морей; IV (Р) — птолемеевский период формирования многих крупных лунных кратеров и цирков; III (А) — алтайский период, ранняя стадия образования круговых лунных морей; II (Н) — гиппархский, или доалтайский, период образования древних цирков и I — древнейший период, отличающийся сравнительно небольшой численностью кратеров, успевших возникнуть уже в те времена» (1960, стр. 282—283). По предположению А. В. Хабакова (1949), в истории Луны чередовались периоды преимущественного море- и кратерообразования, причем существовали по крайней мере два этапа особенно интенсивного формирования морей. Древние морские образования А. В. Хабаков выделил лишь в одном месте лунной поверхности — между Алтайским хребтом и современным Морем Нектара.

Практически одновременно с А. В. Хабаковым проблемы возрастного расчленения лунных формаций рассматривал Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945). Он проанализировал возрастные соотношения пород на отдельных участках поверхности Луны и составил для них карты.

В результате такого анализа Дж. Е. Спёрр предложил различать на поверхности Луны комплексы светлых пород материков («lunarite») и комплексы темных пород морей («lunabase»). Он считал, что первые сложены преимущественно кислыми по составу породами, а вторые — основными. Среди комплексов пород лунных морей он выделял три разновозрастные формации: а) самые молодые, очень темные по цвету лавы («несомненно базальтового состава»), б) темные лавы среднего возраста («povabase») или лавы типа Tranquilitas, широко развитые в Море Спокой-

ствия; в) древние лавы типа Imbrium («imbase»), пользующиеся обширным распространением в Море Дождей. Разделение этих формаций по возрасту основывалось на их соотношениях с лучами молодых кратеров, а сравнительная светлота древних лав объяснялась более кислым их составом или перекрытием продуктами выбросов молодых кратеров.

В пределах материков Дж. Е. Спёрр различал формации *Nebularum* и *Palluk*. Породы первой из них слагают сложно дислоцированные гребни и реликты древних кратеров, выступающие часто в виде останцов среди более ровной материковой поверхности, сложенной породами формации *Palluk*. Породы формации *Palluk* возникли, по мнению Дж. Е. Спёрра, в результате «переплавления» более древних материковых пород. Дж. Е. Спёрр допускал одновременность и неоднократность переплавления материковых пород в разных участках лунной поверхности. В целом начало этого процесса совпадает с началом образования Моря Дождей, а конец — со средними этапами формирования морской впадины. Таким образом, некоторые из комплексов материковых пород оказываются по возрасту близкими морским формациям и отличаются от последних лишь своим генезисом. По соотношению с выделенными комплексами различаются разновозрастные кратеры и разрывы.

Полученные нами данные по составлению геолого-морфологических карт показали, что: 1) комплексы пород современных лунных морей в целом моложе материковых пород и в том числе пород формации *Palluk* Дж. Е. Спёрра; 2) в пределах лунных материков выделяется большее количество разновозрастных комплексов пород и, наконец, 3) предлагаемый Дж. Е. Спёрром механизм образования пород формации *Palluk* представляется маловероятным.

В конце 50-х годов Р. Дж. Хэкманом (Haskman, 1960) была составлена геологическая карта видимого полушария Луны масштаба 1 : 4 000 000, на которой выделены породы лунных материков, покрывающие их «морские» породы и молодые, послеморские кратеры.

На составленной два года спустя детальной геологической карте района кратера Коперник Ю. М. Шумэкер и Р. Дж. Хэкман (Shoemaker, Haskman, 1962) значительно детализировали строение поверхности этого региона. Здесь ими выделены следующие комплексы горных пород (снизу вверх): 1) доимбрийские образования; 2) имбрийская система — серия выбросов с пологохолмистой («шагреновой») поверхностью; 3) породы процелляриевой системы (отложения современных лунных морей); 4) кратеры эратосфенской системы; 5) кратеры коперниковской системы.

В этом возрастном расчленении остаются не совсем ясными принципы выделения пород имбрийской системы, в которую, очевидно, включены образования, соответствующие верхней части формации *Nebularum*, и породы формации *Palluk* (Дж. Е. Спёрра). В схеме А. В. Хабакова образования имбрийской системы, очевидно, отвечают образованиям гиппархского и птолемеевского периодов. Несомненным достоинством схемы Ю. М. Шумэкера и Р. Дж. Хэкмана является разделение молодых кратеров на эратосфенские и коперниковские, которые различаются по отсутствию у эратосфенских кратеров венцов светлых лучей, более низкому альбедо слагающих их пород и несколько худшей сохранности кратерных форм.

В последнее время составлены геологические карты еще для ряда участков лунной поверхности, причем в большинстве случаев возрастное расчленение комплексов горных пород мало отличается от схем А. В. Хабакова.

кова, Ю. М. Шумэкер, Р. Дж. Хэкмана. Наиболее последовательно это проведено В. В. Козловым и А. В. Артемовым (1965) при составлении карты района Моря Влажности.

В результате получения фотографий космических станций Луна-9, 12 и Рейнджер VII, VIII, IX рядом исследователей были предприняты попытки геологического дешифрирования снимков. Однако эти данные касаются очень ограниченных участков, по существу представляют собой попытки крупномасштабного картирования и не могут быть отображены на предлагаемых картах масштаба 1 : 1 000 000.

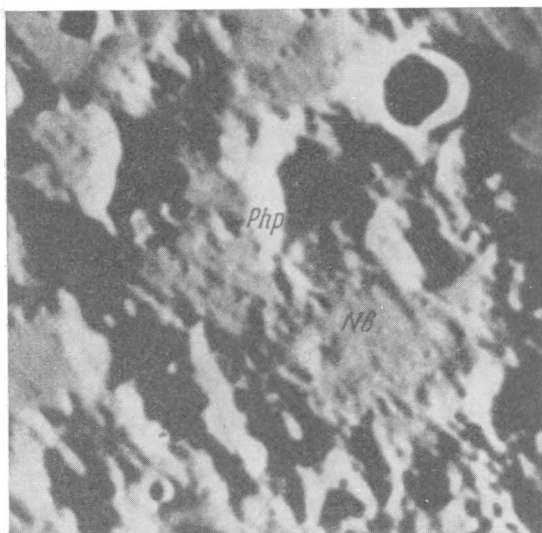
Предполагаемая стратиграфическая схема

В процессе геологического картирования центральной части видимого полушария Луны авторы разработали и применили более детальную схему возрастной последовательности лунных формаций (таблица). Она близка к схеме А. В. Хабакова (1960), но несколько уточняет и детализирует ее.

В предлагаемой схеме выделяются системы и комплексы пород, причем различаются комплексы морские и кратерные. Морские комплексы — разновозрастные образования, последовательно перекрывающие друг

Сопоставление различных стратиграфических схем

А. В. Хабаков, 1960		Ю. М. Шумэкер, Р. Дж. Хэкман, 1962		В. В. Козлов, А. В. Артемов, 1965		А. Л. Сузанов, В. Г. Трифонов	
Период				Система	Морские комплексы и подкомплексы	Кратерные комплексы и подкомплексы	
Современный (М)	Коперниковский	Ариадейский (А)		Верхняя	Самые молодые морские породы (М)		Коперниковский (Кр)
		Коперниковский (С)			?		
Коперниковский (К)	Эратосфенский		Эратосфенский (Е)		Эратосфенский (Ег)		Собственно эратосфенский (Ег)
Океанский (О)	Процеллярианский	Процелляриевый (Рг)		Процелляриевый (Рг)		Архимедовский (Аг)	
Птолемеевский (Р)	Имбрийский	Птолемеевский (Pt)		Средняя	Алтайский (А1)	Медийский (Мд)	Птолемеевский (Pt)
Алтайский (А)		Имбрийский (I)				Собственно алтайский (А1)	
Гиппархский (Н)	Доимбрийский	Бонплановый (В)		Нижняя	?		Гиппархский (Нр)
Древнейший					Небуляриевый (Nb)		?
	Древнейший (Апт)		Древнейший (догиппархский) (Php)				



7. Два догиппархских цирка (Phr), посередине частично перекрытых небуляриевым комплексом (Nb); между кратерами Риттер и д'Аррест

друга. То же можно сказать и о кратерных комплексах. Вместе с тем между близкими по возрасту морскими и кратерными комплексами соотношения более сложные, поскольку формирование тех и других захватывает значительный интервал времени. В результате этого кратеры определенного возраста в одних местах могут покрывать какой-либо морской комплекс, а в других — оказаться перекрытыми его наиболее молодыми образованиями. Поэтому границы близких по возрасту морских и кратерных комплексов не столько стратиграфические (с повсеместным перекрытием), сколько фациальные.

Системы — подразделения более крупные. Они включают в себя и морские и кратерные образования. Выделяются три системы — нижняя, средняя и верхняя, последовательно сменяющие одна другую во временной шкале. Принадлежность комплекса к той или иной системе означает, что он всегда моложе или древнее комплекса другой системы независимо от их морского или кратерного происхождения.

1. В нижней системе выделяются древнейшие образования, небуляриевый морской и гиппархский кратерный комплексы. Древнейшие породы слагают гористые формы рельефа. Их первичная структура очень сильно искажена последующими деформациями и эрозией. Несмотря на это, в ряде участков можно предполагать, что древнейший комплекс залегает под небуляриевым или гиппархским. Только в таких местах древнейшие породы могут быть выделены достоверно. Однако не исключено, что они выходят и в неперекрытых останцах среди более молодых морских комплексов.

В образованиях древнейшего комплекса иногда удается распознать реликты догиппархских (Phr) кратеров (рис. 7 и 8, а). Они сильно разрушены, рассечены несколькими системами разрывов, частично покрыты небуляриевыми морскими породами и гиппархскими кратерами. В большинстве случаев первичная структура комплекса настолько искажена, что не поддается расшифровке. Такие выходы древнейшего комплекса

(Ant) образуют прямолинейные или изогнутые гребни, нарушенные и нередко со всех сторон ограниченные разрывами. Некоторые из них также могут быть реликтами кратеров. Как правило, выходы древнейших пород находятся гипсометрически выше, чем граничащие с ними выходы более молодых комплексов. Древнейший комплекс вскрыт на небольших площадях. Вероятно, он является полигенным и разновозрастным в разных частях; однако его расчленение пока не представляется возможным.

Поверхность небуляриевого (Nb) морского комплекса (см. рис. 5, а; б) обычно сильно всхолмлена, нарушена разрывами одной, а чаще нескольких систем и покрыта большим количеством кратеров разного размера. Местами рельеф небуляриевого комплекса может быть охарактеризован как шагреневый. На особенно хорошо дешифрируемых фотографиях такой рельеф разрешается как холмисто-рядовый; он создан пересечением разнонаправленных разломов, иногда дополненных мелкими полуразрушенными кратерами. Породы комплекса характеризуются довольно высоким альбедо.

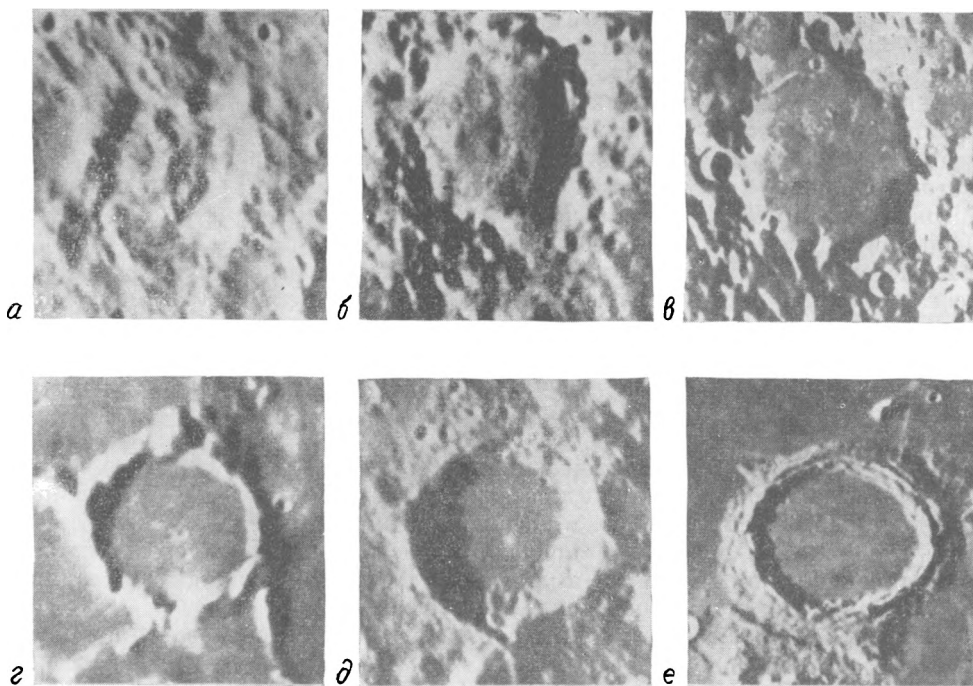
В нескольких стратотипических участках видно налегание небуляриевых пород на древнейшие кратеры и гребни. В зонах интенсивных дислокаций небуляриевый и древнейший комплексы либо отличаются очень слабо, либо вообще не поддаются расчленению. Не разделяются они и при небольших размерах выходов, когда четкие признаки налегания одного комплекса пород на другой отсутствуют.

Гиппархские (Hr) кратеры покрывают породы небуляриевого комплекса и могут быть частично разновозрастны с его наиболее молодыми частями. Гиппархские кратеры очень редко имеют «полный профиль» (см. рис. 8, б), обычно они в той или иной мере «залиты» более молодыми морскими породами (см. рис. 1, б — г; 4, а, б; 8, в). Кратеры сильно разрушены и часто рассечены позднейшими разрывами. Поэтому даже когда они не залиты, в них отсутствуют мелкие детали, характерные для молодых кратеров, и сравнительно невелики превышения валов над днищами. Эти превышения еще меньше у кратеров с «залитыми» днищами. Нередко от их валов сохраняется лишь овальная цепь разрозненных невысоких холмов.

Расчлененный рельеф, местами наблюдающийся на валах гиппархских цирков (см. рис. 4, б), не является элементом их первичной структуры, а связан с позднейшими разрывными нарушениями, так же как и их искаженные очертания в плане.

2. Средняя система состоит из алтайского морского и птолемеевского кратерного комплексов. Алтайский (Al) комплекс во многих местах залегает на гиппархских кратерах и небуляриевых образованиях. Вместе с тем на соседних площадях поверхность последних, как правило, находится гипсометрически выше, чем алтайская (см. рис. 5, 6). Алтайская поверхность нарушена новейшими мелкими кратерами и на отдельных участках покрыта небольшими холмами, обусловившими ее шагреневый облик. Одни группы холмов возникли после отложения алтайских пород и были созданы небольшими разрывными нарушениями и мелкими кратерами, рельеф которых ныне почти разрушен денудацией. Другие, по-видимому, унаследованы от более древних форм рельефа и являются результатом облекания их тонким покровом пород алтайского комплекса.

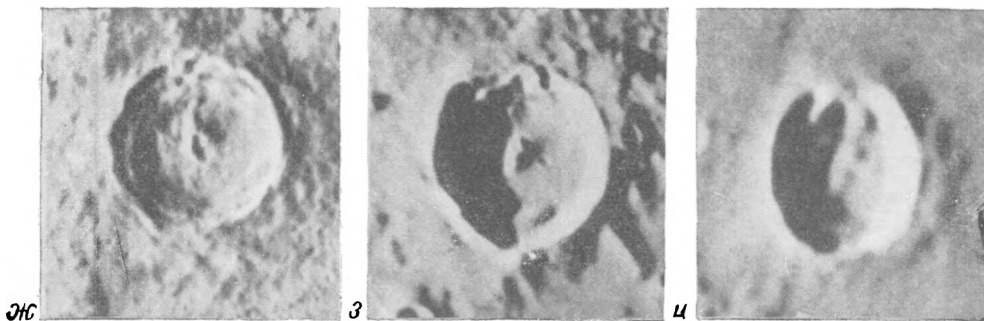
Местами (например, между цирками Кант и Гиппарх) рельефообразующие факторы на поверхности алтайских пород проявились настолько слабо, что она по степени всхолмленности мало отличается от морской.



Напротив, в зонах интенсивных позднейших дислокаций (например, между Юлием Цезарем и гребнем Апеннин) алтайская поверхность сильно холмиста. Она имеет мелкогребнистый линейный рельеф, который на мелко-масштабных фотографиях выглядит как «морщинистость» или «струйчатость». От небуляриевого комплекса дислоцированные алтайские породы отличаются более мелкими и пологими формами рельефа.

Выходы алтайских пород чаще всего имеют светлоту, обычную для материковых образований. Однако на восточном берегу Залива Зноя и в нескольких других пунктах породы, считающиеся алтайскими по характеру рельефа и соотношениям с другими комплексами, не светлее, а местами даже темнее пород современных морей. Это впервые отметили Ю. М. Шумэкер и Р. Дж. Хэкман (Shoemaker, Hackman, 1962). Возможно, окраска алтайских пород здесь была изменена в результате их перекрытия позднейшим темным вулканическим материалом. Количество этого материала было небольшим и существенно не повлияло на характер рельефа алтайской поверхности. Можно предположить также, что потемнение обусловлено воздействием глубинных растворов или расплавов на большой площади.

Кратеры птолемеевского (Pt) комплекса имеют морфологические особенности, средние между гиппархскими и молодыми кратерными образованиями (см. рис. 1, а; 2, а, б; 8, з, д). Они слабо рассечены или совсем не тронуты позднейшими разрывами, причем разрывы, нарушающие гиппархские цирки, большей частью не продолжают на соседние с ними птолемеевские кратеры (см. рис. 1, б). Многие птолемеевские кратеры в большей или меньшей степени «залиты» породами современных морей (см. рис.



8. Сравнение разновозрастных кратеров близких размеров

- | | |
|---|------------------------------|
| <i>a</i> — догиппархский кратер восточнее Ретика; | <i>д</i> — Абу-ль-Фида (Pt); |
| <i>б</i> — Ретик (Нр); | <i>е</i> — Архимед (Ar); |
| <i>в</i> — Фламарион (Нр); | <i>ж</i> — Эратосфен (Er); |
| <i>г</i> — Парри (Pt); | <i>з</i> — Агриппа (Er); |
| | <i>и</i> — Кеплер (Kp) |

2, *a*, *б*). Реликты их валов морфологически сходны с валами птолемеевских кратеров полного профиля (см. рис. 1, *a*, *в*).

Кратеры птолемеевского комплекса в ряде мест врезаны в алтайские породы, а их валы залегают на последних. Вместе с тем днища птолемеевских цирков Птолемея и Альфонс покрыты морскими породами, поверхность которых имеет свойства, средние между типично алтайской поверхностью и поверхностью современных морей. Такие же «промежуточные» морские образования, по-видимому, выступают из-под пород современных морей (процелляриевый комплекс) между кратерами Ретик и Триснеккер. Выходы «промежуточных» образований имеют почти такой же рельеф, как и поверхность процелляриевого комплекса, но существенно ровнее типичной поверхности алтайских пород севернее Триснеккера — в районе кратера Укерт. Светлота этих «промежуточных» пород такая же, как и типичных алтайских, но значительно больше, чем у процелляриевого комплекса. Представляется возможным выделить «промежуточные» образования в верхнеалтайский, или медийский, комплекс (от названия Sinus Medii — Залив Срединный, где они выделены), более молодой, чем собственно алтайские породы. Медийский комплекс образовался позже части птолемеевских кратеров.

Возможно, к медийскому комплексу следует относить допроцелляриевые морские породы со светлой и ровной поверхностью, выделенные в районе цирка Архимед и Гнилого Болота.

3. В составе верхней системы различаются процелляриевый морской комплекс, эратосфенский и коперниковский кратерные комплексы и комплекс самых молодых морских пород.

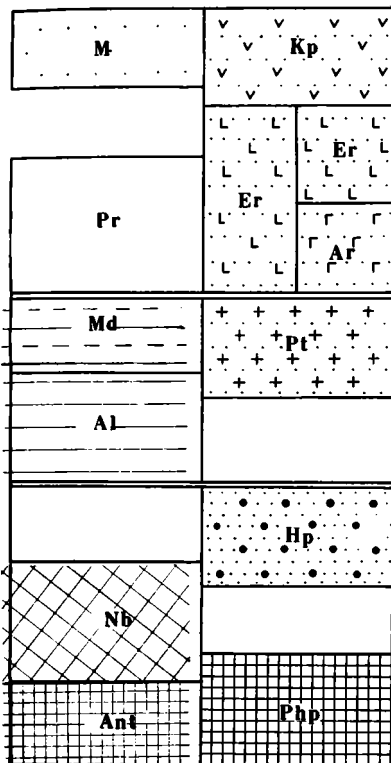


9. Самые молодые морские породы (комплекс М), перекрывающие лучи коперниковских кратеров

Процелляриевый (Pr) комплекс слагает впадины современных лунных морей и залегает на более низких гипсометрических уровнях. Комплекс имеет ровную поверхность и заметно темнее древних морских и кратерных образований (см. рис. 1, б; 2; 3; 5, а). На поверхности комплекса различаются пологие валы, сравнительно немногочисленные разрывы и мелкие кратеры.

Кратеры эратосфенского (Er) и коперниковского (Kr) комплексов почти всегда имеют «полный профиль»: полностью сохранившиеся валы, внутренние склоны которых круче внешних, и днища, погруженные ниже поверхности, окружающей кратер (см. рис. 8, ж, з, и; 1, а, в, г; 5, а). Днища мелких кратеров вогнутые. Некоторые кратерные постройки, обычно крупные, имеют плоские днища. Среди них возвышаются центральные горки или хребты, нередко сложно построенные. У ряда цирков на центральных горках расположены мелкие кратеры (Триснеккер) или группы кратеров (Эратосфен). На внутренних, реже на внешних склонах крупных кратерных валов наблюдаются террасовидные уступы, обычно прерывистые, а не сплошь опоясывающие вал. При благоприятном освещении видно, что внешние склоны кратерных валов постепенно переходят в поля кратерных выбросов. Последние представляются весьма маломощными, поскольку сквозь них читаются детали строения подстилающей поверхности.

Коперниковские кратеры моложе эратосфенских. Это устанавливается по налеганию выбросов первых на вторые, а чаще по разной степени их сохранности. Коперниковские кратеры имеют более резкий рельеф. Многие из них окружены венцами светлых лучей (рис. 9). У эратосфенских кратеров лучи отсутствуют, или едва проявляются в виде слабой, примерно радиальной «струйчатости», почти не отличающейся светлотой от окружающей местности (см. рис. 1, а; 8, ж).



10. Условные обозначения стратиграфических комплексов наолого-морфологических картах Луны

Верхняя система:

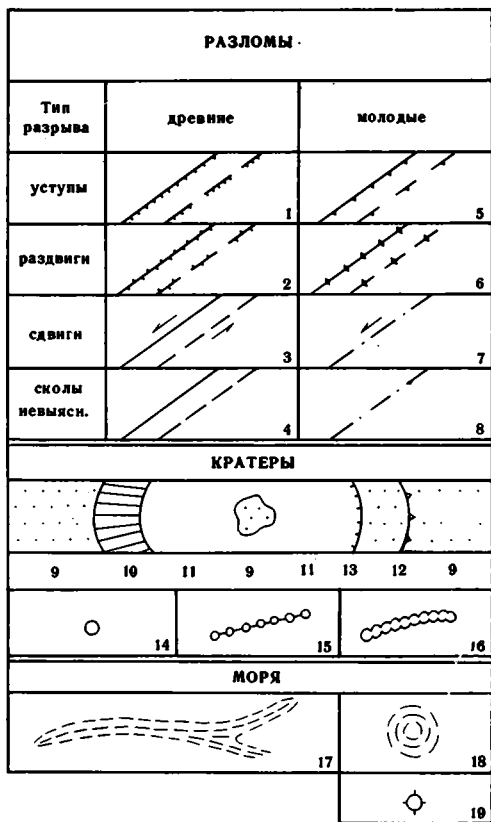
- M — комплекс самых молодых морских пород;
- Kp — коперниковский (кратерный);
- Pr — процелляриевый (морской);
- г — эратосфенский (включает 2 кратерных подкомплекса: собственно эратосфенский — Eg и архимедовский — Ag).

Средняя система:

- Md — медийский (морской);
- Pt — птолемеевский (кратерный);
- Al — алтайский (морской).

Нижняя система:

- Нр — гиппархский (кратерный);
- Nb — небуляриевый (морской?);
- Ant — древнейший (смешанный);
- Phr — догиппархский (кратерный?)



11. Структурные условные обозначения на геолого-морфологических картах Луны (объяснение в тексте)

Эратосфенские и коперниковские кратеры есть и на материках, где они покрывают все образования нижней и средней систем, и на поверхности современных морей. В морях коперниковские и большая часть эратосфенских кратеров покрывают процелляриевый комплекс. Однако встречаются немногочисленные кратеры, которые по степени сохранности мало отличаются от эратосфенских, но в центральных частях перекрыты процелляриевыми породами (Архимед — см. рис. 8, е). Поскольку такие кратерные постройки немного сильнее разрушены, чем типичные эратосфенские, и иногда перекрыты последними, их предположительно удается выделить и на материках, даже если не видны их соотношения с процелляриевым комплексом. С некоторой долей условности эта, по-видимому древнейшая, часть эратосфенского комплекса обособлена в архимедовский подкомплекс. За более молодыми эратосфенскими кратерами целесообразно сохранить прежнее возрастное обозначение.

В современных лунных морях выделяются весьма ровные участки, которые при прямом освещении оказываются темнее всех прочих участков поверхности. Породы такого типа слагают и плоские днища некоторых материковых впадин (Манилий N). В окрестностях Манилия (см. рис. 9), Гигина и ряда других мест отчетливо видно, что темные морские породы покрывают лучи коперниковских кратеров. Однако мелкие коперниковские кратеры изредка встречаются на поверхности темных пород. Очевидно, эти образования одновозрастны молодым кратерам коперниковского комплекса и могут быть выделены в комплекс самых молодых морских пород (комплекс M).

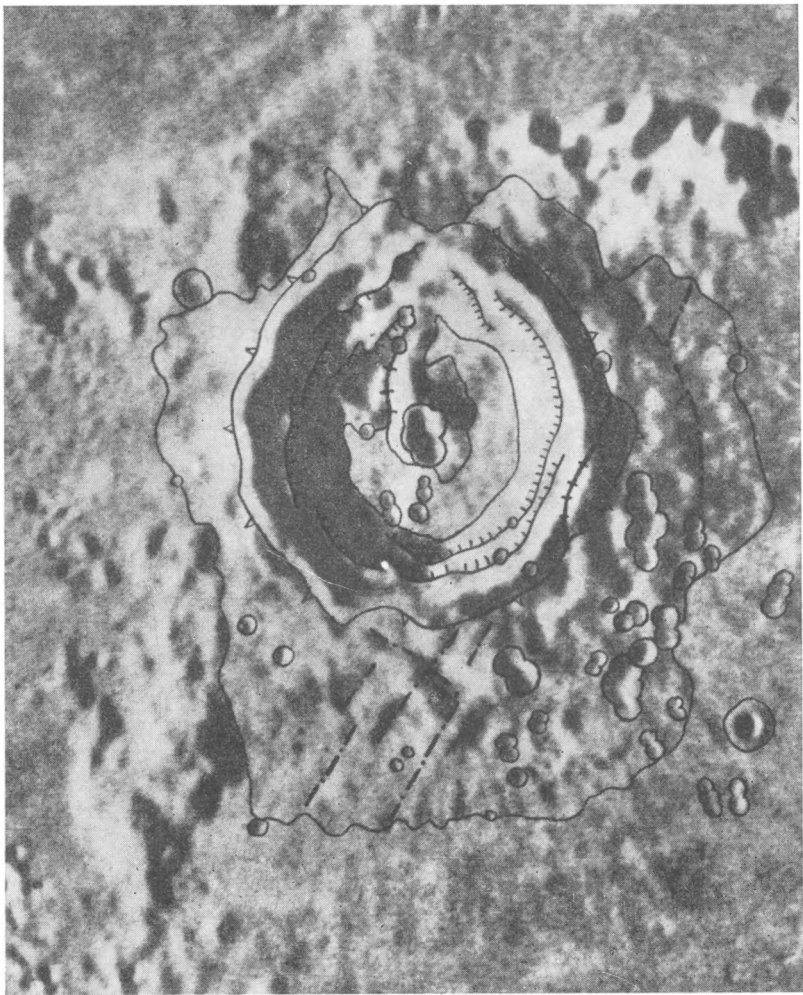
Условные обозначения выделенных стратиграфических комплексов на геолого-морфологических картах Луны показаны на рис. 10.

Морфологические знаки

На геолого-морфологических картах Луны помимо разновозрастных комплексов показаны некоторые элементы структуры (рис. 11). Среди них наиболее многочисленную группу составляют разрывные нарушения. Они разделяются на допроцелляриевые (знаки 1—4) и разрывы, возникшие после или одновременно с породами верхней системы (знаки 5—8). По морфологии различаются: а) уступы, т. е. сбросы или взбросы (знаки 1, 5); борозды и расщелины, по-видимому, соответствующие раздвигам (знаки 2, 6); б) правые и левые сдвиги, смещающие в горизонтальном направлении более древние кратеры и гребни (знаки 3, 7); в) сколы с невыясненным характером перемещения (знаки 4, 8).

Хорошо заметные разрывы показываются сплошной линией, а плохо различимые — пунктиром (знаки 1—6). Крупные и протяженные разрывы выделены толстыми линиями.

В крупных кратерах представляется возможным выделять кратерный вал (знак 9, не путать с жирным крапом, обозначающим гиппархский возраст), крутые внутренние стенки между днищем и валом, где можно ожидать выходы пород фундамента кратера (знак 10); и плоское или слабо изогнутое днище (знак 11). Внутри кратерных днищ знаком 9, одинаковым со знаком кратерного вала, выделяются центральные горки и хребты. Граница вала (2) и внутренних крутых стенок кратера (10) проводится на уровне окружающей кратер поверхности. В некоторых случа-



12. Элементы структуры цирка Эратосфен
Условные обозначения см. на рис. 11 и в тексте



13. Купол на поверхности процелляриевого комплекса, на продолжении вала. В центре купола виден холм (вулканический аппарат?)



14. Кратеры-лунки с высокими краями (шлаковые конусы?)

ях она отчетливо выявляется по существованию уступа. Иногда целесообразно отделять вал от окружающего его маломощного чехла кратерных выбросов (знак 12). Террасовидные уступы на склонах кратеров изображаются знаком 13. Разнообразные элементы морфологии кратера хорошо видны на примере Эратосфена (рис. 12).

Особыми знаками показываются кратеры-лунки (см. рис. 11, знак 14), цепочки отдельных (знак 15) или слившихся (знак 16) кратеров. Из-за их малой величины обозначения возраста на этих кратерных постройках не введены, хотя, очевидно, в дальнейшем это можно будет сделать, учитывая степень сохранности кратеров-лунок.

В морях выделяются валы (см. рис. 11, знак 17; рис. 2, *з*) и купола (см. рис. 11, знак 18; рис. 13). Они хорошо различимы у процелляриевых и самых молодых морских образований. Мелкие купола обозначены знаком 19, иногда они несут вершинные лунки (рис. 14). Валы иногда видны и на древних морских поверхностях. Уже сейчас можно говорить о том, что морские валы, по-видимому, представляют собой полигенетические образования. Ряд этих форм является структурами облекания древних линейных хребтов или сбросовых уступов. В других случаях такие связи не выявляются, и можно думать, что валы имеют иной генезис (рис. 15). На некоторых куполах по крупномасштабным снимкам видны дополнительные мелкие вздутия (вторичные купола).

Карты ко всем объяснительным запискам приложены в конверте в конце сборника. При подготовке к изданию они были уменьшены, поэтому теперь их масштаб приблизительно 1 : 1 400 000 (масштаб несколько увеличивается с удалением от экватора).

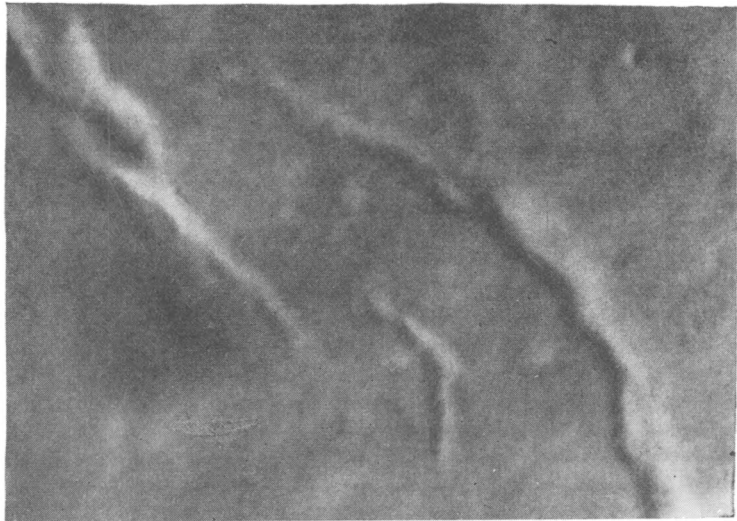
На профилях к геолого-морфологическим картам пунктирной линией показан уровень поверхности фигуры Луны, на основе которой строились карты серии ЛАС (сферическая поверхность развернута на плоскость).



a



б



в

15. Морские валы

a — Море Познанное;

б — Море Спокойствия;

в — Море Дождей

Литература

Козлов В. В., Артемов А. В.

1965. Принципы и методы фотоселенологического картирования.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., изд. Геогр. об-ва СССР.

Мейсон А. С., Хэкман Р. Дж.

1963. Фотогеологическое исследование Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.

Хабаров А. В.

1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.

1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

Hackman R. J.

1960. Generalized photogeologic map of the Moon.— In: «Engineer special study of the surface of the Moon». Washington, U. S. Army Map Serv.

Hartmann W. K., Kuiper G. P.

1962. Concentric structures surrounding lunar basins.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 1, N 12—13.

Kuiper G. P. a. oth.

1960. Photographic lunar atlas. Chicago.

Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.

Miyamoto S.

1959. A geological interpretation of the lunar surface. J. Internat. Lunar Soc., July.

Ranger VII. Technical Rept № 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1965.

Ranger VIII and IX. Technical Rept № 32-800. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1966.

Shoemaker E. M., Hackman R. J.

1962. Stratigraphic basis for a lunar time scale.— In: «The Moon» (Internat. Astron. Union Moon Sympos., N 14, 1960). London — N. Y., Acad. Press.

Spurr J. E.

1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Pres.

О мощности пород процелляриевого комплекса

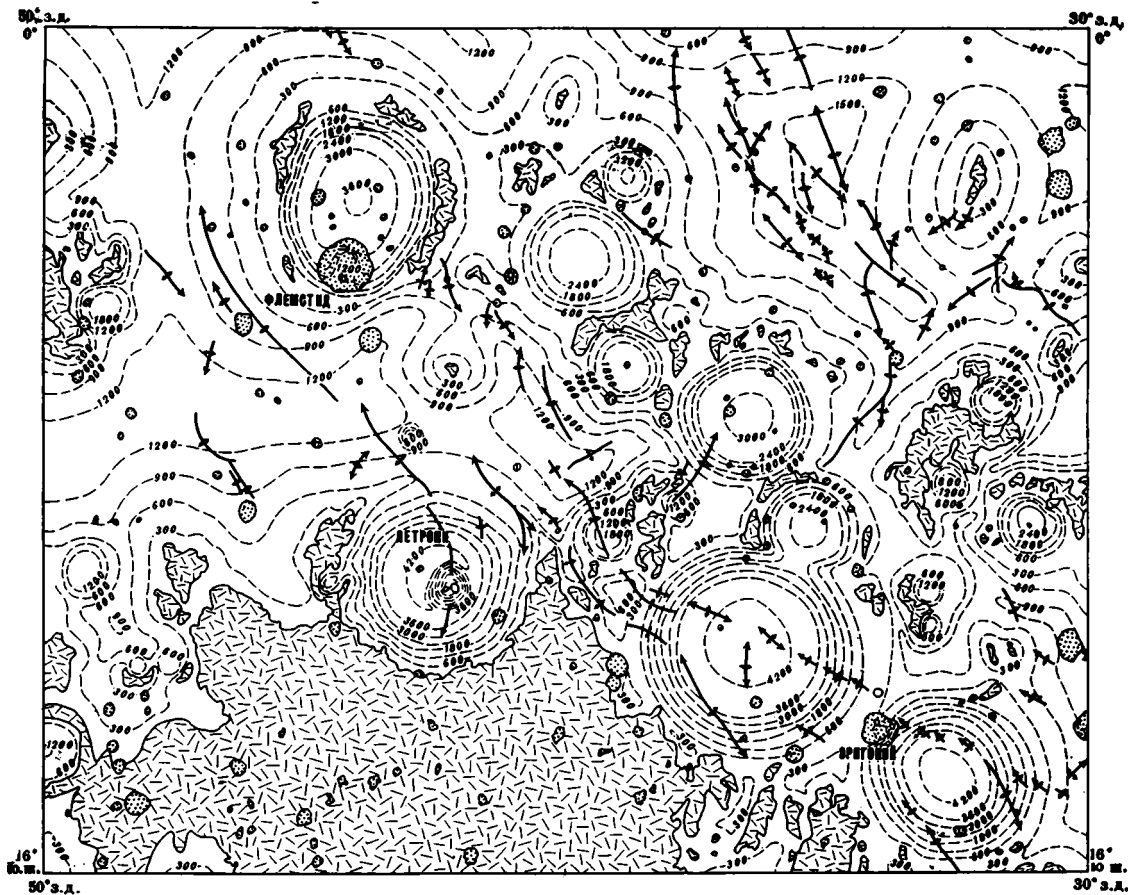
А. Л. Суханов, Л. М. Шжерин

Оценка мощности лунных образований весьма сложна. Однако ее можно попытаться решить с некоторой условностью уже сейчас. Известно, что для молодых незаполненных кратеров величины превышений вала над днищем кратера и окружающей поверхностью зависят от его диаметра, а именно: чем больше диаметр, тем они больше (Baldwin, 1949). При этом каждому значению диаметра соответствует определенная величина превышения вала над днищем и над уровнем окружающей поверхности. Древние кратеры, заполненные морскими образованиями, имеют малую глубину и низкие валы, едва выступающие над морем. Следовательно, можно предположить, что разница между глубиной идеального кратера (превышение вала над днищем, не перекрытым более молодым материалом) и фактически наблюдаемой глубиной погребенного кратера и будет соответствовать мощности более молодых пород в дне кратера, а разница между превышением вала идеального кратера над окружающей местностью и фактически наблюдаемой величиной превышения даст мощность перекрывающих пород вблизи кратера.






Опираясь на эти предположения, американский исследователь К. Х. Маршалл (Marshall, 1961) построил карту мощностей пород процелляриевого комплекса для района цирка Летронн (рис. 1). Здесь им выделены доимбрийские, имбрийские, процелляриевые, эратосфенские и коперниковские образования, согласно стратиграфической схеме Ю. М. Шумэкера и Р. Дж. Хэкмана.

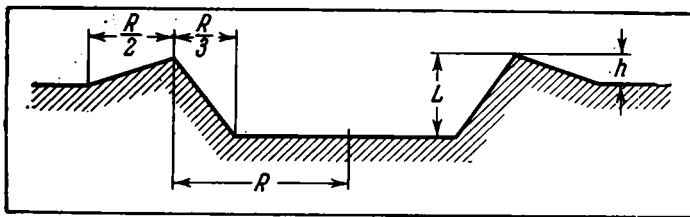
Доимбрийские и имбрийские образования преобладают в южной части этого района и наблюдаются в многочисленных мелких выходах на остальной площади, выступая из-под морских процелляриевых пород. Материал коперниковских и эратосфенских кратеров перекрывает процелляриевые образования.

Мощность процелляриевого комплекса, породы которого наиболее широко распространены в этой области Луны, видимо, существенно зависит от строения захороненного допроцелляриевого рельефа и рассчитывалась К. Х. Маршаллом следующим образом. При анализе различных



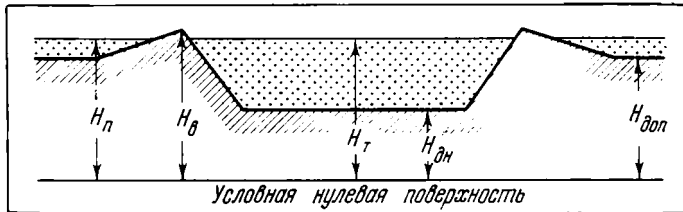
1. Карта мощностей пород протелляриевского комплекса, составленная К. Х. Маршалом (1961) для района цирка Летрони

-  — породы коперниковского и эратосфенского комплексов;
-  — породы протелляриевского комплекса;
-  — породы имбрийского и доимбрийского возраста;
-  — вали (показаны гребень и направление понижения);
-  — изопахиты, показывающие распределение мощностей пород протелляриевского комплекса



2. Профиль молодого, незаполненного кратера

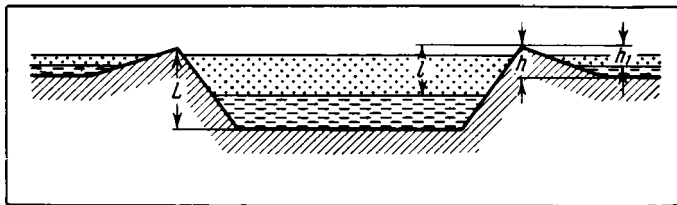
R — радиус кратера; h — превышение вала кратера над окружающей поверхностью
 L — превышение вала кратера над дном;



3. Профиль кратера, перекрытого породами процелляриевго возраста



— процелляриевые образования; H_n — высотная отметка процелляриевой поверхности в рассчитываемой точке снаружи кратера;
 $H_в$ — высотная отметка вала кратера;
 $H_т$ — высотная отметка процелляриевой поверхности в рассчитываемой точке внутри кратера;
 $H_{дн}$ — высотная отметка дна кратера;
 $H_{доп}$ — высотная отметка допроцелляриевой поверхности снаружи кратера



4. Профиль кратера, перекрытого породами допроцелляриевго и процелляриевго возраста



— породы допроцелляриевго возраста;



— породы процелляриевго комплекса;

L — превышение вала кратера над погребенным дном;

l — превышение вала кратера над допроцелляриевой поверхностью внутри кратера;

h — превышение вала кратера над окружающей поверхностью, не перекрытой более поздними образованиями;

h_1 — превышение вала кратера над уровнем допроцелляриевой поверхности вне кратера

фотографий района цирка Летронн им выделено 20 частично захороненных кратеров допроцелляриевого возраста. Их диаметры и превышения гребней кратерных валов над процелляриевой поверхностью были взяты с топографической карты масштаба 1 : 1 000 000 (Lunar chart, 1960) ¹.

Профиль кратера считался идеальным, т. е. крутые внутренние стенки переходят в уплощенное дно на расстоянии $\frac{2}{3}$ радиуса от центра, а более пологие внешние отроги вала соединяются с окружающей местностью на расстоянии от гребня вала около половины радиуса кратера (рис. 2). Существование центральных горok не принималось во внимание.

Для расчета мощности пород процелляриевого комплекса в отдельных точках (как внутри кратера, так и снаружи его) К. Х. Маршалл использовал кривые Р. Б. Болдуина (Baldwin, 1949), который выразил глубины молодых, незаполненных кратеров (L) и превышения их валов над окружающей поверхностью (h) как функции диаметров кратеров. Хотя разброс полученных точек вокруг кривых довольно велик, они могут быть использованы для определения средней ожидаемой глубины (L) и высоты вала (h) незаполненных кратеров с известными диаметрами. К. Х. Маршалл по этим кривым [$h = f(D)$ и $L = f(D)$] определял h и L допроцелляриевых кратеров (см. рис. 2).

Мощность пород процелляриевого комплекса определялась как разность отметок морской и доморской поверхностей в рассчитанных точках. Внутри каждого цирка рассчитывалась мощность для центральной части его дна по такой схеме (рис. 3):

1) определяется средняя абсолютная высота вала кратера (H_0) по топографической карте;

2) теоретическая глубина незаполненного кратера (L) берется по кривой Р. Б. Болдуина (Baldwin, 1949);

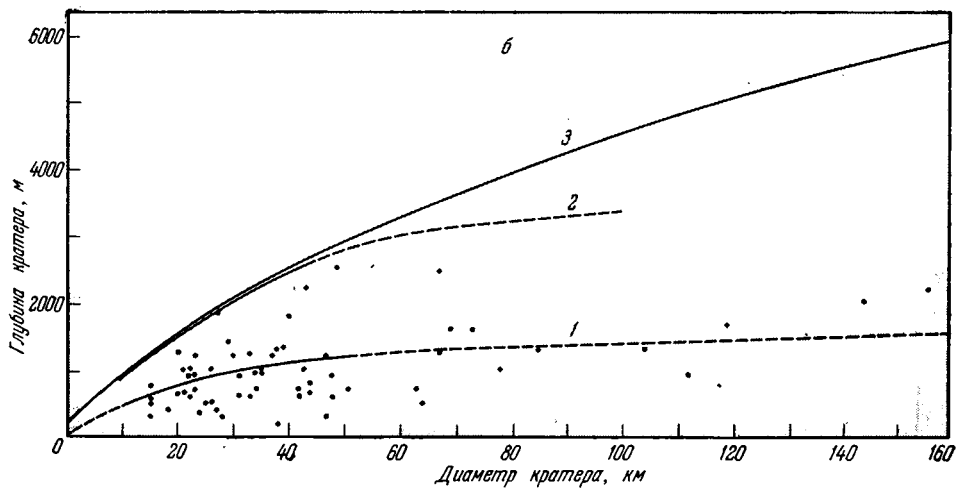
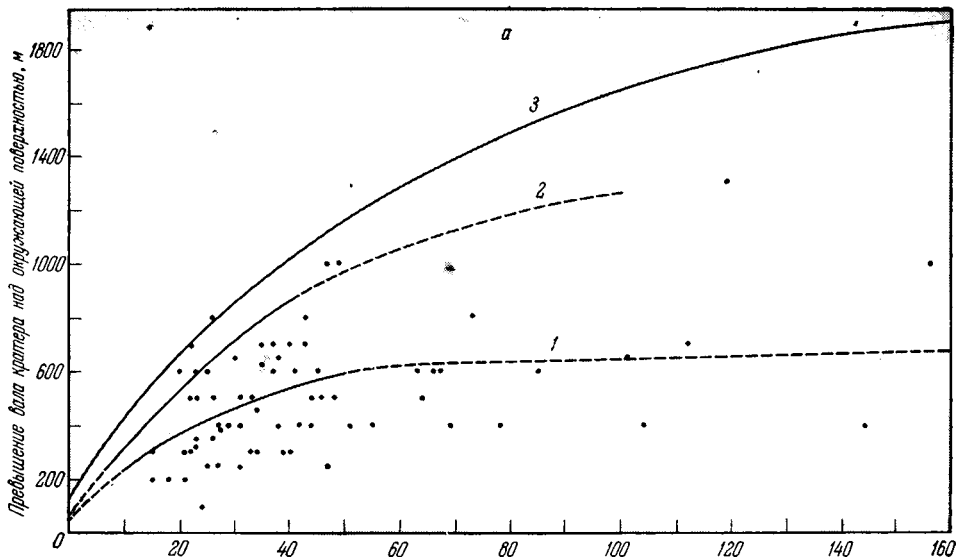
3) вычитая из первой величины вторую, можно определить первоначальную высотную отметку дна кратера ($H_{\text{дон}}$);

4) разница между отметками процелляриевой поверхности в рассчитываемой точке (H_m) и дна кратера ($H_{\text{дон}}$) дает мощность пород процелляриевого комплекса в центре кратера. Промежуточные изопахиты проводились в соответствии с идеальной формой кратера.

Снаружи кратеров точки рассчитывались аналогичным способом (см. рис. 3): для определения уровня допроцелляриевой поверхности ($H_{\text{дон}}$) из отметки вала кратера (H_0) вычиталась величина h , взятая по кривой Р. Б. Болдуина (теоретическая высота вала), а разница между отметками процелляриевой (H_n) и допроцелляриевой ($H_{\text{дон}}$) поверхностей в рассчитываемой точке дает искомую мощность пород процелляриевого комплекса. Изопахиты были нанесены путем интерполяции между рассчитанными точками и нулевым контуром. Всего К. Х. Маршаллом (Marshall, 1961) было рассчитано 58 точек.

Произведенные нами аналогичные исследования для этого же района показали, что мощности пород процелляриевого комплекса, полученные К. Х. Маршаллом (см. рис. 1), местами завышены. Причина этого заключается в том, что он определял L и h (рис. 4) древних кратеров по кривым Р. Б. Болдуина (1949), построенным для молодых, незаполненных кратеров, в то время как высота валов допроцелляриевых кратеров может

¹ Эта карта — одна из первых, изданных в серии Lunar chart... (1960—1964).



5. Кривые, показывающие зависимость между:

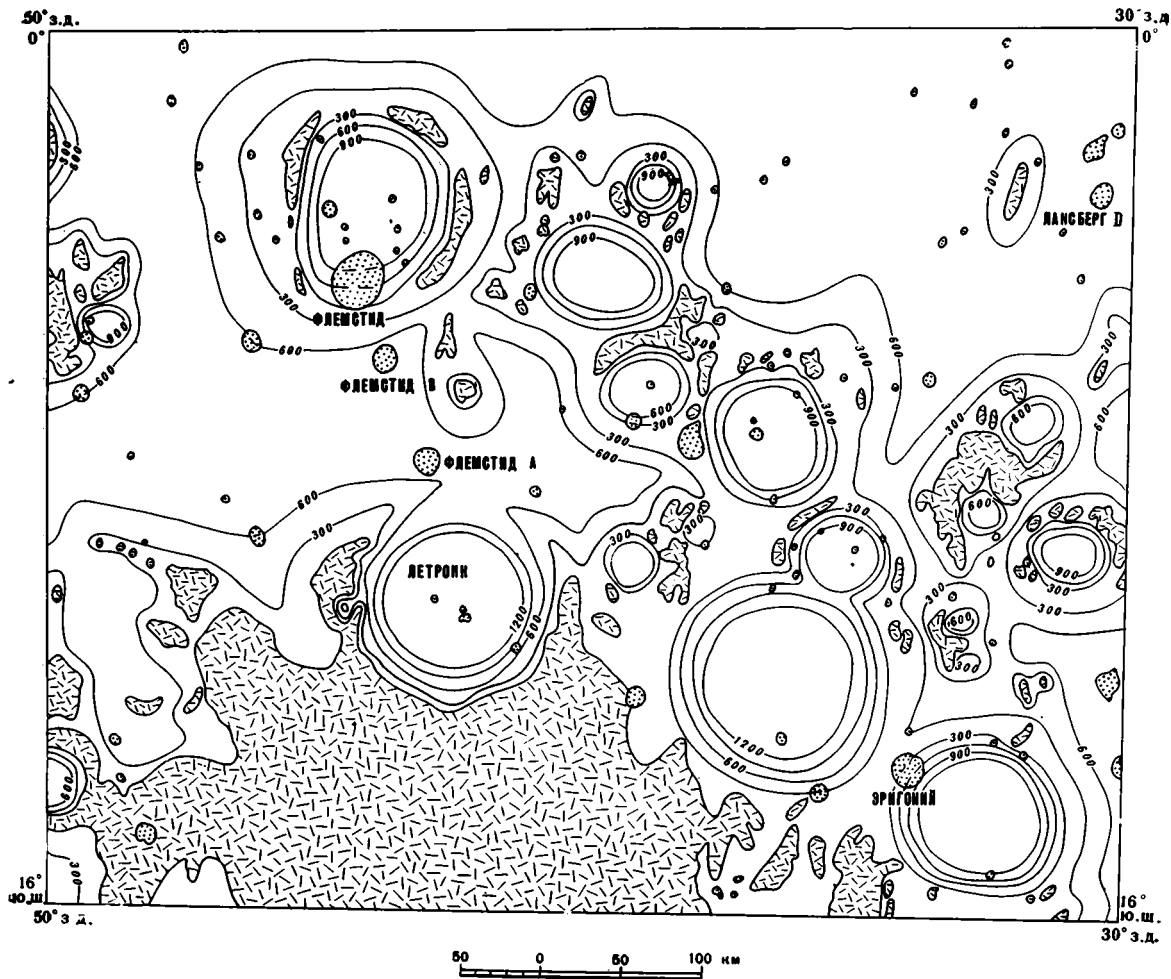
а — величиной превышения вала кратера над окружающей поверхностью и диаметром кратера;

б — глубиной и диаметром кратера;





1 — для птолемеевских кратеров;

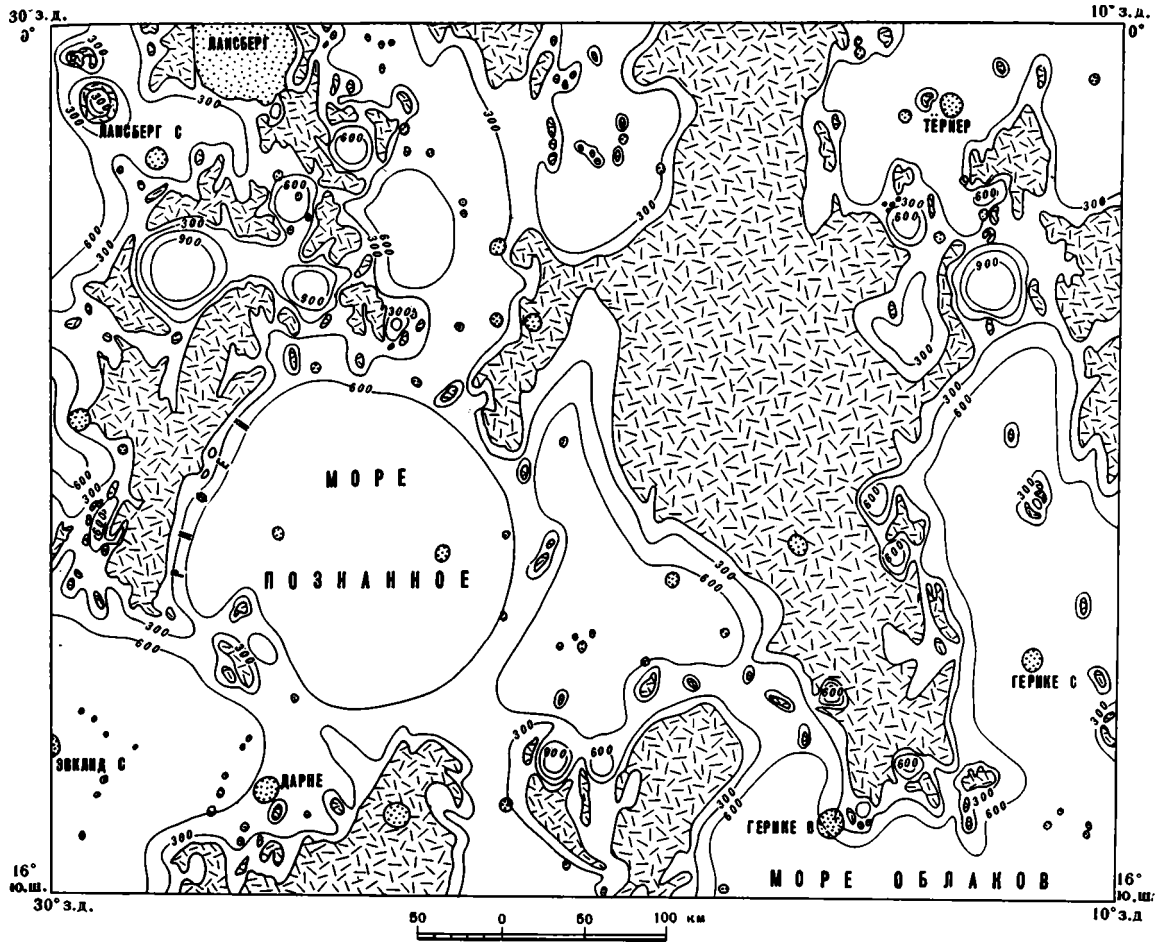
2 — для молодых (коперниковских и эратосфенских) кратеров;

3 — для молодых, незаполненных кратеров, построенные Р. Б. Болдуином (1949)



6. Уточненная карта мощностей пород процелляриевго комплекса района цирка Летропи

-  — породы коперниковского и эратосфенского комплексов;
-  — породы процелляриевго комплекса;
-  — породы допроцелляриевго возраста (небуляриевые, алтайские и медийские образования);
-  — изопахиты, показывающие распределение мощностей пород процелляриевго комплекса



7. Карта мощностей пород процелляриевго комплекса района Моря Познанного
Условные обозначения см. на рис. 6

заметно отличаться от высоты валов молодых. Когда мы пытаемся определить мощность пород процелляриевого комплекса в древних кратерах и вокруг них, нужно принимать во внимание, что в большинстве случаев заполнялись они не только процелляриевыми, но и медийскими, алтайскими образованиями (см. статью «Методика и легенда...» в настоящем сборнике). Кроме того, на Луне действуют, хотя и очень медленно, процессы эрозии, которые приводят к уменьшению по сравнению с первоначальными L и H лунных кратеров. Для древних кратеров эти изменения могут быть весьма значительны.

Это утверждение иллюстрируется построенными нами зависимостями $L = f(D)$ и $h = f(D)$ для молодых кратеров и $l = f(D)$ и $h_1 = f(D)$ для птолемеевских кратеров (рис. 5).

Для построения кривых нами использовано 83 молодых (коперниковских и эратосфенских) кратера и 81 птолемеевский, расположенных в экваториальном поясе Луны. Их возраст частично определен по геологическим картам, составленным А. Л. Сухановым и В. Г. Трифоновым, а частично по карте А. В. Хабакова (1960). Численные значения параметров этих кратеров определялись по топографическим картам масштаба 1 : 1 000 000 (Lunar chart, 1960—1964).

Оказалось, что если графики по молодым кратерам сравнимы с кривыми Р. Б. Болдуина, то обе кривые для птолемеевских кратеров располагаются значительно ниже их (рис. 5). Например, для кратеров диаметром 20 км, по кривым Р. Б. Болдуина, $h = 660$ м, $L = 1580$ м, а по нашим соответственно $h_1 = 370$ м, $l = 780$ м; для кратеров диаметром 100 км по кривым, составленным Р. Б. Болдуином, $h = 1640$ м, $L = 4540$ м, а по нашим — $h_1 = 650$ м, $l = 1380$ м.

Необходимо отметить, что наиболее достоверной является часть кривых для кратеров с диаметрами от 15 до 50 км, как наиболее обоснованная фактическим материалом. Цирков же диаметром в 50 км и более оказалось явно недостаточно для однозначного построения зависимостей $h_1 = f(D)$ и $L = f(D)$; проведенные в этом интервале кривые в значительной мере являются гипотетическими. Однако и кривые Р. Б. Болдуина в этой части также слабо охарактеризованы фактическим материалом. Уточнить их можно будет тогда, когда для всей видимой стороны Луны (или по крайней мере для большей ее части) будут построены топографические карты, с которых можно будет снять нужные нам параметры цирков.

Пользуясь описанной выше методикой, мы сделали попытку уточнить карту мощностей, построенную К. Х. Маршалом (1961) для района цирка Летронн (рис. 6), и построить такую карту для соседнего района Моря Познанного. О результатах произведенных исследований по району цирка Летронн уже упоминалось, поэтому сейчас остановимся только на том, как строилась карта мощностей для участка лунной поверхности, включающего Море Познанное (рис. 7).

По различным фотоснимкам (Kuiper a. oth., 1960) нами выделено 25 допроцелляриевых кратеров. Как следует из геологической карты этого района (см. статью М. С. Маркова «Объяснительная записка...» в этом сборнике), в пяти из них не оказалось процелляриевых образований, перекрыты они породами алтайского и небуляриевого комплексов. В остальных же кратерах мощность процелляриевых образований колеблется от 300 до 1200 м, как показали произведенные нами исследования. Всего была рассчитана мощность пород процелляриевого комплекса в 55 точках; в среднем вне кратеров она составляет первые сотни метров. В центральных частях.

впадин мощность может быть больше, но ничего определенного об этих участках сказать нельзя. Так, например, можно предполагать, что западная часть Моря Познанного является глубоко погруженным цирком типа Птолемея, от которого сохранилась только часть кратерного вала в виде Рифея. Тогда мощность пород процелляриевого комплекса в этой части Моря Познанного может достигать 1—2 км. Однако это предположение пока не может быть подтверждено каким-либо фактическим материалом.

Следует подчеркнуть, что приведенные расчеты касаются определения мощностей только процелляриевых образований. Суммарная мощность пород, включая небуляриевый, алтайский и медийский комплексы, естественно окажется значительно большей.

Литература

Хабаров А. В.

1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

Baldwin R. B.

1949. The face of the Moon. Chicago, Univ. Chicago Press.

Kuiper G. P. a. oth.

. 1960. Photographic lunar atlas. Chicago.

Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.

Marshall C. H.

1961. Thickness of the procellarium system, Letronne region of the Moon.— U. S. Geol. Surv. Profess. Paper, N 424-D.

Объяснительная записка
к геолого-морфологическим картам
южной части Моря Дождей,
кратера Коперник и его окрестностей
(листы LAC-40, 58)

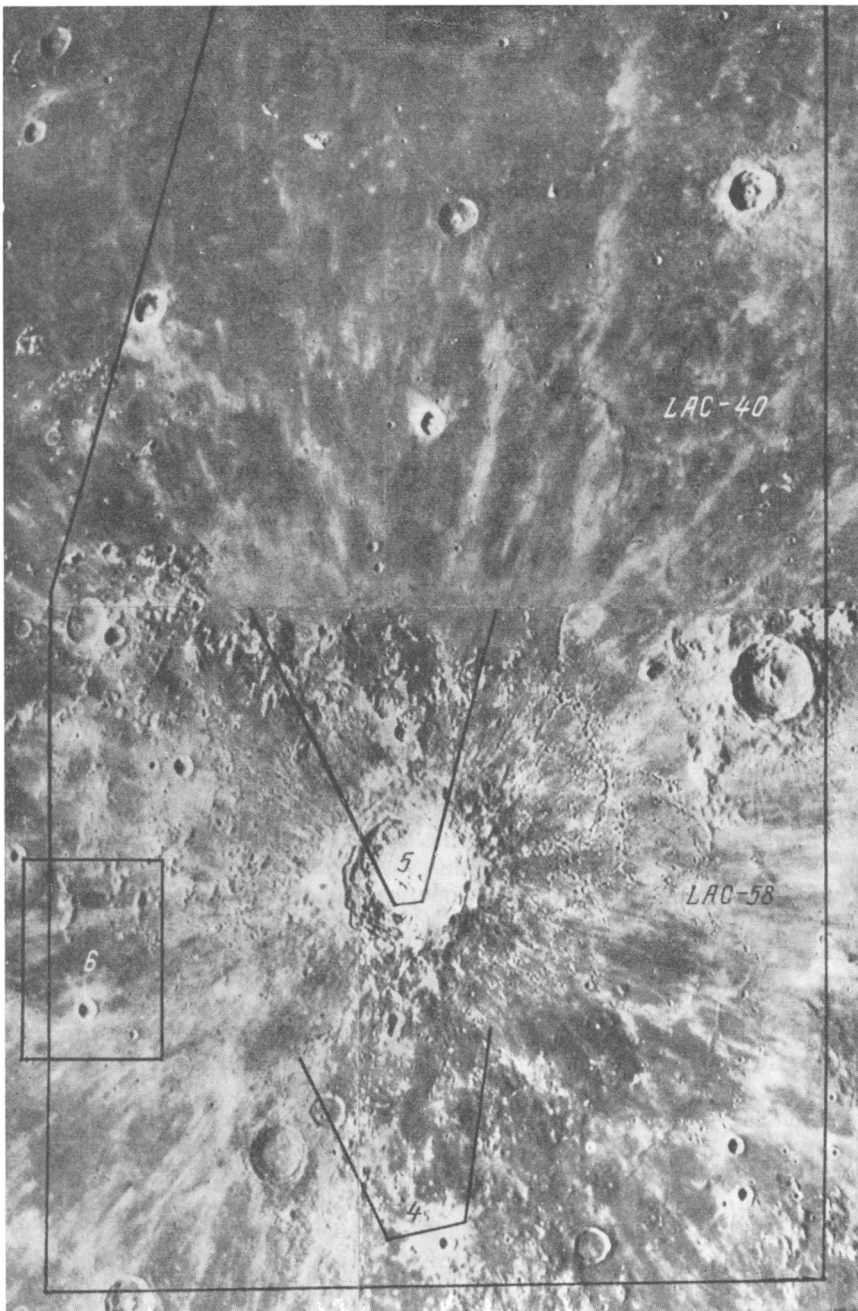
П. В. Флоренский

Описываемые планшеты расположены вблизи приэкваториальной центральной зоны северной половины видимого диска Луны (рис. 1). Они ограничены координатами 0 и 16° с. ш. и 10 и 80° в. д. Территория хорошо делится на два региона, приблизительно соответствующих границам планшетов: южная часть Моря Дождей (рис. 2, см. Приложение) и район кратера Коперник с окрестностями (рис. 3, см. Приложение; рис. 4, 5). На территории последнего региона выделяются южная кордильера Моря Дождей (Апеннины, Карпаты), кратер Коперник с выбросами, восточная окраина Океана Бурь, западная окраина Залива Зноя и холмистая равнина в окрестностях кратеров Лансберг, Рейнгольд и Гамбарт.

Почти весь планшет LAC-40 расположен в южной части Моря Дождей. Оно пересечено несколькими валами преимущественно северо-восточного, северо-западного и меридионального простираний. Поверхность этой территории очень ровная, с отдельными возвышенностями, превышающими окружающую местность на 500—600 м, и кратерами Эйлер, Ламберт, Тимохарис и Пифей, валы которых возвышаются на 500—1000 м. Постепенно к югу, по мере приближения к западным отрогам Апеннин и Карпат, морская поверхность делается более всхолмленной и возвышенной. На ней резко возрастает количество лунок.

Апеннины и Карпаты дугообразной кордильерой очерчивают южный борт Моря Дождей. Их северный склон, обращенный к Моря Дождей, особенно изрезанный, крутой и обрывистый; южный склон положе. Высота отдельных вершин достигает 1000 м над уровнем Моря Дождей. На южном склоне Апеннин расположен хорошо сохранившийся кратер Эратосфен. В Карпатах наиболее крупные кратеры Гей-Люссак и Тобий Майер. Южная граница Апеннин и особенно Карпат нечеткая; отдельные горы видны и дальше на юг до широты кратера Коперник и далее — южнее экватора.

Кратер Коперник, занимающий центральную часть листа LAC-58, — одно из самых заметных образований на Луне; благодаря ореолу светлых, расходящихся от него лучей он видим невооруженным глазом.



1. Обзорная фотосхема планшетов LAC-40 и LAC-58 и их окрестностей
Показаны контуры планшетов и снимков, приводимых в тексте

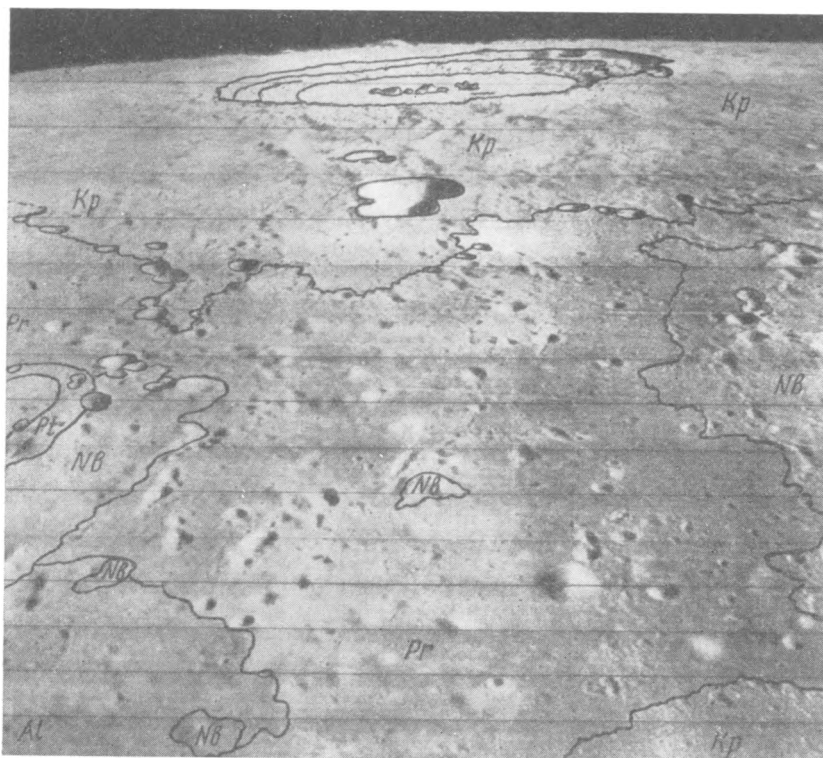
Окрестности кратера Коперник засыпаны выброшенным из него материалом и поэтому отличаются неровным, всхолмленным рельефом и обилием лунок, одиночных и группирующихся в радиальные и дуговые цепочки. На севере выбросы Коперника примыкают к Карпатам, на западе они постепенно выклиниваются в сторону Океана Бурь, к востоку — в сторону Залива Зноя и к югу распространяются обычно на 80—100 км. Западная часть планшета занята окраинами Океана Бурь, отличающимися ровной темной поверхностью. В южной части планшета, куда протягивается от Карпат всхолмленный рельеф, наблюдаются многочисленные возвышенности, обособленные и группирующиеся в системы; среди них расположено несколько кратеров: Рейнгольд, Гамбарт и Лансберг. Превышения колеблются здесь в пределах 1000—1500 м.

Картированию окрестностей Коперника посвящено довольно много работ. Опуская самые ранние, упомянем авторов, работавших над составлением карт в течение последних двух с половиной столетий (Мейер, 1900). Составлением карт Луны занимались Кассини и Лагир в Париже, Тобий Майер в Геттингене и Шретер в Лилиентале. В прошлом веке — Бейер и Медлер в Берлине, Лорман в Дрездене, Насмит, Нейсон в Англии. В течение сорока лет детальную карту Луны составлял Юлий Шмидт в Афинах: его карта, до сих пор представляющая интерес, была издана в 1877 г. Наряду с рисованными картами составлялись и фотографические карты Луны. Вслед за Дрэпером, впервые сфотографировавшим в 1840 г. Луну, ее фотографировали американцы Бондт и Рутенфорд, Принц в Брюсселе, Пиккеринг в Северной Америке (Кембридж), Хейль в Чикаго, астрономы Ликской обсерватории, братья Анри, а также Леви и Пюизе в Париже. Перечисленные работы, проводившиеся в основном до начала XX в., позволили составить довольно четкое представление о внешних структурных особенностях видимого диска Луны и, в частности, описываемой территории. На картах Лормана, например, прекрасно видны не только крупные кратеры, но и мелкие валы и возвышенности.

А. В. Хабаков (1960) составил карту, на которой он выделил весьма древние линейные формы, слагающие Апеннины, Карпаты и обнажающиеся среди выбросов Коперника. Среди древних структур есть кратеры, близкие к ним по возрасту. Древние структуры распространены в указанной территории мало. Молодыми образованиями являются породы, слагающие Море Дождей, Залив Зноя, Океан Бурь. Кратеры Коперник, Эратосфен, Гей-Люссак, Рейнгольд, Лансберг, Пифей, Эйлер, Ламберт, Тимохар и другие, более мелкие, он относит к самым молодым образованиям. К близким выводам пришел Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945). Он, в частности, выделил небуляриевую формацию, являющуюся фундаментом Коперника. Дж. К. Гильберт (Gilbert, 1893), Р. Б. Болдуин (Baldwin, 1965), Х. К. Юри (Urey, 1952) предположили, что впадина Моря Дождей образовалась при ударе о поверхность Луны астероида. Дж. Е. Спёрр, напротив, высказался за эндогенное происхождение этой структуры.

Составлено множество карт разрывов всего видимого диска Луны и, в частности, описываемой территории (Gilbert, 1893; Dagnay, 1933; Spurr, 1945; Хабаков, 1949, 1960; von Bülow, 1958; Firsoff, 1959; Hackman, 1960; Le Roy, 1961; Fielder, 1961).

Детальную геологическую карту окрестностей кратера Коперник составили Ю. М. Шумэкер и Р. Дж. Хекман (1963). Несколько видоизменив стратиграфическое расчленение, предложенное ранее А. В. Хабаковым (1949) и Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1945), они выделили доимбрийскую



4. Кратер Коперник и его окрестности с юга. Снимок сделан с американской космической станции Лунар Орбитер II в ноябре 1966 г. с высоты 45 км над поверхностью Луны. На первом плане — поверхность, покрытая морскими отложениями (Pr) с отдельными выходами небуляриевых (Nb). В юго-восточном углу — выбросы Гамбарта А (Кр), в юго-западном углу — алтайские породы (Al) с отдельными выходами небуляриевых (Nb); на западе — часть вала Рейнхольда А (Pt). На севере — выбросы Коперника с кратерами Фаут и Фаут А в центре снимка. Хорошо видно, что кратер Коперник является гигантской впадиной с террасированными склонами и плоским дном, на котором возвышаются центральные горки. На горизонте видны вершины Карпат. Положение снимка показано на рис. 1

систему, объединяющую древнейшие породы, по-видимому, разных возрастов, которые обнажаются в гребнях Карпат и в отдельных выходах в районе Коперник. Имбрийская система, которая широко распространена в районе Карпат, прослеживается к югу через весь планшет. Протекторная система отвечает морским образованиям Океана Бурь, Моря Дождей и Залива Зноя. Поздние кратеры они разделили на эратосфенские, у которых отсутствуют лучи, и более молодые коперниковские кратеры с развитой лучевой системой. Таким образом, район кратера Коперник и расположенного севернее Моря Дождей изучен многими исследователями. Точки зрения разных авторов на стратиграфическое расчленение пород, обнажающихся в этом районе, достаточно близки. Однако, несмотря на это, различие взглядов на генезис структуры лунной поверхности осталось и наряду с вулканической эндогенной гипотезой существует и метеоритно-ударная экзогенная гипотеза развития лунной поверхности.

Настоящая карта составлена на основе гипсометрических карт серии LAC масштаба 1 : 1 000 000 путем детального анализа фотографий видимого полушария Луны (Kuiper a. oth., 1960). Методика геологического картирования поверхности Луны изложена В. Г. Трифоновым и А. Л. Сухановым (см. их статью «Методика и легенда...» в настоящем сборнике).

На территории листов LAC-46 и LAC-56 выделяются следующие комплексы горных пород:

- комплекс древнейших образований (Ant)
- небуляриевый морской комплекс (Nb)
- гиппархский комплекс кратерных образований (Hr)
- алтайский морской комплекс (Al)
- птолемеевский комплекс кратерных образований (Pt)
- процелляриевый морской комплекс (Pr)
- эратосфенский комплекс кратерных образований (Er)
- коперниковский комплекс кратерных образований (Kp)
- молодые морские образования (комплекс M)

Комплекс древнейших образований (Ant) распространен среди пород небуляриевого комплекса в Алтайских горах, в Карпатах, в отдельных выходах среди более молодых пород берегового уступа Моря Дождей. К древнейшим отложениям отнесены породы, слагающие наиболее высокие горы, отличающиеся особенно расчлененным рельефом. Возможно, что в отдельных участках древнейшие породы обнажаются и к югу от Коперника, однако уверенно выделить их сейчас трудно.

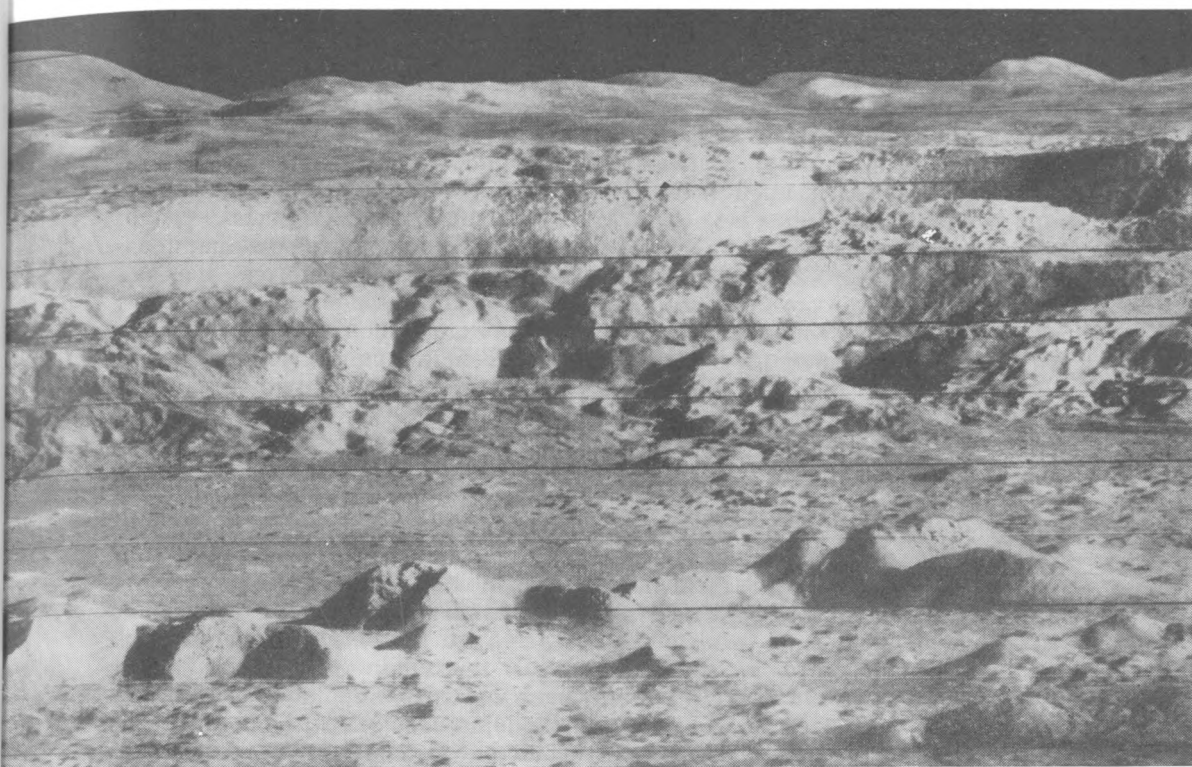
Небуляриевый комплекс (Nb) распространен на описываемых планшетах достаточно широко: породы его слагают горные области Апеннин и Карпат, отдельные выходы среди Моря Дождей, многочисленные мелкие горки к западу от Коперника и довольно обширные участки на юге планшета в районе кратеров Рейнгольд, Гамбарт и Лансберг.

На телескопических снимках породы небуляриевого комплекса отличаются высоким рельефом, скалистыми выходами и очень сильной тектонической нарушенностью. Выходы небуляриевого комплекса слагают высокие горы, возвышающиеся над окружающей местностью на 500—1000 м и рассеченные многочисленными разломами. Особенно много разломов, преимущественно меридионального простирания, в Апеннинах и Карпатах; именно такое направление разломов определяет внутреннюю структуру этих гор. Меридиональные разломы прослеживаются и южнее, к западу и к югу от кратера Коперник.

В районе кратеров Рейнгольд и Гамбарт среди пород небуляриевого комплекса наблюдается также много разломов северо-восточного и северо-западного простираний, однако и там эти разломы играют меньшую роль, чем меридиональные.

Гиппархский комплекс (Hr) распространен в тех же участках, что и породы небуляриевого комплекса, среди выходов которых они встречаются довольно равномерно. Как правило, от гиппархских кратеров сохраняется вал, обычно сильно нарушенный разломами. Нередко часть кратера опущена и перекрыта более молодыми отложениями, что часто наблюдается в районе обрыва южной кордильеры Моря Дождей (Апеннины и Карпаты) и на юго-востоке планшета в районе кратера Гамбарт В. Днища гиппархских кратеров часто также затоплены более молодыми образованиями преимущественно процелляриевого комплекса.

Алтайский комплекс (Al) распространен в пределах описываемых планшетов очень слабо. Его отложения выделяются на юге в районе кратеров Ланс-



5. Кратер Коперник с юга. Снимок сделан во время пролета Лунар Орбитер II в ноябре 1966 г. с высоты 45 км над поверхностью.

На переднем плане — плоское днище Коперника с рядом центральных горок. Южный красный вал не виден. Далее возвышается северный склон кратера со ступеньками террас. На горизонте всаиваются Карпаты. Видны наклонные слои или дайки в центральной горке на переднем плане и слабо выраженные слои в террасах вала. Положение снимка показано на рис. 1

берг и к югу от Рейнгольда. Вероятно, небольшие выходы его есть к западу от Коперника. Возможно, что маломощный слой отложений алтайского комплекса протягивается на север от Коперника, где скрыт под его выбросами. Алтайские породы достаточно четко отличаются от более древних образований слабо всхолмленным рельефом и незначительной тектонической нарушенностью. На фотографиях хорошо видно, что алтайские породы перекрывают более древние породы небуляриевого комплекса и заполняют гишархские кратеры. Алтайский комплекс характеризуется более низким альбедо по сравнению с альбедо древних пород.

Птолемеевский комплекс (Pt), как и алтайский комплекс, слабо распространен. К нему относится ряд кратеров, расположенных на более древних, преимущественно небуляриевых отложениях: Тобий Майер, Рейнгольд В, Гей-Люссак и Гамбарт, и имеющих угловатые очертания. Часть их скрыта под чехлом процелляриевого комплекса и угадывается по кольцевым валам и отдельным, обрывочным их выходам: Ламберт, Стадий, Гортензий В. Более молодые морские отложения или заполняют днище

кратеров, или даже перекрывают стенки их валов. Птолемеевские кратеры почти не нарушены разломами.

Процелляриевый комплекс (Pr) распространен на описываемой территории наиболее широко. Он слагает обширную впадину Моря Дождей, т. е. почти весь планшет LAC-40, восточную оконечность Океана Бурь и Залив Зноя. На телескопических снимках породы процелляриевого комплекса отличаются темным цветом (если они не перекрыты лучами Коперника) и очень спокойным рельефом. Практически они не нарушены разломами. Процелляриевый комплекс слагает зоны пониженного рельефа, представляющие собой обширные сравнительно ровные пространства.

Хорошо видно, что породы процелляриевого комплекса перекрывают более древние образования, заливами проникая в пониженные участки рельефа в глубь Апеннин и Карпат, а также маломощным чехлом затопляют область к западу от Коперника, перекрывая породы небуляриевого комплекса. В разных участках процелляриевые породы освещены в разной степени — наиболее светлые они там, где перекрыты ориентированными лучами Коперника. Кроме того, на снимках, полученных при вертикальном освещении, выделяются обширные, слабо освещенные области. Наиболее темными оказываются отдельные, но достаточно обширные ровные участки, распространенные в Море Дождей. Не исключено, что по крайней мере два последних типа выходов процелляриевого комплекса соответствуют разным возрастным единицам; из них освещенные поверхности — более древние, а темные — относительно моложе. Возможно, более темные одновозрастные коперниковским кратерам.

Эратосфенский комплекс (Er) охватывает молодые, хорошо сохранившиеся кратеры, у которых, в отличие от коперниковских кратеров, отсутствует лучевая система. Иногда они несколько более нарушены, чем коперниковские.

На описываемых планшетах самым большим кратером этого возраста является кратер Эратосфен, давший название всему комплексу. В нем хорошо различаются плоское днище и центральная горка с лункой посередине. Внутренние склоны кратера имеют несколько террас. Если гребень кратера возвышается над окружающей местностью на 1000 м, то его внутренняя часть ниже ее на 2000 м и, следовательно, ниже вала на 3000 м. Выбросы Эратосфена, мощные и хорошо заметные в виде гряд и валов, на расстоянии 20—40 км от вала кратера постепенно выклиниваются и на расстоянии 100 км покрывают окружающую территорию, по-видимому, тонким слоем. Аналогичное строение, но несколько меньшие размеры имеют эратосфенские кратеры Ламберт, Рейнгольд и Лансберг. Кроме того, выделяются эратосфенские кратеры диаметром 10—30 км с низким валом (Тобий Майер G, Пифей A, Тимохарис F, Эратосфен D, E и другие).

Эратосфенские кратеры и их выбросы явно располагаются на процелляриевых и более древних отложениях. Однако они перекрыты лучами и выбросами коперниковских кратеров; так, к северу от Эратосфена светлые лучи Коперника перекрывают эратосфенские выбросы.

Коперниковский комплекс (Kr) наряду с процелляриевым наиболее широко развит на описываемых планшетах. Центральной структурой южного планшета LAC-56 является кратер Коперник, по имени которого назван весь комплекс. Диаметр Коперника 90 км. Его строение сходно со строением Эратосфена: такое же ровное днище, опущенное ниже окружающей местности на 1900 м, на днище — несколько горок, на которых, впрочем, не видны лунки. Внутренние склоны Коперника террасированы. Осо-

бенно хорошо эти террасы видны на перспективных снимках, полученных с американского искусственного спутника Лунар Орбитер II (см. рис. 4, 5).

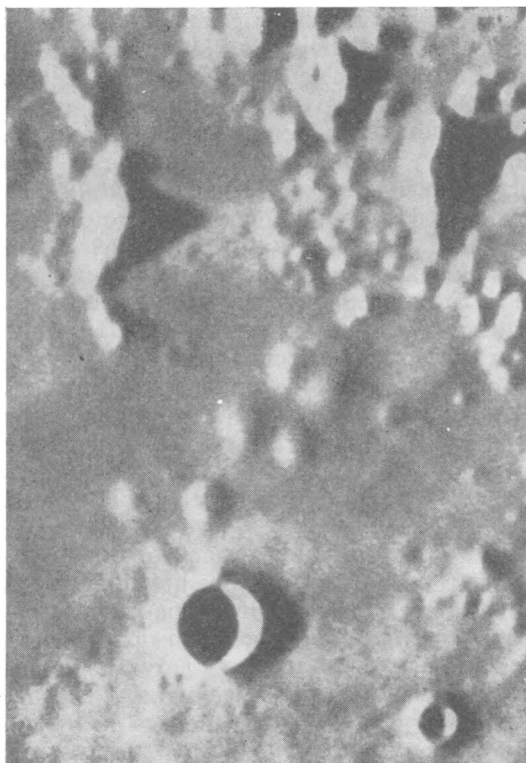
Выбросы Коперника довольно плотным слоем покрывают окружающую местность на расстоянии 50—100 км. Здесь структура выбросов очень грубая, видны небольшие валы, гривы, террасы. По мере удаления от кратеров мощность выбросов, по-видимому, уменьшается, соответственно делается менее рельефной и структура поверхности. Обращает внимание поразительное обилие лунок, окружающих Коперник, количество которых максимально примерно в 70 км от гребня. Лунки, как правило, имеют диаметры 3—5 км. По их взаимному расположению можно выделить одиночные лунки и лунки, группирующиеся в линии, радиально расходящиеся от кратера, среди которых много вытянутых лунок. Лунки другого типа цепочками трассируют дугообразные структуры, распространенные в основном к востоку от Коперника. Возможно, что по крайней мере лунки, группирующиеся в лучи и дуги, связаны с разломами. Интересно, что в тех румбах относительно Коперника, где развиты радиальные цепочки лунок (север, запад, северо-запад), отсутствуют дугообразные цепочки и, наоборот, в восточных и юго-восточных румбах развиты дугообразные цепочки и отсутствуют радиальные.

Лучи, являющиеся более мелкими, но более широко распространяющимися выбросами Коперника, покрывают обширную территорию, ложась на все более древние комплексы. Выделяется несколько видов лучей (Хабакон, 1949). Наиболее характерны вытянутые, прослеживающиеся на несколько тысяч километров, радиально расходящиеся от кратера полосы, шириной в 50—100 км. Расходясь от кратера, лучи все менее и менее плотным слоем покрывают поверхность Луны. Характерно, что распределение лучевых выбросов весьма неравномерно. Лучи Коперника видны не сразу за валом, а отступя от него 20—50 км. На некоторых photographиях вокруг вала Коперника наблюдается даже темный ореол, который объясняется иногда темными выбросами Коперника.

Отдельные участки, особенно валы, как это хорошо видно на планшете ЛАС-40, осветлены на очень большом расстоянии от Коперника. Местами видно, что эти лучи состоят из очень мелких лунок и всхолмленностей рельефа, из которых в свою очередь расходятся более мелкие лучи. От таких вторичных лунок мелкие лучи направлены ориентированно — в сторону от основного кратера. Именно таким образом построены лучи Коперника в участке между кратерами Эйлер, Пит, Ламберт.

Кроме ориентированных лучей, обширные области осветлены, вероятно, благодаря по крайней мере частичному воздействию выбросов Коперника. По мере перемещения на север радиальная ориентировка внутренней структуры лучей несколько нарушается и ориентированные их фрагменты направлены не от Коперника, а от центра, расположенного несколько западнее его. Это явление хорошо видно у луча Коперника, протягивающегося на севере между Ламбертом и Тимохарисом. Можно предположить, что такое смещение объясняется вращением Луны, с одной стороны, и длительностью движения частиц во время выброса — с другой.

Помимо Коперника на описанной территории выделяется еще несколько менее крупных кратеров коперниковского возраста: Эйлер, Пифей, Тимохарис, Гортензий, Тобий Майер. Их лучевые выбросы распространены очень недалеко, хотя вблизи кратеров осветление лучей нередко интенсивнее, чем у Коперника, что наблюдается, например, у кратеров Тобий Майер и Гамбарт А. По соотношению лучей разных кратеров можно



6. Купола с выбросами, перекрывающими коперниковские лучи. Положение снимка показано на рис. 1

судить об относительном возрасте выбросов. Так, лучи Пифея, Тимохариса, Тобий Майера, Гортензия и Гамбарта А, несомненно, перекрывают лучи Коперника. Перекрывают выбросы Коперника также и лучи двух маленьких лунок, расположенных на его западном валу.

Таким образом, по соотношению лучей и выбросов можно составить представление об относительных возрастных соотношениях различных кратеров коперниковского возраста. Несомненно, что этот комплекс, как, вероятно, и другие, более древние комплексы, включает в себя породы, образовавшиеся в течение длительного времени.

Молодые отложения (М) выделены по интенсивной густой темной окраске, сохраняющейся при самых различных освещенностях. Участки распространения молодых отложений отличаются, кроме того, от морских пород бугристой поверхностью. В некоторых участках видно, что такие бугры, или купола, имеют в центре кратер (рис. 6). Такая структура очень хорошо видна среди выбросов Коперника к юго-востоку от него, а также к юго-западу от Коперника, где образования такого купола, несомненно, перекрывают лучевой выброс Коперника.

Характерные участки распространения молодых отложений имеются среди морской поверхности к северу от Тобий Майера, около Пифея, в районе кратеров Драпер (к-видимому, оба кратера Драпер также очень молоды, хотя и не имеют лучевых выбросов; на карте они оба условно показаны как коперниковские). Самое обширное и характерное поле мо-

лодых образований находится к юго-западу от Коперника, где оно особенно заметно благодаря окружающим его ярким лучам.

В структурном отношении описываемый район делится четко на три части: северную — Море Дождей, среднюю — горная система Карпат и Апеннин и южную — район выбросов Коперника с окружающими участками. Море Дождей представляет собой обширную ровную поверхность, пересеченную рядом валов преимущественно меридионального, северо-западного и северо-восточного простираний; отсутствуют широтные валы. Ширина валов 20—30 км, превышение над окружающей местностью 300—500 м. Среди валов чаще, чем в других участках, располагаются локальные выходы допроцелляриевых и небуляриевых отложений. На валах же преимущественно располагаются вытянутые в цепочки системы лунок, трассирующие, вероятно, разломы. Уже отмечалось, что валы преимущественно подвергаются осветлению лучами выбросов Коперника, хотя возможно, что на самом валу группируются самостоятельные центры лучевых выбросов. Среди морских отложений также распространены округлые куполовидные поднятия диаметром 2—5 км, уже упоминавшиеся при описании самых молодых отложений, встречающихся на севере планшета.

Структура Апеннин и Карпат типична для береговой кордильеры кольцевых лунных морей. Ее северный, обращенный к морю склон, имеющий характерный дугообразный облик, скорее всего образован гигантскими разломами. Положение этих разломов местами лишь угадывается. На картах же масштаба 1 : 1 000 000 фиксируются только радиальные разломы, имеющие в данном районе строго меридиональное и субмеридиональное простирание.

Структура Коперника является, по-видимому, структурой многократного и разномасштабного проседания, происходившего в процессе постепенного сокращения объема в подстилающем Коперник участке лунной коры. Свидетельством такого проседания являются плоское дно кратера и террасы на его внутренних склонах. Структура проседания следующего масштаба, радиус которой около 150—180 км, соответствует примерно области распространения выбросов Коперника, ее контуры можно условно провести по дуговым цепочкам лунок на востоке от Коперника, зоне радиальных цепочек к востоку и северо-востоку от Коперника, к южному склону Карпат и Апеннин на севере.

По-видимому, напряжения, создающиеся при проседании, разрешаются в разных участках системами разломов и разнонаправленных блоковых движений. На западе, востоке и северо-востоке они проявились системой дугообразных разломов, трассирующихся многочисленными лунками. На юго-востоке, юге, юго-западе, северо-западе и севере эти напряжения разрешаются системами радиальных разломов, также трассирующихся лунками. Следующий кольцевой контур, окаймляющий Коперник, заметен на юго-западе и западе от него. Это система выходов более древних пород, тянущаяся от Лансберга к северо-западу. На юго-западе этот контур отмечается, по-видимому, системой валов.

Таким образом, структура Коперника и его окрестностей является обширной структурой прикратерного проседания, по масштабу сходная с морскими кольцевыми структурами. Однако если структуры проседания морского типа заполнялись процелляриевыми пологолежащими породами большой мощности, то здесь опустившаяся часть перекрыта маломощными выбросами из Коперника.

Анализ геологического строения карт LAC-40 и 56 позволил: 1) проследить на запад структуру древней береговой кордильеры Моря Дождей;

2) детализировать расчленения морских процелляриевых и кратерных коперниковских образований, выделить среди них более мелкие стратиграфические единицы; 3) выяснить некоторые черты строения района кратера Коперник как структуры обширного блокового проседания кольцевой формы. Одной из важных задач является дальнейшее изучение самых молодых — наиболее темных морских образований с использованием крупномасштабных изображений.

Литература

- Артур Д. У. Дж.**
1963. Визуальные наблюдения Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Мейер М. В.**
1900. Мироздание. СПб., изд-во «Просвещение».
- Мейсон А. С., Хэкман Р. Дж.**
1963. Фотогеологическое исследование Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Фотокарта видимого полушария Луны. М. 1 : 5 000 000.** Научный руководитель Ю. Н. Липский. М., изд-во «Наука», 1967.
- Хабаров А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шумякер Ю. М., Хэкман Р. Дж.**
1963. Стратиграфическая основа для шкалы времени в истории развития Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Baldwin R. B.**
1965. A fundamental survey of the Moon. N. Y.
- Bülow K. von.**
1958. Lunare und tellurische Fundamentaltettonik.— Wiss. Z. Univ. Rostock, Math.-naturwiss. Reihe, 8.
- Darney M.**
1933. Le systeme Imbrien.— Bull. Soc. astron. France, 47.
- Fielder D.**
1961. Structure of the Moon's surface. London, Pergamon Press.
- Firsoff V. A.**
1959. Strange world of the Moon. London.
- Gilbert G. K.**
1893. The Moon's face.— Bull. Philos. Soc. Washington, 12.
- Hackman R. J.**
1960. Generalized photogeologic map of the Moon.— In: «Engineer special] study of the surface of the Moon». Washington, U. S. Army Map Serv.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
- Le Roy L. W.**
1961. Lunar features and lunar problems.— Bull. Geol. Soc. America, 72, N 4.
Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.
- Shoemaker E. M.**
1964. The geology of the Moon.— Scient. Amer., 211, N 6.
- Shoemaker E. M., Hackman R. J.**
1962. Stratigraphic basis for a lunar time scale.— In: «The Moon» (Internat. Astron. Union. Moon Sympos., N 14, 1960). London — N. Y., Acad. Press.
- Spurr J. E.**
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
- Urey H. C.**
1952. The planets. Oxford.

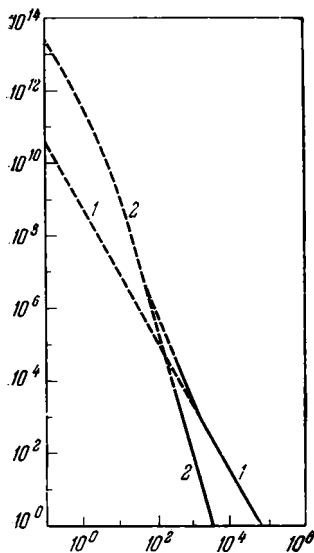
Объяснительная записка
к геолого-морфологической карте
северной части Моря Облаков
(лист LAC-76)

М. С. Марков

Рассматриваемый лист расположен в пределах экваториального пояса видимой стороны Луны и ограничен координатами $0-6^{\circ}$ ю. ш. и $10-30^{\circ}$ з. д. У западной рамки листа располагается вытянутый в меридиональном направлении крупный хребет, названный Рифейскими горами. На юге он начинается в виде узкого линейного поднятия; постепенно расширяясь на север, он переходит в поднятые части валов двух сильно нарушенных кратеров. Отдельные превышения в пределах Рифейских гор над окружающими участками, судя по данным топографических карт, достигают 750—1240 м. Характерными чертами рельефа Рифейских гор являются наличие вытянутых по простиранию хребта гребней, разделенных отдельными узкими ложбинами, общая асимметричность с пологим западным и очень крутым восточным склонами. На север Рифейские горы достаточно полого погружаются. После небольшого относительно ровного пространства рельеф вновь становится расчлененным, образуя северную часть вала кратера Эвклид Р, безмянного кратера к востоку от него и окружающий их холмистый и холмисто-грядовый рельеф.

Аналогичный рельеф прослеживается и вдоль северной рамки листа, где на фоне невысоких холмов и холмистых гряд (средние превышения 350—500 м) прослеживаются отдельные линейные гребни и небольшие хребты, возвышающиеся над окружающей поверхностью на 200—300, реже более, метров. На самой рамке листа располагается кратерная постройка Лансберга с резко расчлененным и высоким кратерным валом. К востоку от Рифейских гор располагается относительно пониженный и ровный участок, получивший название Моря Познанного. Края равнины Моря Познанного относительно приподняты, а наиболее погруженные части располагаются в центральной части, в районе кратеров Эвклид и Бонплан Е.

Судя по данным, полученным в результате обработки крупномасштабных снимков Рейнджер VII (Ranger VII, 1965), поверхность Моря Познанного не представляет собой идеально выровненного пространства. Помимо ранее выделявшихся в ее пределах морских хребтов и куполов, она изрыта многочисленными мелкими кратерами, диаметры которых колеблются от



1. Зависимость числа кратеров от их диаметров в лунных морях

- 1 — первичные кратеры,
2 — первичные и вторичные кратеры

Сплошные линии — наблюдаемые в телескопы кратеры, пунктирные — рассчитанная или предполагаемая распространенность (Ranger VII, 1965). По горизонтальной оси — диаметр кратеров, м, по вертикальной — количество кратеров на площади 10^4 км²

1 км до 300 м, покрыта небольшими эллипсоидальными углублениями (вторичные кратеры по терминологии авторов отчета Рейнджера VII), которые разделены небольшими холмиками. Высота последних не превышает 1 м, при ширине от 5 до 15 м. Эти холмики группируются в гряды, отчетливо вытянутые в меридиональном направлении. Плотность распределения мелких кратеров-лунок в пределах Моря Познанного отчетливо видна на прилагаемой диаграмме (рис. 1), взятой из отчета о результатах обработки снимков Рейнджера VII (Ranger VII, 1965, фиг. 37).

На востоке низменная область Моря Познанного ограничена областью увалистого рельефа, в пределах которой широко развиты крупные кратеры (Фра Мауро, Бонплан, Парри, Герике и др.). Отдельные превышения в пределах этой области достигают 800—1020 м. Здесь отчетливо выделяются кольцевые горы, являющиеся валами сильно разрушенных кратеров, и участки более монолитного увалистого рельефа, особенно в северной части этой зоны. Кроме того, здесь же распространены отдельные относительно выровненные участки, являющиеся плоскими днищами крупных кратеров.

Южная граница низменности Моря Познанного проводится по серии разрозненных возвышенностей, соединяющихся за рамкой листа с поднятой зоной кратера Буллиальд. Эта область характеризуется в основном неправильно холмистым рельефом с отдельными останцами грядовых гористых форм (к северу и северо-востоку от кратера Дарне). Через ряд пониженных участков низменность Моря Познанного продолжается на юг и как бы отдельными проливами соединяется со сходной по строению рельефа впадиной Моря Облаков.

Поднятая область с кратерами Фра Мауро, Бонплан, Парри и другими на востоке ограничена линейной зоной отчетливо выраженных грядовых форм рельефа, протягивающихся в меридиональном направлении от кратерного вала кратера Герике до северной рамки листа. Отдельные высоты

этих гряд над окружающей местностью достигают местами 1000 м (район кратера Фра Мауро К).

К востоку от них расположен участок с относительно выровненным и низким рельефом, представляющий собой залив Моря Облаков. Его естественное ограничение в пределах рассматриваемого листа наблюдается лишь в северной и северо-восточной частях, где оно состоит из серии отдельных изолированных небольших возвышенностей.

Вопросом геологического строения рассматриваемого листа посвящено относительно небольшое количество работ. Уже давно на его территории выделяются морские (Море Познанное) и материковые районы, причем в последнее время в эту чисто морфологическую классификацию вкладывается и вполне определенный геологический смысл, так как считается, что породы лунных «морей» являются самыми молодыми и залегают на более древних материковых образованиях (Хабаков, 1949, 1960; Spurr, 1945, и др.). Более детальные геологические представления мы находим в работах А. В. Хабакова. В его книге «Об основных вопросах истории развития поверхности Луны» (1949) Рифейские горы рассматриваются как незатопленная часть древнего цирка. К древним кратерным образованиям отнесены также кратеры Фра Мауро, Герике, Бонплан, Парри. Отмечается связь последних с меридиональными трещинами.

Из приложенной к другой работе А. В. Хабакова (1960) карты видно, что в пределах рассматриваемого листа им выделяются три возрастных комплекса горных пород. В пределах Рифейских гор выделены древнейшие образования, к древнейшему кратерному комплексу отнесена группа крупных кратеров в восточной половине листа (Фра Мауро, Бонплан, Герике и др.), за исключением кратера Парри, который отнесен к птолемеевскому кратерному комплексу. К новейшим образованиям А. В. Хабаковым отнесены породы Моря Познанного, днищ всех крупных кратеров, а также кратерные образования кратера Лансберг. Многочисленные трещины растяжения, хорошо видимые в районе кратера Фра Мауро, рассматриваются как самые молодые проявления дизъюнктивной тектоники.

Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945), так же как и А. В. Хабаков, рассматривал породы Рифейских гор как древнейшие образования, известные в этой части видимого полушария Луны. Им отмечалось, что они могут представлять собой либо сбросовый хребет, либо часть сильно нарушенного древнего цирка. Все остальные крупные кратеры (за исключением молодой кратерной постройки Лансберг) рассматривались Дж. Е. Спёрром как птолемеевские кратеры. В пределах листа, кроме того, отмечалось развитие пород формации Nebulagum, развитых к югу от кратера Коперник и представляющих, видимо, фундамент последнего. К западу от Фра Мауро, в северной части Рифейских гор, в районе кратера Лансберг и в ряде других участков района Дж. Е. Спёрр предполагал развитие пород формации Palluk.

К молодым образованиям им были отнесены породы кратерной постройки Лансберга, Моря Познанного и его многочисленных «заливов».

Геологическому строению этого района была посвящена специальная работа Р. И. Эгглетона, однако мне, к сожалению, не удалось с ней познакомиться. Из отчета по результатам изучения снимков Рейнджера VII (Ranger VII, 1965) выясняется, что в юго-восточной части Моря Познанного Р. И. Эгглетон предполагал развитие пород имбрийского комплекса, слагающих отдельные неправильной формы хребты.

Существенно дополнились наши знания о строении рассматриваемого района в результате появления снимков Рейнджера VII. Их изучение позволило выявить многочисленные первичные и вторичные кратеры-лунки, показало связь их с лучевыми системами. Кроме того, выделены мелкие позитивные формы рельефа. Все эти формы рельефа и связанные с ними отложения (лучевые выбросы кратеров), к сожалению, не могут быть показаны в масштабе 1:1 000 000, но тем не менее их следует учитывать при составлении геолого-морфологических карт любого масштаба.

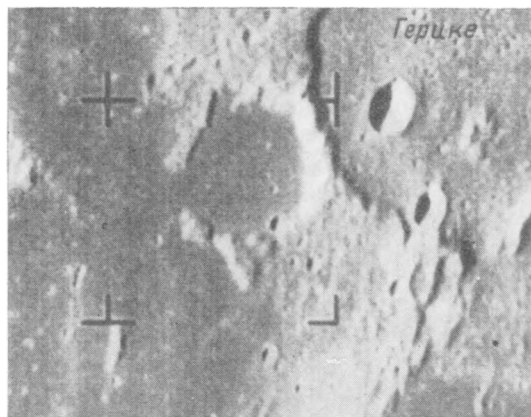
Стратиграфия

В результате проведенного анализа телескопических и других снимков Луны в пределах рассматриваемого листа LAC-76 выделяются следующие комплексы горных пород (рис. 2, 3, см. Приложение): 1) комплекс молодых морских образований (M); 2) коперниковский комплекс кратерных отложений (Kp); 3) эратосфенский комплекс кратерных отложений (Er); 4) процелляриевый морской комплекс (Pr); 5) птолемеевский комплекс кратерных отложений (Pt); 6) алтайский морской комплекс (Al); 7) комплекс гиппархских кратерных образований (Hr); 8) породы небуляриевого комплекса (Nb); 9) комплекс древнейших образований (Ant).

Породы комплекса древнейших образований распространены на рассматриваемом листе в нескольких участках. Во-первых, они как бы оконтуривают Море Познанное, будучи распространены в Рифейских горах, также к северу от них, в районе кратера Лансберг; кроме того, их выходы можно предполагать вдоль восточной границы Моря Познанного. Другая прерывистая полоса выходов пород древнейшего комплекса прослеживается вдоль «берегов» залива, идущего к северу от Моря Облаков. Наиболее многочисленны выходы этих пород расположены на западе, вблизи кратеров Фра Мауро, Герике и др. Почти везде породы древнейшего комплекса отложений не образуют крупных по площади выходов, а бывают приурочены к отдельным горстам, резко поднятым над окружающей местностью. Исключение составляет лишь массив Рифейских гор, где эти образования слагают относительно большую площадь. И здесь они разбиты на серию горстов и разделяющих их узких грабенной целой серией меридиональных разломов. Не исключено, однако, что Рифейские горы являются валом крупного догиппархского по возрасту кратера (Хабаков, 1949; Spragg, 1945).

Весьма вероятно, что к древнейшему догиппархскому кратерному комплексу следует также отнести сильно нарушенные останцы, напоминающие по форме выхода кратерный вал, развитые в 10 км к восток-северо-востоку от кратера Дарне.

На телескопических снимках выходы пород этого комплекса характеризуются наибольшей светлотой, резко расчлененным грядовым рельефом, образованным в результате существования разломов меридионального и север-северо-восточного направлений и не прослеживающихся часто в породах более молодых комплексов. Не исключено, однако, что эти образования представляют собой сильно подтопленные кордильеры Моря Познанного и залива Моря Облаков и сложены тектонически приподнятыми более молодыми по возрасту комплексами пород.



4. Деформированная, угловатая форма безымянного кратера гиппархского возраста (фото Рейнджер VII, камера А, № 140)

Породы небуляриевого комплекса распространены в пределах рассматриваемого листа в западной части Рифейских гор, в районе кратера Дарне. Небольшие участки выходов этих пород известны также в районе кратеров Лансберг, Герике и у восточной рамки листа. Наиболее крупное поле выходов этих пород известно к северу от кратера Фра Мауро.

Все эти выходы характеризуются также грядовым и грядово-холмистым рельефом, однако значительно менее расчлененным, чем выходы пород древнейшего комплекса. По светлоте выходы этих пород мало отличаются от пород древнейшего комплекса. Правда, благодаря меньшей расчлененности рельефа для выходов пород небуляриевого комплекса не характерны при косом освещении крутые и монолитные ярко освещенные стенки. Отличаются они и по меньшей расчлененности рельефа при больших углах освещения.

Следует упомянуть еще об одной характерной особенности строения пород небуляриевого комплекса, наиболее хорошо видной в районе, расположенном к северу от кратера Фра Мауро. Это обилие мелкой трещиноватости этих пород. Причем здесь помимо достаточно крупных разрывов меридионального простирания широко развиты значительно хуже дешифрируемые и более мелкие трещины северо-восточного и северо-западного простираний. Именно это и создает характерный грядово-холмистый рельеф выходов пород небуляриевого комплекса.

Соотношения их с породами древнейшего комплекса лучше всего видны в южной части Рифейских гор, где отчетливо дешифрируется распространение отдельных языков пород небуляриевого комплекса в межгрядовых пространствах более древних пород. Это по существу и служит обоснованием для их разделения.

Вышележащие образования представлены отложениями гиппархского кратерного комплекса. Они достаточно широко развиты в пределах рассматриваемого листа в виде сохранившихся остатков кратерных валов. По характеру расчлененности рельефа они мало отличаются от подстилающего их небуляриевого комплекса — они также разбиты сериями меридиональных разрывов. Местами эта деформированность выражается не только в нарушении ими кратерных валов на отдельные блоки, но и в их растаскивании и в искажениях округлой формы кратера, как, например,

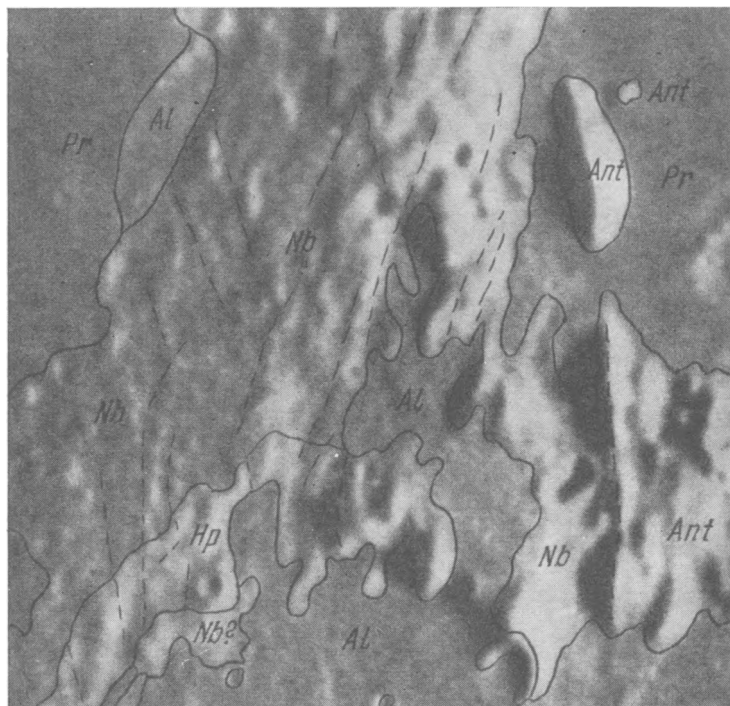
в безымянном кратере к западу от кратера Герике (рис. 4). Однако форма валов позволила их достаточно четко различить и выделить на карте. Вполне естественно, что из-за сильной нарушенности совместно с породами небуляриевого комплекса не всегда отчетливо дешифрируются границы кратерных валов, и в ряде случаев они проведены в достаточной мере условно лишь по линии перегиба рельефа. Кратеры гиппархского возраста развиты в северо-западной части листа (Эвклид Р и группа кратеров вблизи него). Кроме того, они довольно многочисленны и в восточной половине листа (Фра Мауро, Бонплан, Герике и ряд безымянных кратеров в этом же районе). Один кратер известен также в 11 км к юго-западу от кратера Дарне.

Днища всех кратеров, распространенных в пределах листа LAC-76, заполнены породами более молодых, процелляриевого и алтайского, комплексов. В северной части днища кратера Фра Мауро, вблизи внутренней стенки кратерного вала, развиты образования, по своему облику напоминающие породы небуляриевого комплекса. Весьма вероятно, что среди выделенных гиппархских кратеров существуют две возрастные генерации. Одни из них являются действительно более молодыми, чем породы небуляриевого комплекса, а другие — более древними, и их днища могут быть заполнены небуляриевыми образованиями. Однако окончательное решение этого вопроса требует анализа кратерных комплексов на значительно большей площади.

Породы алтайского комплекса распространены в пределах листа достаточно широко. Их выходы известны в Рифейских горах, в районе кратера Дарне и к востоку от него. Наиболее крупная область их распространения приурочена к району кратеров Фра Мауро, Бонплан, Парри и Герике. Небольшие поля распространения пород алтайского комплекса известны также у восточной рамки листа LAC-76.

Выходы пород алтайского комплекса внешне резко отличаются от облика областей распространения пород более древних комплексов. Для них характерен относительно слабо расчлененный рельеф, с небольшим количеством разрывов. В целом выходы пород алтайского комплекса слагают невысокое поднятые монолитные плато. На телескопических фотографиях выходы пород алтайского комплекса обладают очень специфичной «шагреновой» структурой. Среди области развития алтайских отложений, расположенной к западу от кратера Фра Мауро, видны многочисленные отдельные возвышенности (холмики), которые могут представлять собой выходы более древних образований. Однако не всегда есть полная уверенность, что они не перекрыты маломощным чехлом алтайских пород. Ввиду этого на карте выходы подстилающих пород показаны только в наиболее крупных останцах.

Соотношение алтайских пород с подстилающими образованиями хорошо видно в ряде мест. Так, например, в северной части кратера Фра Мауро отчетливо видно, что меридиональные разломы, секущие кратерный вал, не продолжают на дно кратера, заполненное породами алтайского комплекса. Аналогичное явление наблюдается и в безымянном кратере, расположенном к юго-востоку от кратера Эвклид Р. Своеобразные «ингрессивные» контакты пород алтайского комплекса с подстилающими образованиями видны на юге и западе Рифейских гор и в районе к северу от кратера Фра Мауро. Кроме того, породы алтайского возраста, видимо, слагают плоские днища небольших грабен в Рифейских горах и в ряде других мест (рис. 5).



5. Плоское днище одностороннего грабена, выполненное породами алтайского комплекса (район к северу от кратера Фра Мауро)

Комплексы пород:

Pr — процелляриевый;

Nb — небуляриевый;

Al — алтайский;

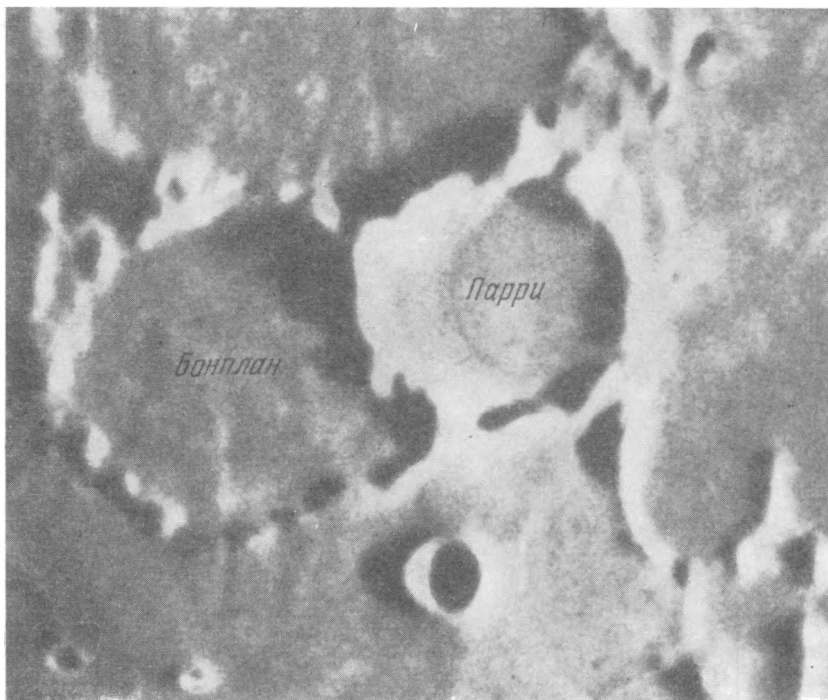
Ant — древнейший

Hr — гиппархский;

Таким образом, алтайский комплекс обладает достаточно четкими дешифровочными признаками.

Отложения птолемеевского комплекса распространены на территории листа очень ограниченно. Они слагают ряд небольших кратеров в северо-западном углу листа, в районе кратера Дарне и в северо-восточной части листа. Наиболее крупным кратером птолемеевского возраста является кратер Парри, расположенный на возвышенности, разделяющей Море Познанное и залив Моря Облаков. Птолемеевский кратерный комплекс достаточно отчетливо дешифрируется на телескопических снимках. Для него характерна хорошая сохранность кратерных валов, с резкими гребнями и значительно большей монолитностью, чем у кратерных валов гиппархского возраста.

Соотношения птолемеевских кратеров с породами алтайского комплекса не всегда одинаковы. В ряде случаев можно видеть, что птолемеевские кратерные образования перекрываются породами алтайского комплекса (район кратера Дарне, мелкие птолемеевские кратеры в районе Фра Мауро) либо алтайский комплекс выполняет их днища (кратер Парри). В то же время эти кратеры в большинстве случаев уверенно датируются как



6. Наложение кратерного вала кратера Парри (птолемеевский комплекс) на древние кратерные валы (гиппархский комплекс)

более молодые, чем гиппархские, по наложению одних кратерных валов на другие (рис. 6). Имеется и другая группа кратеров, днища которых заполнены породами процелляриевого комплекса, а кратерные валы выражены более четко. Они характеризуются узкой гребневидной формой (безымянные кратеры в северо-западном углу листа). Соотношения их с породами алтайского комплекса неясны. Весьма вероятно, что при изучении большой площади эти данные могут послужить основанием для разделения птолемеевских кратеров на две возрастные группы.

Процелляриевый комплекс распространен достаточно широко на площади рассматриваемого листа. Его породами сложены наиболее пониженные части рельефа, представляющие собой слаборасчлененные и полого-волнистые равнины. Наиболее крупные выходы пород процелляриевого комплекса приурочены к впадине Моря Познанного и к впадине, являющейся заливом Моря Облаков. Кроме того, породы процелляриевого комплекса заполняют днища многих кратеров, как гиппархского, так и птолемеевского возрастов.

Породы процелляриевого комплекса на телескопических снимках отчетливо дешифрируются как сравнительно темные образования. Отклонения от этого правила наблюдаются лишь там, где они перекрыты светлыми выбросами лучей. Однако в большинстве случаев это явление сравнительно легко распознается. Для этих пород характерны слабая нару-

шенность системами трещин и, как уже говорилось, слабая расчлененность рельефа (здесь, естественно, не имеется в виду мелкая изрытость поверхности кратерами-лунками).

Залегание пород процелляриевого комплекса на подстилающих образованиях отчетливо устанавливается по затоплению частей кратерных валов с «прорывом» процелляриевых образований в днища кратеров, по исчезновению систем разрывов, развитых в более древних образованиях в краевых частях лунных морей и заливов, и по ряду других признаков.

В настоящем сборнике в статье А. Л. Суханова и Л. М. Шкерина сделана попытка оценить мощность процелляриевых образований в пределах листа LAC-76. Она оказывается не особенно большой и даже в центральной части Моря Познанного вряд ли превышает 1500—2000 м.

Местами в пределах рассматриваемого листа в состав процелляриевого комплекса включены и более светлые образования, как, например, в районах к югу и юго-западу от кратера Герике. Весьма вероятно, что здесь распространены отложения более древнего медийского комплекса. Поскольку все же четких данных для его выделения здесь не имеется, на карте эти участки показаны как выходы пород процелляриевого комплекса. Отложения медийского комплекса выделены лишь в одном участке у восточной рамки листа, куда они продолжают со смежного планшета LAC-77, где известно их широкое развитие.

Эратосфенский и коперниковский кратерные комплексы в пределах листа распространены не особенно широко. Для них характерна прекрасная сохранность кратерных валов, их террас, центральных горок и других морфологических черт. Разделение их на кратеры коперниковского и эратосфенского комплексов проводится по наличию лучевых выбросов у первых (кратеры Дарне, Эвклид и др.) и по отсутствию их у вторых (кратеры Лансберг и др.). Следует сразу же отметить, что этот принцип очень хорошо применим к крупным кратерам и, видимо, не будет себя оправдывать при попытках возрастной классификации мелких, имеющих диаметры не свыше нескольких километров. Для их классификации при наличии крупномасштабных снимков (типа снимков Рейнджера VII), очевидно, можно будет использовать характер сохранности кратерных форм и, в частности, высоту кратерных валов.

Самые молодые образования представлены комплексом молодых морских пород, распространенных в виде отдельных, небольших по площади и изометричных по форме выходов, среди областей развития процелляриевых образований. Этот комплекс пород дешифрируется по темному, «чернильному» цвету на телескопических снимках при разных углах освещения и по исчезновению в их пределах лучевых выбросов коперниковских кратеров. Упомянутые темные пятна, к сожалению, не всегда имеют четкие границы. Каких-либо закономерностей в площадном распространении писамых молодых образований наметить не удается. Они выделены как в центральных участках Моря Познанного и залива Моря Облаков, так и в краевых зонах этих же структур.

Тектоника

В пределах рассматриваемого планшета с запада на восток отчетливо выделяются следующие крупные структуры. Вблизи западной рамки листа располагается простирающееся меридионально горстовое поднятие Рифейских гор. Эту структуру правильнее называть односторонним горстом,

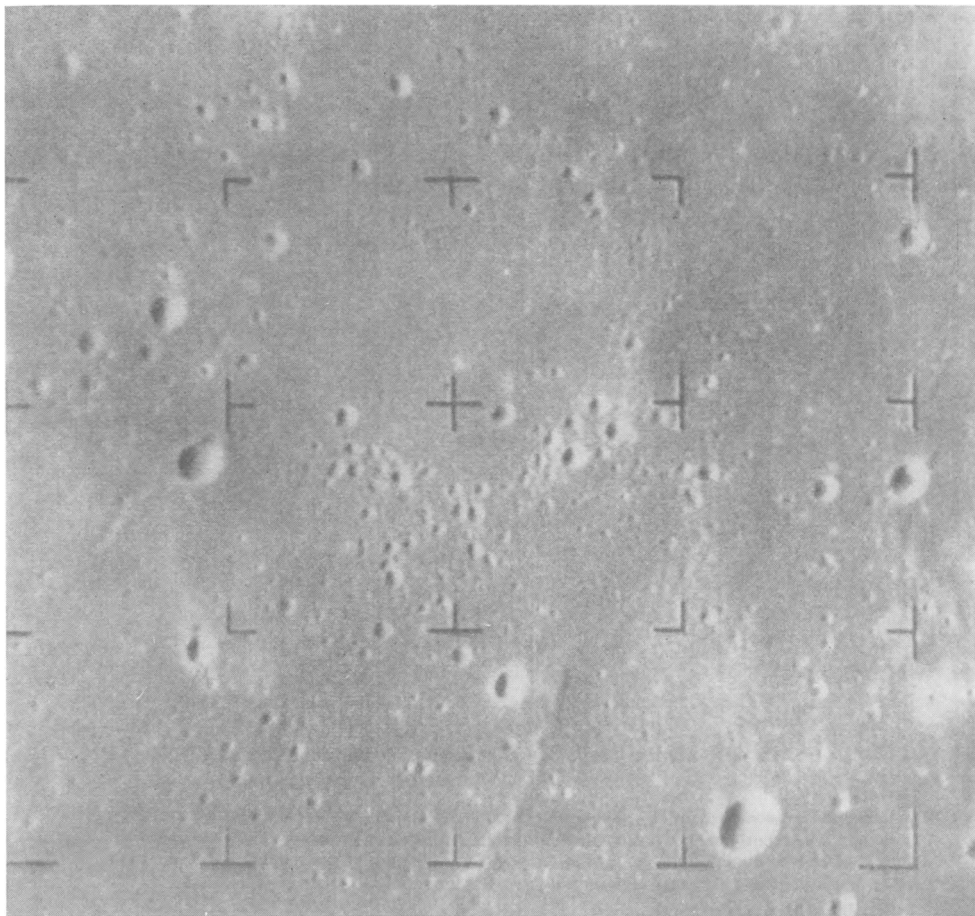
так как ее западный склон относительно пологий, и здесь мы видим последовательную смену от центра поднятия к крылу отложений древнейшего комплекса породами небуляриевого, а затем местами и алтайского комплексов. Восточный край поднятия крутой и, несомненно, связан с существованием крупного сброса, к плоскости которого, видимо, прислонены образования процелляриевого комплекса.

Внутреннее строение горстового поднятия Рифейских гор достаточно сложное. Благодаря существованию системы меридиональных разрывов оно разбито на серию дополнительных более мелких горстов, причем вдоль зон разломов отчетливо прослеживаются узкие ложбины. Кроме того, системой северо-западных разломов эти горсты второго порядка бывают расчленены на отдельные блоки, иногда смещенные друг относительно друга.

К востоку от горстового поднятия Рифейских гор расположена округлая депрессия Моря Познанного, выполненная наиболее молодыми образованиями процелляриевого комплекса. На западе она ограничена поднятием Рифейских гор, а на востоке поднятием, в пределах которого располагаются кратеры Фра Мауро, Парри, Герике и др. Менее отчетливы северные и южные ограничения депрессии Моря Познанного, так как здесь не имеется единых моноклиных выходов на поверхность допроцелляриевого фундамента. Однако по карте мощностей процелляриевого комплекса, составленной для этого листа А. Л. Сухановым и Л. М. Шкериным и помещенной в этом сборнике, эти области выявляются как зоны сокращенных мощностей процелляриевых образований и относительного поднятия допроцелляриевого фундамента. Таким образом, депрессия Моря Познанного в целом представляет собой округлую впадину. Западный борт ее, судя по карте мощностей процелляриевых отложений, крутой, восточный — более пологий.

Внутреннее строение депрессии сложное. В ее пределах широким развитием пользуются морские валы, своеобразные мелкие структурные формы лунных морей. Весьма вероятно, что здесь мы имеем несколько типов структур. Во всяком случае, в пределах Моря Познанного отчетливо устанавливаются морские валы, располагающиеся на продолжении горных гряд и являющиеся, таким образом, структурами облекания. В пределах таких валов часто устанавливаются отдельные выходы пород допроцелляриевого фундамента. Характерными закономерностями в их распределении являются приуроченность к «мелким, береговым» участкам морей и исчезновение в центральных, более «глубоких» частях. Примерами таких валов в Море Познанном являются валы, расположенные в северной и западной частях Моря Познанного к востоку от кратера Эвклид Р и к юго-западу от кратера Бонплан.

Другой тип валов характеризуется отчетливой связью с системами разрывов, прослеживающихся на окружающих морскую депрессию поднятиях. Наиболее четко такая связь наблюдается с системой разломов, идущей от кратера Эвклид, через среднюю часть Рифейских гор, и вновь обнаруживающейся на юго-восточном побережье Моря Познанного. Этой системе разломов, имеющих северо-западное простирание, видимо, свойственны небольшие горизонтальные перемещения. В пределах впадины Моря Познанного она почти целиком исчезает, будучи, видимо, перекрыта образованиями процелляриевого комплекса. Однако на ее продолжении отчетливо дешифрируются серия кулисообразно расположенных валов и отдельные зоны трещиноватости. Для валов этого типа характерна асим-

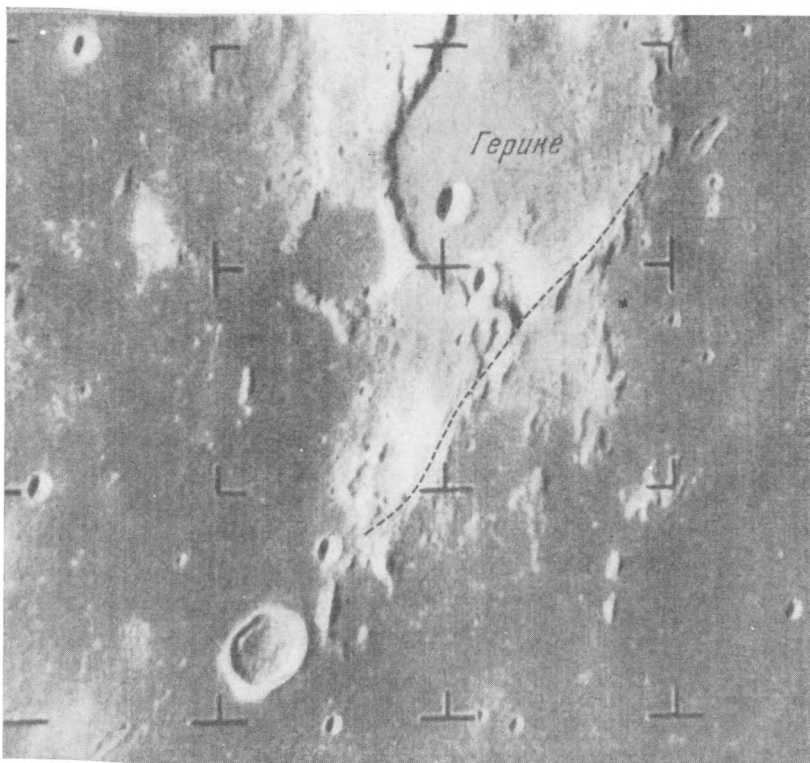


**7. Неравномерность распределения по площади кратеров-лунок в Море Познанном
(фото Рейнджер VII, камера В, № 193)**

метричность их поперечного профиля с одним пологим, а другим крутым склоном, что удастся наблюдать на крупномасштабных снимках Рейнджера VII. Генетически они, видимо, близки к валам первого типа.

Наконец, третий тип валов, не обнаруживающий закономерных связей с более древними структурами или рельефом смежных поднятий, характеризуется почти повсеместным распространением в пределах Моря Познанного. Наибольшее количество их приурочено к центральным частям депрессии, где они образуют очень своеобразные неправильно ветвящиеся системы.

Наконец, следует отметить, что в пределах листа LAC-76 наблюдаются интересные явления пересечения и наложения одних систем валов на другие, возможно свидетельствующие об их разновозрастности (см. рис. 15 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» в этом сборнике).



8. Продолжение северо-восточного разлома, секущего кратерный вал кратера Герике, в породах процелляриевых комплекса Моря Познанного и северного залива Моря Облаков в виде цепочки лунок (на северо-востоке) и своеобразных бороздовых форм рельефа (на юго-западе). (фото Рейнджер VII, камера В, № 115)

Наряду с валами в пределах Моря Познанного отчетливо дешифрируется куполовидная изометричная структура, имеющая диаметр около 2,3 км. На своде этой структуры расположены достаточно многочисленные кратеры-лунки.

Поверхность Моря Познанного сильно изрыта многочисленными мелкими кратерами-лунками различного диаметра. Никакой закономерности в их распределении по площади пока установить не удалось. Из анализа фотографий Рейнджера VII можно только утверждать, что наряду с участками обильного нахождения кратеров-лунок наблюдаются места, почти свободные от них (рис. 7).

С востока депрессия Моря Познанного ограничена поднятием, идущим в север-северо-западном направлении, в пределах которого распространены кратеры Фра Мауро, Бонплан и др. В отличие от поднятия Рифейских гор, оно скорее напоминает сводовое поднятие, осложненное небольшим горстом у восточного края. Западный склон этого поднятия пологий. Он начинается очень слабо приподнятой платообразной возвышенностью, сложенной породами алтайского комплекса. Среди этого плато возвышаются в виде отдельных кольцевых гор подтопленные кратерные валы

кратеров Фра Мауро, Бонплан, Парри, Герике и др. На север поднятие воздымается, и у северной рамки листа оно представляет собой достаточно расчлененную поверхность, сложенную породами небуляриевского комплекса.

Наиболее сложно устроен восточный борт этого поднятия, в пределах которого в отдельных небольших горстах выведены на поверхность, видимо, более древние отложения. Целая система таких структур отчетливо следует вдоль края поднятия от кратера Фра Мауро до его южного окончания. Внутренняя структура поднятия осложнена системами меридиональных и северо-восточных разрывов, особенно многочисленных в его северной части.

Граничащий с поднятием на востоке северный залив Моря Облаков представляет собой сравнительно узкую, вытянутую в север-северо-западном направлении зону опускания допроцелляриевского фундамента, постепенно поднимающуюся в северном направлении. Судя по линейной форме этой депрессии и сравнительно слабому возрастанию мощностей процелляриевых образований к центру (см. карту в статье А. Л. Суханова и Л. М. Шкерина), можно предполагать ее грабенообразный характер.

С севера и востока эта зона ограничена также областью относительного поднятия допроцелляриевского фундамента, большая часть которого находится за рамкой рассматриваемого листа.

Существенное значение в строении этой части поверхности имеют разнообразные разрывы. На карте сделана попытка разделить их на разные типы. Здесь выделены сбросы, отчетливо устанавливаемые по существованию крутых уступов в рельефе, сдвиги, распознающиеся по горизонтальным смещениям отдельных элементов рельефа, и раздвиги, представляющие собой открытые трещины, отчетливо распознающиеся даже на телескопических снимках. Кроме того, выделены разрывы неясной природы.

Анализ составленной карты позволяет также различать возраст некоторых систем разломов. В частности, достаточно отчетливо устанавливается система меридиональных разрывов типа сбросов или взбросов, широко развитая почти повсеместно в образованиях доалтайского возраста. Они известны в Рифейских горах и в районе кратера Лансберг, к северу от кратера Фра Мауро и в районе кратера Дарне.

Эти разломы отчетливо рассекают породы небуляриевского комплекса, но не продолжаются в породы алтайского комплекса. В ряде участков в этих же стратиграфических образованиях встречаются и другие системы разломов: к северу от кратера Фра Мауро—северо-западного простирания, в районе кратера Дарне — северо-восточного. Эти разрывы, видимо, в основном также характеризуются вертикальными смещениями.

К разломам, секущим образования алтайского возраста, относятся правосторонние сдвиги северо-западного простирания, идущие от кратера Эвклид на юго-восток к району кратера Дарне. Величина горизонтального смещения вдоль них, наиболее отчетливо выявляемая в поднятии Рифейских гор, не превышает 1,5—2 км.

Вторая группа разрывов, рассекающих образования алтайского комплекса, представляет собой трещины растяжения, широко распространенные в поднятии с кратерами Фра Мауро, Бонплан и другими, а также в северной части Рифейских гор. На телескопических снимках они отчетливо видны как длинные, часто извилистые системы парных трещин с зоной опускания между ними. Некоторые из них продолжают и в процелляриевые образования (к северо-востоку от Рифейских гор).

В областях развития пород процелляриевого комплекса разломы развиты крайне ограниченно. Лишь некоторые из разломов, развитых в пределах поднятий, продолжают в депрессии лунных морей, будучи, видимо, обновлены в самое недавнее время. К их числу относятся упомянутая зона северо-западных сдвигов, частично прослеживаемая в южной части Моря Познанного, и ряд других.

Иногда разломы продолжают в породах процелляриевого комплекса в виде валов, зон кратеров-лунок и своеобразных небольших грабен, как это имеет место на продолжении северо-западного разлома, рассекающего кратерный вал кратера Герике (рис. 8).



Составление геолого-морфологической карты листа LAC-76 позволило не только расшифровать основные особенности геологического строения этого региона, но и наметить целый ряд вопросов, нуждающихся в дальнейшем уточнении. К их числу относятся: 1) возможность более дробного возрастного разделения гиппархских и птолемеевских кратеров (вполне естественно, что этот вопрос следует решать при анализе геологического строения больших территорий); 2) возможность выделения медийского морского комплекса и уточнения его отличий от алтайского и процелляриевого комплексов; 3) возможность дальнейшей классификации структур лунных морей и, в частности, морских валов.

Литература

- Хабаров А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шумэкер Ю. М., Хэман Р. Дж.**
1963. Стратиграфическая основа для шкалы времени в истории развития Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Hartmann W. K., Kuiper G. P.**
1962. Concentric structures surrounding lunar basins.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 1, N 12—13.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
- O'Keefe J. A.**
1964. Interpretation of Ranger photographs.— Science, 146, N 3649.
- Ranger VII. Technical Rept N 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1965.
- Spurr J. E.**
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.

Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района цирков Теофил и Птолемей (листы LAC-77,78)

А. Л. Суханов

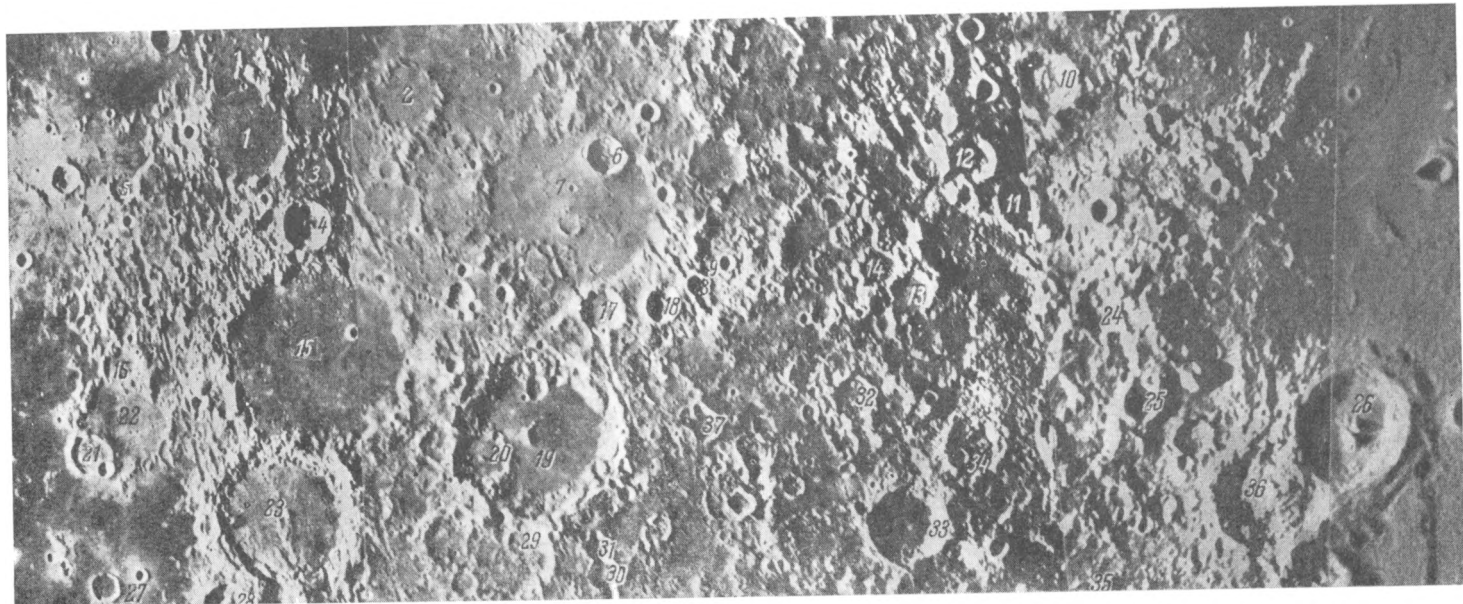
Описываемая область расположена в центре лунного диска; границами ее служат: с севера — экватор, с юга — 16° ю. ш., с востока — 30° в. д., с запада — 10° з. д. Эта область охватывается двумя листами топографической карты масштаба $1 : 1\,000\,000$ —LAC-77,78. Западную часть территории занимает Море Облаков, восточную — Море Нектара, между которыми располагается материковая область (рис. 1; рис. 2—4, см. Приложение).

Местоположение этого района сделало его удобным объектом для изучения, поэтому его картировали и описывали многие селенологи. Не считая монографических трудов, таких, как книги М. Леви и П. Пюизе, А. В. Хабакова (1949), Дж. Е. Спёрра (Spurr, 1945), Дж. Филдера (Fielder, 1961), в печати появлялись отдельные статьи, посвященные циркам Альфонс и Птолемей и Алтайским горам: В. А. Фирсов (Firsoff, 1963), Л. Б. Ронга (Ronga, 1966), Г. С. Штейнберг (1967), К. Бенеш (1966), М. М. Шемякин (1965), Н. А. Козырев (1963). Северо-восток и юго-запад были засняты космическими станциями серии Рейнджер (Ranger VIII, IX, 1966). В результате район был изучен лучше, чем любая другая область на Луне. Но во всех этих работах относительно слабо затрагивались или совсем не разбирались вопросы распространения и взаимоотношений различных комплексов пород; основное внимание уделялось морфологии и ориентировке различных структурных линий. Кроме того, детальность составляющих карт была меньшей, чем позволяют современные фото- и топоматериалы, многие структурные линии и контуры обобщались и упрощались.

Настоящая карта и объяснительная записка составлены с целью дополнить и уточнить прежние работы.

Древнейшие образования (Ant) предположительно выделяются на востоке района от Тацита до Цёлнера, где они полосой ограничивают Море Нектара. Эта зона является северным продолжением Алтайского хребта, который здесь постепенно вышолаживается и нивелируется. Местность эта несколько приподнята и довольно сложно расчленена. При этом, хотя рельеф здесь сложнее, чем в соседних областях развития пород небуляриевского комплекса, разрывов здесь дешифрируется меньше. По-видимому, первоначально существовавшие разрывы (гребни, борозды) долгое время разрушались, так что ясных признаков их не осталось. С запада выходы древнейшего комплекса ограничены прерывистым, слабо выраженным уступом; на востоке более четкая ступень служит границей Алтайского моря. Выходы древнейших образований в других местах принадлежат, очевидно, к кратерному комплексу. Гигантское полукольцо (диаметром около 150 км) восточнее Делабра, скорее всего, является остатком крупного цирка. Другие древнейшие кратеры опознаются с трудом. Их валы почти нацело уничтожены, внутрикратерные пространства выполнены более поздним материалом, а сама форма кратеров искажена настолько, что приобретает вид петли с фестонами. Очень вероятно, что на описываемой территории присутствуют реликты неопознанных древних кратеров, и поэтому какая-то часть небуляриевского комплекса может оказаться сложеной не морскими, а кратерными породами. Так, на некоторых мелкомасштабных снимках намечается кольцевидная структура диаметром около 150 км между кратерами Тейлор, Долланд С, Кант D и Декарт с центром на 8° ю. ш. и $15^{\circ}30'$ в. д.

Небуляриевые образования (Nb) слагают в данном районе около половины материковых межкратерных пространств. Они иногда перекрывают валы древнейших кратеров. Это хорошо видно на примере кратера Андель М. Породы небуляриевского комплекса слагают протяженные мелкохолмистые и мелкогрядовые равнины, иссеченные частыми разрывами. При средних увеличениях эта поверхность местами выглядит «шагреновой», например севернее кратера Декарт (рис. 5). Эта характерная скульптура образована двумя, а иногда и большим количеством систем разрывов. Каждый разрыв выражен ложбиной, цепочкой западин или уступов. Если разрывы сближены, то образуется грядовый рельеф. Если же пересекаются две или три системы таких сближенных разрывов, то они образуют мелкоблоковую холмистую поверхность. Часть разрывов, видимая в районе развития пород небуляриевского комплекса, не прослеживается в пределах валов гипсархских кратеров, однако в целом степень дислокаций в них одинакова, в отличие от спокойного залегания алтайских образований. В районе Птолемея — Альфонса породы небуляриевского комплекса пересечены разрывами с большими вертикальными смещениями. При этом края разрыва, выраженного долиной, могут быть приподняты относительно окружающей местности; изгибы поверхности встречаются и у разрыва, выраженного односторонним уступом. Эти изгибы и поднятия могут быть результатом тектонических подвижек, но могут быть и наплавленными или насыпными бортами мелких неправильных кратеров, сидящих вдоль разрыва. В таком случае часть гребней может быть выделена в более молодые образования. Некоторые гребни могут быть остатками древнейших кратерных валов, выступающих из-под



1. Общий вид района цирков Птолемей и Теофил

Монтаж фотоснимков из атласа Дж. П. Кэйпера (Kuiper, 1960)

Кратеры, упоминаемые в тексте (в алфавитном порядке):

Абу-ль-Фида — 33,	Гершель — 4,	Декарт — 34,	Клейн — 20,	Реомюр — 2,	Фламмарин — 1,
Аль-Баттани — 19,	Гиппарх — 7,	Деламбр — 10,	Лаланд R — 5,	Ритчи — 37,	Фогель — 30,
Аль-Битруджи — 23,	Гиппарх С — 8,	Доллонд — 13,	Лассел — 27,	Тацит — 35,	Фогель А — 31,
Альфонс — 23,	Гиппарх L — 9,	Доллонд С — 14,	Пализа — 16,	Тейлор — 11,	Хайнд — 18,
Андель — 32,	Деви — 21,	Кант — 25,	Парро — 29,	Тейлор А — 12,	Хоррокс — 6,
Галлей — 17,	Деви Y — 22,	Кирилл — 36,	Птолемей — 15,	Теофил — 26,	Цёльнер — 24,
					Шпёрер — 3

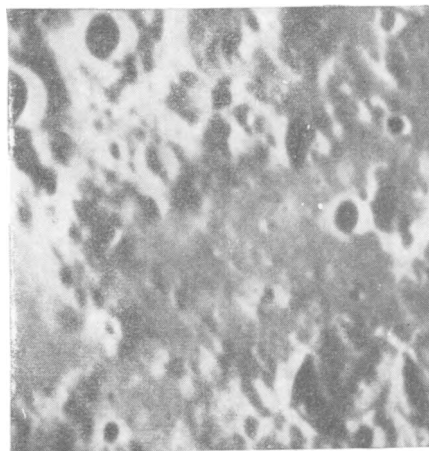
небуляриевого комплекса. По фотографиям Рейнджера VIII и Рейнджера IX видно, что часть неясных линейных структур небулярия разрезается на цепочки расплывшихся лунок. Эти и другие отдельные лунки должны давать плащи рассеянного обломочного материала, перекрывающего породы небуляриевого комплекса.

Таким образом, происхождение небуляриевого комплекса достаточно разнородно, но в некоторых случаях он, по-видимому, является покровом «морского типа», мощность которого может быть ориентировочно оценена до 500 м в межкратерных областях и достигать 1000 м внутри древнейших кратеров.

Гиппархские кратеры (Hr) получили название от кратера Гиппарх (лист LAC-77). Эти образования выделены А. В. Хабаковым (1949). Они имеют широкие сглаженные валы с нечеткими внешними границами. В отличие от древнейших кратеров, гиппархские почти всегда сохраняют кольцевую форму и достаточно уверенно распознаются даже при сильной нарушенности разрывами. Обычно они располагаются на небуляриевых образованиях, иногда перекрывающая небуляриевые разрывы. Но имеются случаи, когда их взаимоотношения устанавливаются с трудом. Так, вал кратера Декарт в его северной части раздроблен и, по-видимому, перекрыт породами небуляриевого комплекса. Возможно, небуляриевыми, а не алтайскими образованиями перекрыта группа залегающих друг на друге кратеров южнее Аль-Баттани. В этой группе видно несколько кратерных валов одинаковой сохранности, расположенных субконцентрически и частично сливающихся. Создается впечатление, что гиппархское кратерообразование шло здесь в несколько этапов со смещениями центров кратеров. Видимо, формирование гиппархских кратеров началось в небуляриевое время и продолжалось после его конца.



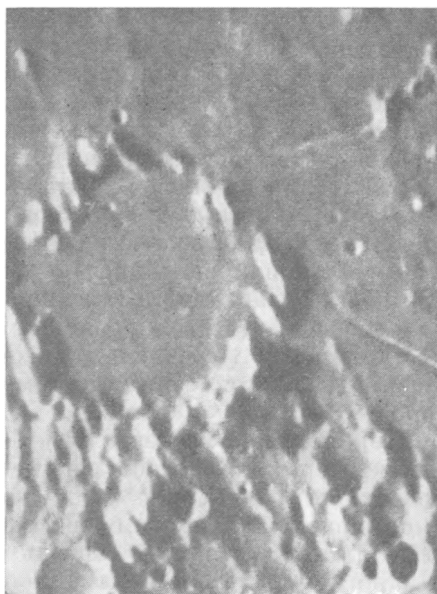
5. Древнейшие образования (справа), небуляриевые (в центре) и алтайские (вверху слева). Слева внизу — вал кратера Декарт, возможно, перекрытого небуляриевым комплексом



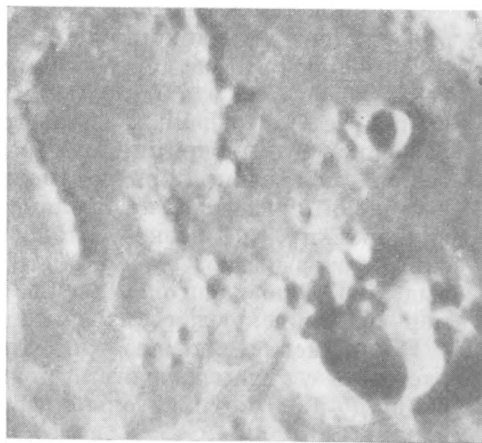
6. Понижение в небуляриевых образованиях, заполненное алтайскими породами. Внизу справа кратер Андель М, перекрытый небулярием

Вал самого Гиппарха имеет четкий внутренний уступ, но его внешняя граница расплывчата. В пределах вала и у внешней границы не видно следов засыпанных древних структур, как у некоторых других кратеров. В южной части вал совсем исчезает, и на его месте расположен очень плохо сохранившийся кратер средних размеров. Этот кратер по своему положению должен быть отнесен к гиппархским, но очень плохая сохранность дает основание считать его древнейшим. В таком случае исчезновение внутри этого древнейшего кратера вала Гиппарха объясняется тем, что вал — образование больше тектоническое, чем насыпное, т. е. это — кольцевое поднятие, лишь слабо перекрытое выбросами. Мощность гиппархских образований, видимо, не превышает 700—800 м.

Алтайский комплекс (А1) распространен на всей описываемой территории. Породы, выполняющие круговую впадину Алтайского моря (на смежном с юга листе), практически неотличимы от тех, которые имеются в районе цирков Птолемей и Теофил; северная часть этой впадины захватывается листом LAC-78 (район цирка Кирилл). В большинстве случаев поверхность этих образований гладкая, ровная. По внешнему виду они хорошо отличаются от всех нижележащих пород (рис. 6). Разрывов в алтайском комплексе почти нет — все разрывы, секущие небуляриевые породы, исчезают на границе с ним. Исключения составляют север-северо-западные разломы района цирков Птолемей — Фламарион: часть этих разрывов, по-видимому, развивалась и в послеалтайское время. Породы алтайского комплекса распространены в виде неправильных пятен, занимая преимущественно пологие понижения в доалтайском рельефе. Гиппархские кратеры выступают из-под алтайских образований в виде полумесяцев; иногда ровные алтайские образования занимают дно гиппархско-



7. Алтайские (возможно, медийские) образования, выполняющие кратер Реомюр



8. Рельеф алтайских образований на дне Гиппарха

го кратера, не соединяясь с внекратерными областями. Если алтайская поверхность бывает мелкохолмистой, то, скорее всего, эта холмистость обусловлена наложенными лунками и выступами подстилающих пород. Это хорошо видно на юго-запад от кратера Аль-Баттани. Фотографии Рейнджера IX показали, что мелкие холмы среди алтайских пород четко отделяются от последних и, очевидно, являются выступами фундамента. Сама же алтайская поверхность мало отличается от поверхности современных морей, и такой она сохраняется по всей описываемой территории (рис. 7, 8). Единственное различие заключается в том, что если в районе кратера Кирилл она образует сплошное поле с останцами гиппархских кратеров, то западнее алтайские образования слагают меньшую часть территории, образуя изолированные пятна. По-видимому, на востоке их мощность больше. В среднем мощность алтайских пород, видимо, составляет первые десятки и сотни метров между кратерами и до 1000 м внутри кратеров.

Птолемеевские кратеры (Pt) были выделены А. В. Хабаковым (1949) как кратеры, по возрасту соответствующие Птолемею и перекрывающие поверхность собственно Алтайского моря. Там, где не было видно взаимоотношений с другими возрастными образованиями, А. В. Хабаков выделял эти кратеры по степени сохранности. Но при детальном картировании выясняется, что взаимоотношения птолемеевских кратеров с породами алтайского комплекса не так просты.

Действительно, вокруг Моря Нектара есть кратеры доморского, но послеалтайского возраста. На закартированных листах таким кратером является Абу-ль-Фида: он глубоко врезан в алтайские образования и почти не затронут северо-западными разрывами. Но имеются кратеры, такие, как Кирилл, у которых внутренняя часть заполнена образованиями, по виду неотличимыми от алтайских, окружающих кратер. Уровень окружающих кратер образований тот же, что и у пород внутри кратера, т. е. эти кратеры образовались, во всяком случае, до конца формирования пород алтайского комплекса.

Сам цирк Птолемей по валу пересечен разрывами северо-западного направления, так же как цирки Альфонс и Аль-Баттани. Но расположенные здесь же участки алтайского комплекса почти не затронуты этими разрывами; очертания этих участков иногда как бы приспособлены к рисунку депрессий, созданных более древними разрывами, т. е. алтайские образования в основном моложе разломов на этой территории и, следовательно, моложе кратерных отложений Птолемея, Альфонса и т. д. Получается, что собственно птолемеевские кратеры хотя и явно моложе гиппархских, но древнее алтайских образований. Вероятно, послеалтайские кратеры типа Абу-ль-Фиды, Кирилла, Катарини, Тацита следует выделить в позднептолемеевские или в самостоятельную группу, например «катаринскую».

Но не исключено, что эти «катаринские» кратеры окажутся одновозрастными с архимедовскими. Мощность птолемеевских кратерных образований до 1500 м (если только все они — насыпные и эффузивные образования).

Архимедовские кратеры (Ar) выделяются условно (Лассел, Деви). Они перекрыты породами процелляриевого комплекса, но выглядят несколько более свежими, чем птолемеевские. Возможно, что это впечатление обманчиво. Мощность около 500 м.

Медийский комплекс (Md) является переходным между алтайским и процелляриевым; он с трудом отделяется от того и другого. Основные области его распространения — днища Птолемея, Альфонса и Аль-Баттани. В кратерах Фламмарин, Деви и в окрестностях Мёстинга он выделен условно. Поверхность медийских пород темнее, чем алтайских, но светлее, чем процелляриевых, причем светлая окраска распространяется размытыми пятнами, иногда напоминающими лучевые системы. Разрывы в медийском комплексе — это преимущественно трещины раскрытия; на дне Альфонса с этими трещинами связаны многочисленные лунки. Мощность комплекса определить трудно, по-видимому, она невелика — первые десятки метров.

И алтайский и медийский комплексы отделены от птолемеевских кратеров временным интервалом, в течение которого птолемеевские валы были рассечены системой разрывов, а на дне Птолемея и Гиппарха появились небольшие кратеры, впоследствии залитые. Но если катаринские кратеры врезаны в породы алтайского комплекса, то медийские породы, по-видимому, выполняют их днища. Некоторые рвы, образованные слившимися лунками, вероятно, также выполнены медийскими образованиями. Наконец, они могут быть показаны к востоку от Теофила, между современным Морем Нектара и древним Алтайским морем.

Процелляриевый комплекс (Pr) занимает северо-восток (Море Нектара и Море Спокойствия) и запад района (Море Облаков), также присутствует на севере (Центральный залив). Ровные темные образования процеллярия перекрывают все более древние породы, а сами перекрыты только эратосфенскими и коперниковыми выбросами. Их поверхность нарушается, если не считать останцов фундамента, только валами и куполовидными поднятиями. Некоторые валы переходят на медийские и даже на алтайские образования, что, по-видимому, говорит о длительности их образования. Встречаются также единичные, но четко выраженные трещины раскрытия.

На дне Альфонса вдоль его бортов видно несколько темных пятен вокруг молодых лунок. Они также отнесены к процелляриевому комплексу, как и породы, выполняющие впадину на западном валу Альфонса. Последнее образование напоминает лавовое озеро гавайского типа (Ranger VIII, IX, 1966). Сходные озера видны на фотографии кратера Коперник, сделанной Лунар Орбитер II, — здесь даже хорошо различаются потоки лав, спускающихся в кратер из озера, с боковыми валами и конусом накопления внизу. Вероятно, формирование кратера Альфонс продолжается до настоящего времени. Из-за малого количества останцов трудно судить о мощности процеллярия в данном районе. Во всяком случае, местами она, вероятно, достигает 1000 м. Возможно также присутствие самых молодых морских образований в районе Торричелли (Firsoff, 1963), но выделить их на снимках трудно.

Эратосфенские (Er) и **коперниковские (Kp)** кратеры распространены по всей территории и перекрывают все ранее рассмотренные образования. Коперниковские кратеры отличаются от эратосфенских наличием светлых лучей. У эратосфенских выбросы также присутствуют, но имеют нейтральный серый цвет. Вокруг кратера Теофил на расстоянии до 150 км от гребня вала распространена мелкобугристая поверхность со струйчато-радиальным рельефом. В промежутках между вытянутыми холмами видна ровная поверхность пород процелляриевого комплекса. Скорее всего, эти бугры представляют собой дисперсные выбросы из кратера Теофил.

Лучи вокруг Теофила едва видны, поэтому он отнесен к эратосфенским. По-видимому, его выбросы распространяются в равной мере как на морскую поверхность к северу, так и на материк к западу и югу; но на материке они сливаются с более древними бугристыми поверхностями и практически неразличимы.

Что касается второго признака разделения эратосфенских и коперниковских кратеров — степени их сохранности, то пока нельзя сказать точно, появляется ли расщепленность валов у более древних кратеров или у более крупных. Так, в цепи последовательного увеличения кратеров южнее Гишпарха видно, что с ростом кратера растет и расчлененность его вала. Все мелкие кратеры, независимо от возраста, хорошо сохраняют свои очертания. Поэтому отнесение некоторых кратеров к эратосфенским или коперниковским по фотографии может быть сделано только условно. Мощность валов этих кратеров до 2000 м (опять-таки если они насыпные).

Кратеры-лунки на карте показаны без разделения. Но сохранность этих лунок различна, а иногда можно наблюдать лунки хорошей сохранности, которые перекрываются процелляриевым материалом, т. е. относятся к птолемеевским. Вероятно, древних лунок гораздо больше, но, поскольку они не перекрыты и не разрушены, у нас нет пока оснований разделять их по возрасту. Очевидно, что кратеры-лунки все вместе должны давать разреженный тонкий слой выбросов, частично нивелирующий поверхность. При этом часть выбросов будет простыми обломками, щебнем и пылью, а другая часть — вулканическими бомбами, несортированными пеплами и шлаками.

Тектоника

Описываемый район представляет собой участок материка, расположенный между впадинами Моря Нектара и Моря Облаков. Он делится на две зоны — западную и восточную, граница между которыми проходит по восточным бортам цирков Гишпарх и Аль-Баттани.

Восточная зона построена проще, чем западная. Это область, покрытая в основном породами алтайского и небуляриевого комплексов и сравнительно небольшим количеством кратеров разной степени сохранности. На всем пространстве от Гишпарха до Канта наблюдаются слабо расчлененный рельеф и единая по высоте поверхность.

От Канта на северо-восток и юго-запад тянется небольшой уступ, являющийся северным продолжением Алтайских гор. Он ограничивает с северо-запада впадину Алтайского моря. По простиранию в некоторых местах он изгибается, вероятно следуя каким-то ранним разрывам. Вдоль уступа, ограниченная им с востока, проходит несколько приподнятая полоса образований, предположительно выделенных в древнейший комплекс.

Конечно, не исключено, что рельеф этих образований сформирован за счет поднятия и дробления кордильеры Алтайского моря, и на самом деле этот комплекс следует отнести к небуляриевым образованиям. Если эти породы все-таки относятся к древнейшему комплексу, значит после своего образования они никогда ничем не перекрывались и сохраняли высокое положение в то время, как окружающая местность была погреб-

бена под породами небулярия, затем под алтайскими образованиями. В этом случае кордильера Алтайского моря имела длительную историю развития. В настоящее время тыловой скат этой кордильеры выражен слабо и вся в целом она, по-видимому, опущена по сравнению с первоначальным положением. Во всяком случае, в профиле она похожа не столько на кордильеру или квесту, сколько на обычный сбросовый уступ, с опущенным восточным крылом. Берега современных морей, такие как Апеннины, по-видимому, приподняты в результате движений, либо идущих сейчас, либо закончившихся совсем недавно. Берега древнего моря вряд ли могут сохранить свое высокое положение, если прекратились создавшие их глубинные процессы. Они начнут опускаться, и если породы под берегом имеют тот же средний состав и плотность, что и под морем, то в конце концов образования, слагающие кордильеру, изостатически опустятся до прежнего уровня.

Возможно, второй, внутренний уступ Алтайского моря проходит по восточным краям валов Теофила и Кирилла. Вся эта группа кратеров — Катарина, Кирилл, Теофил — продолжает внутренний концентр Алтайского моря, подходящий сюда с юго-востока.

Постепенное повышение всей местности происходит также в северном направлении. Но неизвестно, в какой степени это повышение компенсируется изменением фигуры Луны и поверхности изограв, т. е. вполне может быть, что по отношению к фигуре Луны, отклоняющейся в изостатическом равновесии из-за приливного горба, поверхность района будет практически горизонтальна.

Участки распространения алтайских образований в восточной зоне, хотя и достаточно прихотливые, обнаруживают все же тенденцию к удлинению в северо-западном направлении. Очевидно, доалтайская поверхность была слабо изогнута, и образовавшиеся удлиненные понижения были заполнены маломощным чехлом пород алтайского комплекса. Ориентировка этих прогнутых ванн совпадает с общим направлением доалтайских разрывов и, очевидно, генетически связана с ними. Интересно, что в том же северо-западном направлении ориентированы оси сдвоенных кратеров: Доллонд В и Доллонд С, Тейлор и Тейлор А.

Западная зона представляет собой северное окончание огромной двойной цепи цирков, тянущейся от Штёфлера и Вальтера на юге до Гиппарха и Гершеля на севере (Spurr, 1945; Хабаков, 1949; Firsoff, 1961). Это сложно дислоцированная область, с тесно расположенными, налегающими друг на друга кратерами и цирками, с большими амплитудами смещений по частым разрывам. В целом эта зона опущена по отношению к восточной, но приподнята по сравнению с Морем Облаков. В пределах листа LAC-77 расположены четыре огромных цирка: Птолемей, Альфонс, Аль-Баттани и Гиппарх. На севере эта зона погружается под образования Центрального Залива.

Особенности строения того или иного участка определяются, во-первых, особенностями строения и взаимоотношений кратеров и цирков, во-вторых, разновозрастными системами разрывов, их направлением, амплитудой и т. д.

Кратеры и цирки района удобнее всего рассматривать по мере увеличения их диаметра.

Кратеры-лунки разбросаны по всему району и, как все лунки, не обнаруживают каких-либо особенностей внутреннего строения, которые позволили бы их подразделить. В редких случаях изолированные лунки име-

ют искаженные очертания, причем иногда то, что выглядит на одном снимке искаженной лункой, на другом оказывается сообществом сливающихся лунок. Для кратеров-лунок весьма характерно объединение их в цепочки. Наименее «организованные» цепочки представляют группы лунок, вытянутые вдоль какой-то общей линии, но не строго по ней, а с некоторым разбросом. Расстояние между лунками в среднем больше их диаметра. Примером может служить линия, тянущаяся от кратера Пализа Т на восток до кратера Птолемей Н.

Лунки, ориентированные более строго, обычно связаны разрывом или неясной линейной структурой, как, например, некоторые цепочки вокруг кратера Теофил или разрывы с сидящими на них лунками на валах Альфонса и на его дне.

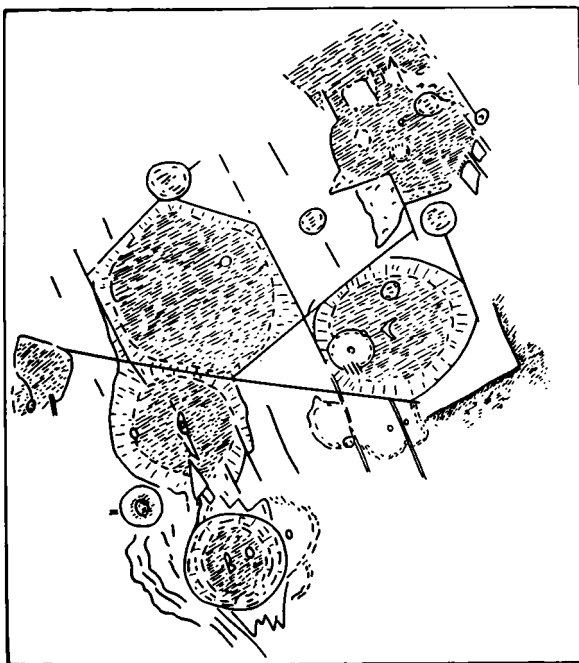
Третья разновидность сообщества лунок — это цепи, состоящие из лунок, сомкнутых краями по одной линии, с сохранением перегородок между лунками. Такие цепи видны в районе цирка Абу-ль-Фида, в цирке Деви У, возле северо-восточного вала Птолемея. В последнем случае лунки расположены так тесно, что как бы деформируют друг друга. Иногда видно, что одни лунки из общей цепи перекрывают соседние, но чаще такие перекрытия не различаются.

Наконец, лунки могут сливаться так тесно, что соседние общие стенки исчезают и образуются экскавационные борозды: изогнутый ров, начинающийся в 50 км юго-восточнее Делабра; борозды на юго-восточном валу Альфонса; ров между Альфонсом и Деви и многие другие. Как правило, такие борозды лежат на продолжении гребней и щелей, связанных с разрывами. Цепь на южном валу кратера Абу-ль-Фида хотя и не переходит непосредственно в разрыв, но тем не менее продолжается на юго-восток линейными структурами и лунками. Отдельные цепочки, не связанные с видимыми разрывами, вытянуты согласно общей системе дислокаций, свойственных данному району. Некоторые цепи лунок выполнены темным, по облику типично морским веществом (на побережье Моря Облаков). Объяснить эти особенности можно только, если считать, что цепи лунок — результат линейного вулканизма.

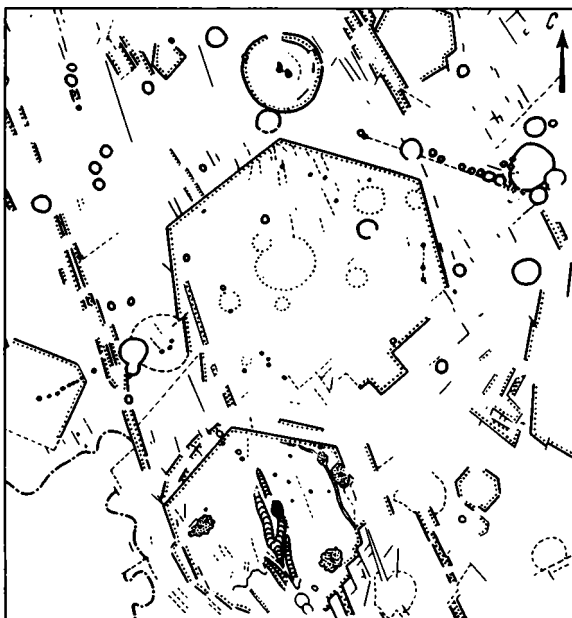
Кратеры средних размеров — от 8—10 до 30—40 км — располагаются в общем беспорядочно. Только в отдельных случаях они соединяются в пары или тройки. Так, Торричелли образован несколькими небольшими кратерами, слившимися в линию. Несколько менее тесно, но все же сливаясь бортами, расположены Фогель А, Фогель В, Фогель и еще один мелкий кратер. Длинная ось этой структуры совпадает с преобладающей здесь ориентировкой разрывов и, изгибаясь, продолжается к югу еще двумя кратерами. Вероятно, единым процессом создана цепь последовательно уменьшающихся кратеров Галлей, Хайнд, Гиппарх С и Гиппарх Л. Сложные взаимоотношения отмечаются у семейства кратеров Парро: некоторые смежные валы здесь опущены и кратеры объединяются в трудно расчленимую запутанную структуру.

Внутреннее строение у всех кратеров этого размера сравнительно простое: высокий вал, скорее всего насыпной; чашевидное дно, по мере увеличения диаметра сменяющееся уплощенным; иногда — центральные горки; склоны растеррасированы слабо; признаки полигональности можно объяснить последующими дислокациями или некоторой первичной неоднородностью (так же, как для Аризонского метеоритного кратера). Многие такие кратеры могут быть с равным успехом и метеоритными и вулканическими; но те, которые объединены в закономерные структуры,

9. Структурная схема Дж. Е. Спёрра (Spurr, 1945) для района цирков Птолемей — Альфонс



10. Структурная схема К. Бенеша (1966) для района цирка Птолемей



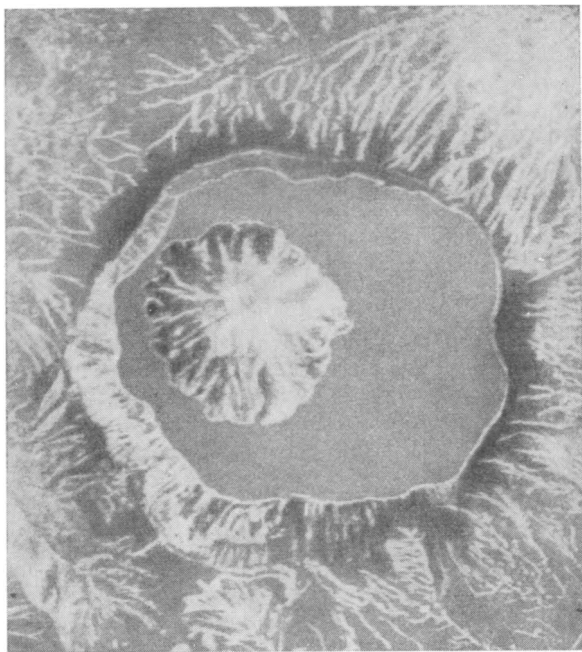
скорее всего должны быть отнесены к вулканическим. Центральные горки, имеющиеся у одних кратеров (Хоррокс, Кант) и отсутствующие у других — того же размера и вида (Хайнд, Галлей), также непонятны при объяснении кратеров как следов одноактных метеоритных ударов. Разумеется, можно смоделировать ударный кратер и с горкой и без нее путем подбора различных материалов, подложек, консистенции ударяющего тела и т. д. Но прочность верхних слоев Луны вряд ли может изменяться в таких широких пределах, как у моделей, то же относится и к строению метеоритных тел; поэтому ударные кратеры должны получаться морфологически однообразными. Интересен кратер Шпёер — его внутренняя часть заполнена светлым веществом, он как бы залит до краев (выше уровня окружающей местности); этот птолемеевский кратер относится к так называемому варгентинскому типу.

Самые крупные кратеры и цирки, имеющие размеры до 150 км (по гребню вала), построены гораздо сложнее. Наиболее подробно изучены Деламбр, заснятый Рейнджером VIII, и Альфонс, на дно которого упал Рейнджер IX. Кратеры типа Деламбра (Теофил, Гершель, Аль-Битруджи) имеют широкий по сравнению с диаметром вал, большее отношение глубины к диаметру и относительно «сухое» днище с неровностями и изгибами. Цирки типа Альфонса имеют сравнительно узкие, но сложно построенные валы и днище, перекрытое мощными покровами, с такими особенностями строения, как трещины растяжения и погребенные структуры.

Первое, что отличает крупные кратеры и цирки от средних, это концентрические уступы, террасы и разрывы, проходящие по внутренним, а иногда по внешним склонам вала. Концентрические структуры Деламбра как бы обтекают этот кратер с севера на юг; это похоже на структуру луковичы или того же древесного сучка, с которым сравнивает А. В. Хабаков подобные образования. (На картах показаны не все детали строения Деламбра и Альфонса, видимые на крупномасштабных снимках; иначе могло создаться впечатление, что Деламбр, например, более дислоцирован, чем Теофил, хотя для последнего просто нет лучших фотографий.) Дно Деламбра разбито на несколько ступеней изогнутыми разрывами. На дне Теофила, Кирилла и Гершеля видны большие понижения, тяготеющие к борту цирка. В первых трех видны центральные горки, а в Гершеле — целый центральный хребет; в кратере Абу-ль-Фида, принадлежащем к тому же типу, центральная горка едва намечается — возможно, она перекрыта позднейшими излияниями, но, может быть, ее и не было. Вал у всех этих кратеров непрерывный. У древних кратеров этого типа вал расчленен, но, по-видимому, это вызвано действием позднейших разрывов.

Надо также отметить, что валы всех этих кратеров — аккумулятивные, вероятно насыпные. Например, вал Деламбра перекрывает несколько древних кольцевых валов, выбросы кратера Аль-Битруджи в западной части перекрывают древний узкий кратерный вал, и он едва проступает из-под них, теряясь ближе к гребню Аль-Битруджи, в области развития более мощных выбросов. Вообще при пересмотре множества фотографий по всей поверхности Луны не нашлось такого случая, чтобы вал древнего кратера был бы заметно приподнят гребнем вала более молодого кратера. Насыпная природа вала Деламбра также подтверждается сглаженностью местности вокруг него: здесь исчезают северо-западные линейные структуры и увеличивается число лунок. Только на восточном склоне вала видно семейство лунок, похожих на группу паразитных кратеров.

11. Полигональная кальдера Тао-Русыр (Курильские острова). Диаметр 7,5 км. Гребни кальдеры невысоки, центральный вулкан смещен к западному борту (по Г. С. Горшкову, 1967)



Менее понятен механизм образования валов Альфонса, Аль-Баттани, Птолемея и Гиппарха. Признаков их насыпного происхождения немного: некоторые разрывы и линейные структуры исчезают в их пределах (Гиппарх), а группа кратеров Парро частично перекрыта валом Аль-Баттани. Ито, может быть, этот вал принадлежит не столько Аль-Баттани, сколько сидящему в его борту кратеру Клейн.

С другой стороны, явственно проступает связь этих валов с какими-то общими, региональными направлениями. Уже давно и многими отмечалось, что Птолемей по сути — правильный шестигранник (рис. 9, 10). При этом его западная сторона южнее продолжается без всякого отклонения в виде хребта Альфонса (который в свою очередь, изгибаясь, переходит в северо-восточный борт цирка Арзахель). Восточный край Птолемея связывается структурными линиями с западным краем Аль-Баттани. Юго-восточный борт связан мощным гребнем с северо-западным бортом цирка Аль-Баттани. Цепь лунок прямо продолжает северо-восточный борт в направлении к Аль-Баттани. Две последние линии смыкаются здесь под углом 60° .

Менее выражена шестигранная форма у Альфонса, но все же отчетливо видно, как огромный разрыв, тянущийся от кратера Лалаид R, параллельный хребту Альфонса, продолжается и его западным валом. По-видимому, формирование валов этих цирков проходило на уже заложившейся ранее гексагональной сетке разломов. Так, северо-восточное направление этой сетки проявляется уступом, идущим от кратера Вогель В через Ритчи. Этот уступ сглажен, рассечен позднейшими разрывами, но, несомненно, имеет тектоническое происхождение. Вряд ли эта сеть разломов была мертвой рамой; следы ее активности сохраняются даже после фор-

мирования цирков. Например, продолжением восточного борта Альфонса служит неясная валоподобная линия на дне Птолемея; эта линия разделяет в Птолемею области разной светлости. Видимо, даже после того, как образовавшиеся валы цирков были рассечены разрывами и дно цирка перекрыто лавами, разломы «рамы» продолжали в какой-то форме существовать. Сходная полигональность встречается у земных кальдер (рис. 11).

Концентрическое строение валов у этих цирков выражено слабее, чем у кратера Делабр. Как отмечает Г. С. Штейнберг (1967), участки концентрических разрывов кулисообразно подставляют друг друга. Эти разрывы рассечены и местами несколько смещены северо-западной системой, так что являются сравнительно ранними. Некоторые из них, не строго концентрические, имеют такой рисунок, который указывает на падение разрывов к центру или от центра цирка (Ranger VIII, IX, 1966). Упомянутые выше лавовые озера на валу Альфонса связаны с такими разрывами. Эти озера позволяют предполагать аллитивное (нашпавленное) происхождение вала Альфонса. Такая гипотеза предлагалась еще А. В. Хабаковым (1949).

Кроме лавовых озер в строении валов принимают участие образования, похожие на земные экструзии. Так, борт Птолемея, служащий продолжением вала Альфонса и направленный на север-северо-запад, состоит из нескольких блоков, вытянутых меридионально. Такое разделение на блоки нельзя объяснить последующими разрывами, так как они все ориентированы на северо-запад. Создается впечатление, что правосдвиговая компонента этих разрывов вызвала оперяющую меридиональную трещиноватость и последующую эффузивно-экструзивную деятельность. Экструзивное происхождение этой части вала Птолемея подтверждается ее связью с центральным хребтом Альфонса, для которого насыпное происхождение вряд ли приемлемо.

Валы описываемых цирков даже не всегда можно назвать валами. В некоторых местах поднятие вала очень невелико, а его внешняя граница совершенно теряется, сливаясь с прилегающей местностью. Хорошо выражен только внутренний уступ. Иногда вал почти целиком исчезает, как это видно на востоке Птолемея, т. е. насыпного плаща здесь почти нет, и только проседание дна обозначает границу вала.

Таким образом можно считать, что в строении валов крупных цирков насыпные массы играют слабую роль; основную долю вала составляют экструзивные и эффузивные образования, использующие для проникновения к поверхности региональные зоны трещиноватости. Какую-то долю поднятия вала можно отнести за счет тектонических подвижек. Именно такого типа образования характерны для крупнейших земных кальдер и кольцевых структур (Авдеев, 1965; Elston, 1965).

На дне Гиппарха и Птолемея видны останцы погребенных кратеров и отдельные холмы (см. рис. 8). Возможно, к останцам относятся центральная горка Аль-Баттани и полупогруженный маленький кратер у западного края Альфонса. Затопленные структуры трех последних могли возникнуть после начала проседания днища, а при последующих излияниях оказались перекрытыми. Структуры внутри цирка Гиппарх выглядят искаженными (см. рис. 8). Поэтому более вероятно, что это выступы рельефа той местности, которая существовала ранее на месте Гиппарха и затем была вовлечена в опускание, но целиком не перекрыта. Такие «отстающие» от опускания участки есть и в других цирках, за пределами района (Spurr, 1945).



12



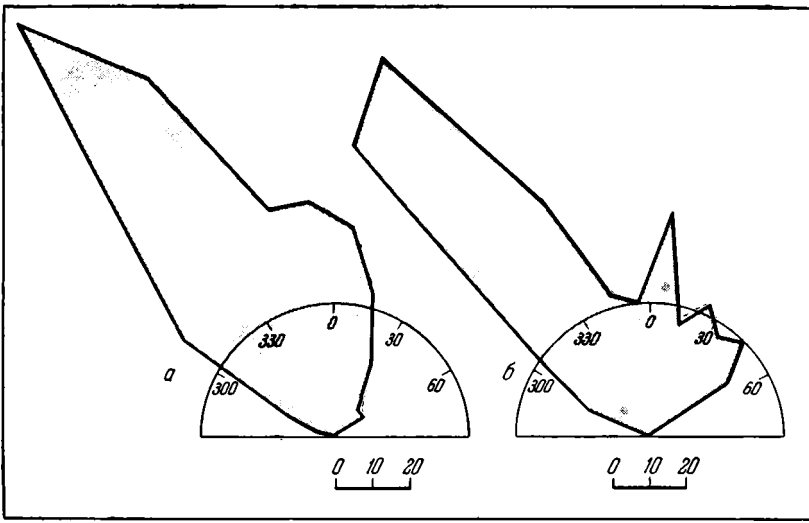
13

12. Кратер Гюльден, пересеченный вулканическим рвом (внизу). Севернее — кратер Реомюр
13. Древний северо-восточный разрыв, образующий границу алтайских и небуляриевых пород (внизу), и молодой северо-западный разрыв, частично распадающийся на серию лунок (вверху)

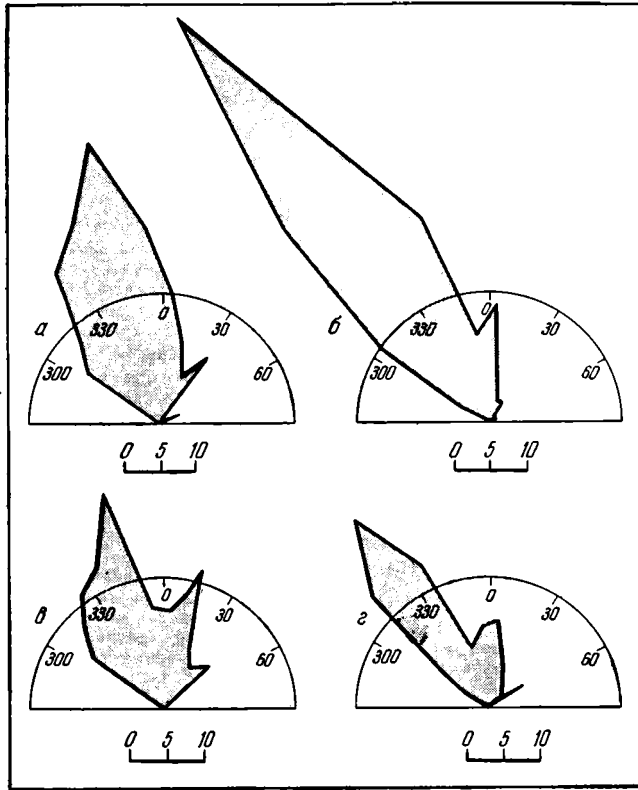
Днища цирков Птолемей и Аль-Баттани несколько прогнуты, нарушений здесь мало. Более сложно построенные днища Гиппарха и Альфонса под стереоскопом выглядят слегка выпуклыми. При этом в Гиппархе видно несколько трещин раскрытия (растяжения), а на дне Альфонса таких трещин довольно много. Часть из них ориентирована под одинаковым острым углом к центральному хребту, а часть образует концентрические структуры. Смыкаясь, они делят дно Альфонса на несколько полигональных блоков. Любопытно поведение трещины, идущей вдоль восточного борта цирка: на севере она смыкается с северо-западной трещиной, которая вблизи центрального хребта переходит на вал Альфонса в виде обычного разрыва, пересекает вал, отгибаясь к северу, входит в пределы Птолемея, идет по его дну вдоль западного борта в виде цепи частых лунок и, наконец, еще раз отогнувшись на северо-запад, кончается на валу Птолемея. Как уже сказано, трещины усажены лунками, вокруг некоторых видны темные ореолы, выравнивающие дно.

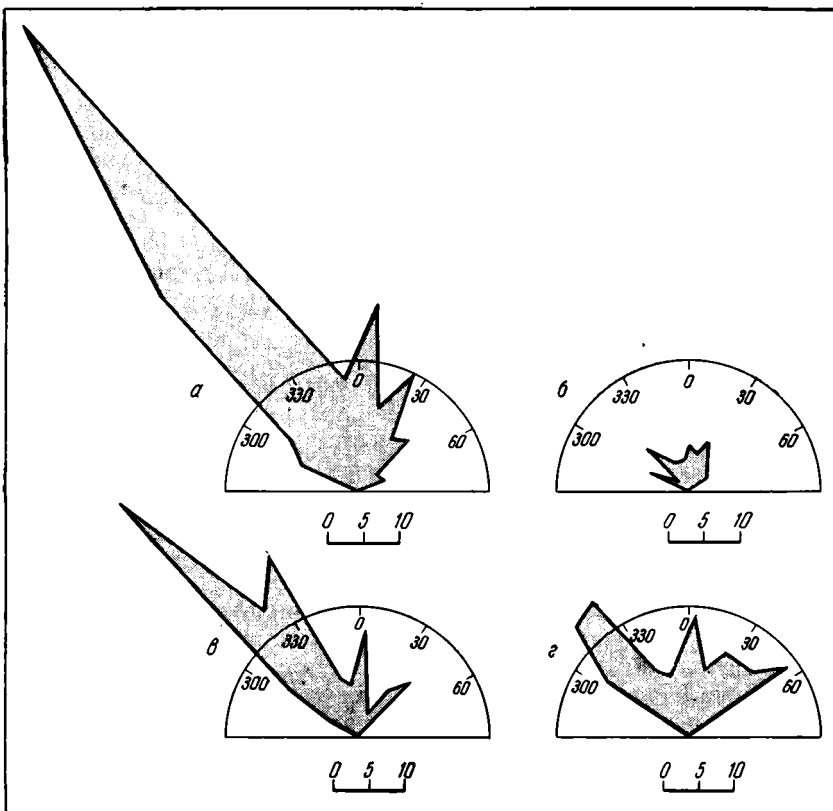
Разрывные нарушения описываемого района выражены системами вытянутых гребней, уступов, рвов. Один и тот же разрыв может быть представлен цепью гребней и, на продолжении, слабо намеченной трещиной. Разрывная тектоника проявляется также в спрямлении валов древних

14



15





16

14. Розы-диаграммы разрывов на листах LAC-77 (а) и LAC-78 (б)

В одном делении масштаба — 10 элементов

15. Розы-диаграммы разрывов для каждой четверти листа LAC-77

а — северо-западная четверть;

б — северо-восточная;

в — юго-западная;

г — юго-восточная

В одном делении масштаба 5 элементов

16. Розы-диаграммы разрывов для каждой четверти листа LAC-78

а — северо-западная четверть;

б — северо-восточная;

в — юго-западная;

г — юго-восточная

В одном делении масштаба 5 элементов

кратеров, в расчленении валов на ряд кулисообразных выступов. Спрявление валов происходит разными путями. Первый способ — опускание частей вала по прямолинейным сбросам (Андель). Второй — образование на месте части вала прямолинейного вулканического рва (рис. 12). Третий — грабенообразное проседание отрезка вала; при этом кольцо вала раскрывается, а гребни вдоль сбросов становятся продолжениями вала. Это те образования, которые Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945) называл «хвостами». Наконец, продолговатые кратеры могут образоваться за счет слияния двух-трех обычных кратеров и небольшой переработки их разрывами. (Существует, конечно, возможность пластического сжатия и сдвигового перекоса всего кратера, но достоверных случаев этого на описываемых листах нет.)

Разрывы делятся на сбросы с амплитудой до 1,5 км, сдвиги с амплитудой в первые километры и, предположительно, взбросы, которые проявляются в некотором «вздутии», короблении верхнего края разрывного уступа. Сдвиги относятся к правосторонним; они смещают валы Птолемея, Альфонса (Ronga, 1966) и берег Алтайского моря возле кратера Кант.

Самые древние разрывы района — северо-восточные и субмеридиональные. Они сглажены, застроены кратерами, смещены молодыми разрывами (рис. 13). Хорошо различаются они только на мелкомасштабных фотографиях. Так, на северо-запад от Птолемея видны 3—4 таких разрыва, тянущихся от Фламариона к кратеру Пализа. На крупномасштабных фотографиях они совершенно исчезают и могут быть выявлены лишь по линейному расположению различных структур: мелких депрессий, перерывов субмеридиональных уступов, изгибов гребней. Возможно, северо-восточные разрывы представляют собой не одну систему, так как они как будто тяготеют к двум направлениям — 20° и 60° . Более четко они проявлены на востоке, что можно связать с близостью Алтайского моря, к которому они тогда были бы субконцентричны.

Меридиональные разрывы (с некоторым отклонением к востоку) развиты равномерно по всей территории. Они короткие, слабо выраженные и различаются плохо.

Северо-западные доалтайские разрывы — один из основных факторов, определяющих структуру района. К ним относятся все разрывы, для которых можно предполагать сдвиговую амплитуду.

Неоднократно высказывалось мнение, что эти разрывы расположены радиально к бассейну Моря Дождей, для них даже существует специальный термин — «имбрийские разрывы» (Hartmann, 1963; Spurr, 1945; Fieder, 1963, и др.). Другие авторы относят все эти разрывы или часть их к общей системе планетарных трещин (Kuiper, 1960; Strom, 1964). А. В. Хабаков (1960) считает, что эти разрывы не образуют строго ориентированной системы, но изгибаются и ветвятся по простиранию. Изучение положения северо-западных разрывов на глобусе показало, что для данного и смежных районов преобладают направления, радиальные к центральной впадине Моря Дождей. Для каждой четверти обоих листов были построены розы-диаграммы разрывов (рис. 14—16). За исключением двух восточных четвертей, где на тектонику влияет Море Нектара, эти диаграммы показывают изменение направления разрывов при движении к западу. На востоке преобладают азимуты $310\text{—}330^\circ$, в центре — $320\text{—}330^\circ$, на западе — $340\text{—}350^\circ$, в районе Гиппарха — Аль-Баттани как будто происходит наложение двух систем разрывов: северо-

западной и север-северо-западной, но возможно, что это одна система, с плавным изгибом меняющая направление. Наиболее интенсивно эти разрывы проявлены на западе. В некоторых участках они прослеживаются в виде цепей лунок. Особенно часто лунки появляются на разрывах при их вхождении в кратерные валы. Местами грабенообразные депрессии вдоль северо-западных разрывов заполнены алтайскими или медийскими образованиями. Это указывает, что формирование Моря Дождей началось еще в доалтайское время.

Остается неясным вопрос о происхождении сдвигов. Сдвиговые смещения и небольшие перекосы намечаются по всей площади, но заметные амплитуды появляются только на северо-востоке; максимума они достигают уже за пределами планшета, в зоне от Гема до Гогления. Причем почти все сдвиги — правосторонние. Видимо, они появились под действием скручивающего момента, приложенного к большой площади, и тогда понятны максимальные смещения вдоль пояса морей, по дуге большого круга; эти напряжения могли наложиться на уже готовую имбрийскую сеть разрывов и поэтому не создать новой сети.

Самые молодые, послепроцелляриевые нарушения представлены несколькими трещинами открытия в морях и на прилегающих участках материков, а также морскими валами. Длинные прямые трещины шириной 1—2 км протягиваются в общем параллельно краю материка. Иногда в них видны мелкие лунки (Реомюр). У трещин есть одна загадочная особенность: некоторые из них не пересекают останцы доморского рельефа, а, наоборот, как бы перекрываются ими, хотя трещины явно моложе. Может быть, эти останцы сложены слишком рыхлыми породами, чтобы сохранить след трещины, может, наоборот, — слишком жесткими; оба этих объяснения выглядят натянутыми, но пока трудно предложить иные варианты.

Валы делятся на два типа. Одни связаны с выступами доморского фундамента, причем эти выступы выглядят сглаженными, размытыми; можно предположить, что они присыпаны вулканическими продуктами. Некоторые из них переходят на медийские и алтайские образования. Другие валы независимы от выступов фундамента, они извилисты, с ответвлениями и, вероятно, появились в результате вулкано-тектонических процессов в послеморское время.

Рассмотренный выше материал показывает, что большинство выявленных на закартированной территории закономерностей строения трудно объяснимо с позиций только экзогенного изменения поверхности Луны. Скорее всего настоящий облик района возник в результате долгой и сложной эволюции, под воздействием различных эндо- и экзогенных факторов.

Литература

- Авдеев А. В.**
1965. О кольцевых структурах магматических комплексов.— Сов. геол., № 10.
- Бенеш К.**
1966. Тектоническая ситуация лунных структур Птолемей и Альфонс и их окрестностей.— Изв. АН СССР, серия геол., № 6.
- Козырев Н. А.**
1963. Спектральные доказательства существования вулканических процессов на Луне.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Хабаков А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шемякин М. М.**
1965. Геометрические закономерности в цепочках некоторых лунных кратеров.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., изд. Геогр. об-ва СССР.
- Штейнберг Г. С.**
1967. О строении кратера Альфонс.— Докл. АН СССР, 175, № 2.
- Elston W. E.**
1965. Rhyolite ash-flow plateaus, ring-dike complexes, calderas, lopoliths and Moon craters.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 123, art. 2.
- Fielder G.**
1961. Structure of the Moon's surface. London, Pergamon Press.
1963. Lunar tectonics.— Quart. J. Geol. Soc. London, 119, N 1.
1964. Strike-slip faulting in the Vaporum region of the Moon.— Quart. J. Geol. Soc. London, 120, N 2.
- Firsoff V. A.**
1961. Moon atlas. London.
1963. Selenological studies. 2. The Theophil-Altay region.— J. Brit. Astron. Assoc., 73, N 7.
- Hartmann W. K.**
1963. Radial structures surrounding lunar basins. The Imbrium system.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 2.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
- Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.**
- Ranger VIII and IX, Technical Rept N 32-800. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1966.**
- Ronga L. B.**
1966. Structure of the crater Alfonsus.— Nature, 209, N 5019.
- Spurr J. E.**
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania Sci. Press.
- Strom R. G.**
1964. Analysis of lunar lineaments. 1. Tectonic map of the Moon.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 2.
- Strom R. G., Palm A.**
1963. Possible origin of the lunar walled plain Ptolomaeus.— Nature, 199, N 4898.

Объяснительная записка
к геолого-морфологическим картам
района кратера Архимед,
гор Апеннины и Гем
(листы LAC-41, 59, 60)

В. Г. Трифонов

Рассматриваемый район (рис. 1—4, см. Приложение) находится в центральной части обращенного к Земле полушария Луны, к северу от экватора и занимает три листа топографических карт серии LAC масштаба 1 : 1 000 000 (41, 59, 60). Лист 59 ограничен экватором, 16° с. ш., 10° в. д. и 10° в. д. Лист 41 расположен непосредственно к северу от него и заключен между 16 и 32° с. ш. Лист 60 примыкает к листу 59 с востока и ограничен 10 и 30° в. д.

Восточная половина листа LAC-60 занята Морем Спокойствия. На западе район захватывает Залив Зноя, краевые части Моря Дождей и Моря Облаков, а на северо-востоке — Моря Ясности. Между ними находится сложная построенная материковая область, заключающая в себе Центральный Залив, Море Паров и Гнилое Болото.

Первые сведения о геологии района содержатся в описаниях лунного рельефа по телескопическим наблюдениям. Описания нередко сопровождалось рисованными картами и схемами, позднее фотографиями. Наиболее интересными работами этого этапа представляются исследования М. Леви и П. Пюизе (Loewy, Puiseux, 1896—1906; Puiseux, 1908), дополняющие опубликованные ими фотографические атласы видимого полушария Луны.

Всестороннее исследование геологии района произвел Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1944, 1945). Он подробно описал строение поверхности Моря Дождей и его побережий, наметил последовательность событий, приведших к образованию этой сложной структуры, и дал первую схему хронологии выделенных им формаций пород. По мнению Дж. Е. Спёрра, моря и цирки возникли в результате вздутия коры над магматическими очагами с последующим обрушением в центре. Этот длительный процесс привел к образованию по берегам Моря Дождей своеобразной брекчии из блоков доморских пород (формация *Nebularum*). По периферии Имбрийского купола произошло частичное переплавление дробленных пород (формация *Paluk*) и заложилось кольцо краевых морей. Доказывается также длительность развития разрывных систем.

В работе А. В. Хабакова (1949) рассмотрены многие структурные формы района, их возрастные и пространственные соотношения. Подробно описаны длительно развивающиеся разрывные нарушения, приводятся классификации разрывов, морских валов, кратеров и морских впадин. А. В. Хабаков допускает образование круговых впадин типа морей и крупных цирков и без предшествовавшего вспучивания.

Дж. К. Джилберт (Gilbert, 1893) выделил вокруг Моря Дождей систему радиальных разрывов. Позднее появилось много карт разрывов как описываемого района, так и всего видимого полушария Луны (Darney, 1933; Spurr, 1944; Хабаков, 1949, 1960; von Bülow, 1958; Firsoff, 1959, 1961; Nасkman, 1960; Le Roy, 1961; Fielder, 1961, 1963). На картах М. Дарне, Дж. Е. Спёрра и Дж. Филдера упомянутая система разрывов читается отчетливо. Дж. К. Джилберт, Р. Б. Болдуэн (Baldwin, 1942, 1949) и Х. К. Юри (Urey, 1952) обосновывали ту точку зрения, что радиальные разрывы, как и сама впадина Моря Дождей, образовались в результате взрыва при ударе о поверхность Луны крупного космического тела. Систематическое исследование радиальных и концентрических разрывов вокруг круговых впадин было проведено В. К. Хартманом и Дж. П. Кейпером (Hartmann, 1963; Hartmann, Kuiper, 1962). На картах разрывов А. В. Хабакова, В. А. Фирсова, К. фон-Бюлова и Дж. Филдера видно, что радиальные и концентрические разрывы вокруг Моря Дождей не являются единственными системами нарушений рассматриваемого региона. А. В. Хабаков (1949), анализируя данные Г. Ф. Шмидта (Schmidt, 1866), пришел к выводу о существовании общепланетарных направлений разрывов — северо-западных, северо-восточных и субмеридиональных.

Дж. Филдер (Fielder, 1963) показал, что наряду с системой разрывов, радиальных по отношению к Моря Дождей (R), в рассматриваемом районе присутствуют, а местами определяют структуру поверхности планетарные системы разрывов: А — северо-западная (очень мощная, местами неотличимая от R), В — северо-восточная (здесь проявлена слабее, чем А, но для полушария в целом имеет равноценное значение), С — меридиональная (слабая), D — широтная (очень слабая).

Описывая тектонические нарушения между морями Паров и Спокойствия, Дж. Филдер (Fielder, 1964) отмечает, что вдоль многих разрывов систем А и В происходили сдвиговые перемещения. Разрыв системы С в кратере Бошквич возник в условиях поперечного растяжения. Очертания древних кратеров сильнее искажены разрывами, чем молодых, т. е. подвижки по разрывам происходили длительно. Суммируя данные о направлении и длительности перемещений вдоль планетарных разрывов в упомянутом и других регионах, где отмечены такие же закономерности, Дж. Филдер приходит к следующим выводам. Бомбардировка космическими телами не могла быть причиной образования разрывов. Они возникли под действием единой длительно существовавшей системы горизонтальных тектонических напряжений с меридиональной ориентировкой оси наибольшего сжатия. Общая схема образования и развития разрывов по Дж. Филдеру нам представляется правильной.

Первые геологические карты района в целом появились как часть карт всего видимого полушария Луны. Они были опубликованы почти одновременно А. В. Хабаковым (1960) и Р. Дж. Хэкманом (Nасkman, 1960). На карте Р. Дж. Хэкмана показаны послеморские кратеры, моря, доморские образования и некоторые детали доморского рельефа. Карта А. В. Хабакова представляется более интересной. Ее легенда основана на весьма



5. Геологическая карта юго-западного края Моря Спокойствия, основанная на фотографии № 34 камеры В Рейнджера VIII. Составили Д. Дж. Милтон и Д. Е. Уилхелме (Schöemaker a. oth., 1966)

Коперниковская система:

Cs — материал кратеров;
 Cr — материал крутых склонов:

Эратосфенская система:

Ecr — материал кратерных валов;
 Esw — материал внутренних склонов
 и днщ кратеров.

Архимедовская серия
 имбрийской системы:

Icr — материал кратерных валов;
 Icf — материал днщ кратеров;
 Icw — материал внутренних склонов
 кратеров;

Ipmr — морской материал;
 Id — материал материковых куполов;

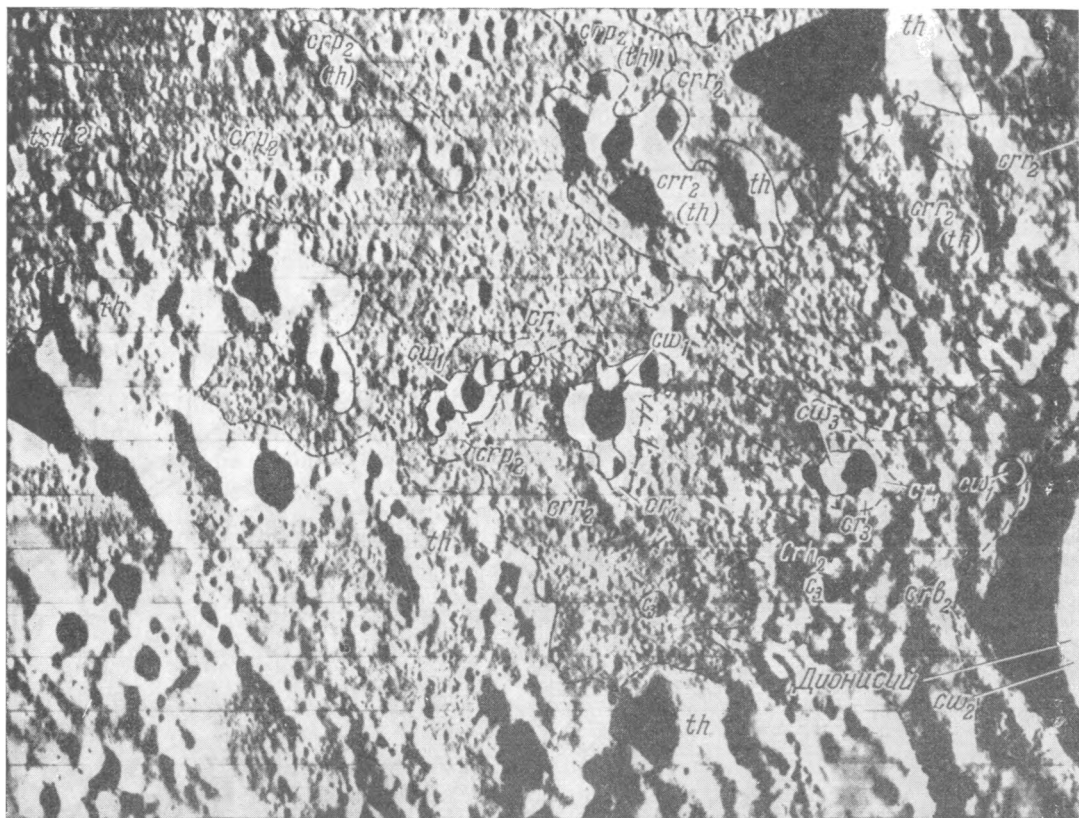
Ip_{1,2,3} — формации материковых
 равнин с разной плотностью покрывающих кратеров (Ip₁ содержит наибольшее количество кратеров).

Апеннинская серия
 имбрийской системы:

If — формация Фра Мауро.

Донбрий:

If (pIc) — маломощная формация Фра Мауро,
 покрывающая доимбрийские кратеры;
 pIc — материал доимбрийских кратеров.
 Особыми знаками показаны неправильноовальные депрессии, сбросы, уступы на морской поверхности и материковые разрывы неопределенного генезиса

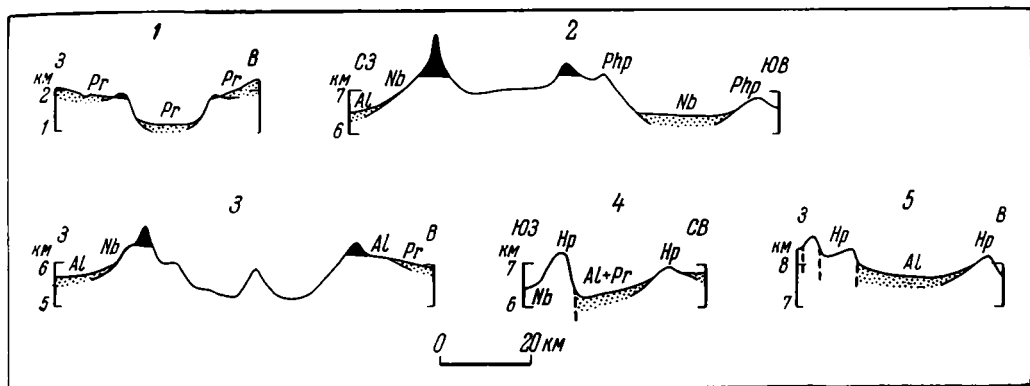


5. Геологически дешифрованный фотоснимок района кратера Дионисий, полученный спутником Луны Лунар Орбитер I (Rowan, 1966)

Материал «последидионисиевого» возраста на внутренних (sw_1) и внешних (cg_1) склонах кратерных валов. Материал Дионисия на внутренних склонах кратерного вала (sw_2), на внешних склонах и вне вала: крупноглыбовый (crg_2), холмистонасыпной (crg_2), линейно-ячеистый (crg_2), ячеистый (crg_2). Кратерный материал «додионисиевого» возраста: на внутренних (sw_3) и на внешних (cg_3) склонах кратерных валов и нерасчлененный (c_3). Материальный материал «додионисиевого» возраста: полого-холмистый вулканического происхождения ($tsh?$) и холмистый, выброшенный из больших впадин (th)

подробной схеме последовательности лунных формаций. На ней обозначены кратеры, горы и разрывы коперниковского, птолемеевского и доалтайского возраста. Выявляются морские образования. Древние моря уверенно выделены А. В. Хабаковым (1949, 1960) лишь между Алтайским хребтом и Пиренеями.

Дальнейшие успехи геологического изучения связаны с появлением нового атласа фотографий видимого полушария Луны (Kuiper a. oth., 1960) и гипсометрических карт масштаба 1 : 1 000 000 (Lunar chart, 1950—1964). На их основе составлены геологические карты окрестностей Коперника (Shoemaker, Nachman, 1962) и Юлия Цезаря (Morris, Wilhelms, 1965).



7. Разрезы через некоторые доаратосфенские кратеры

- | | |
|---|----------------------|
| 1 — Макляр (Ar); | 3 — Паллас (Pt); |
| 2 — Д'Аррест (Pt) и догиппархский цирк к востоку от него; | 4 — Дембовский (Hr); |
| | 5 — Темпл (Hr). |

Черным показаны части валов архимедовских и птолемеевских кратеров, возвышающиеся над окружающей местностью. Точками обозначены покрывающие морские комплексы

Ю. М. Шумэкер и Р. Дж. Хэксман использовали наложение более ярких лучей на менее яркие для разделения коперниковских кратеров А. В. Хабакова на собственно коперниковские и более древние эратосфенские. В дальнейшем Ю. М. Шумэкер (Shoemaker, 1964) несколько видоизменил первоначальную хронологическую схему, отказавшись от выделения процелляриевого периода и разделив имбрийский период на апеннинскую и архимедовскую эпохи. Вслед за Дж. Е. Спёрром и К. фон-Бюловом он выделил в Море Дождей внутреннюю кольцевую впадину и внешнюю зону.

Новый этап геологического изучения района начался с запуском на Луну космических аппаратов. В 1959 г. советская АМС Луна-2 впервые достигла лунной поверхности вблизи цирка Архимед. В 1964—1965 гг. жесткую посадку на Луну совершили американские автоматические станции серии Рейнджер (Ranger VII, VIII, IX). Фотоснимки, полученные Рейнджером VIII перед падением, а также фотографии, переданные спутником Луны — Лунар Орбитер I (LO I), дали много сведений о рельефе рассматриваемого нами района.

Ю. М. Шумэкер и его сотрудники (Shoemaker a. oth., 1966) составили геологические карты снимков станции Рейнджер VIII. Для одной из карт, масштаб которой близок к масштабу картирования в настоящей работе (рис. 5), принята детализированная стратиграфическая схема Ю. М. Шумэкера (Shoemaker, 1964). Другие геологические карты интересны выделением мелких структурных форм, но не содержат существенно новой стратиграфической информации. На рис. 6 приводится одна из геологически дешифрированных фотографий LO I, изображающая район к западу от кратера Дионисий (Rowan, 1966).

Детальный обзор снимков, полученных космическими аппаратами, и сравнение их с формами земного рельефа привели ряд исследователей к выводу, что комплексы пород лунных морей представляют собой лавовые покровы с присущими им формами вулканического рельефа — депрес-

сиями обрушения, иногда вытянутыми в цепи, валами, выжатыми интродуцированной по трещинам магмой, экструзивными куполами и т. д. (Kuiper, 1965a, b; Kuiper a. oth., 1966; Whitaker, 1965b; Rowan, 1966).

Итак, рассматриваемый район является одним из самых изученных в геологическом отношении. Для ряда участков существуют крупномасштабные фотографии с большой разрешающей способностью. Описаны многие элементы структуры. Заложены основы стратиграфического и хронологического расчленения пород и намечена история образования форм рельефа, выделены разновозрастные кратерные формации и разрывы, доказано залегание пород современных морей на материковых образованиях. Наряду с типичными материковыми образованиями выделены равнинные материковые комплексы с меньшим количеством разрывов и иногда более темные. К таким равнинным комплексам, по-видимому, относятся формация Palluk Дж. Е. Спёрра (Spurr, 1944, 1945), формация Cayley Е. К. Морриса и Д. Е. Уилхелмса (Morris, Wilhelms, 1965), формации $Ip_{1,2,3}$ Д. Дж. Милтона и Уилхелмса (Schoemaker a. oth., 1966), комплексы tsh и tms Л. К. Раувэна (Rowan, 1966).

Опираясь на имеющиеся фотоматериалы, топографические карты и данные упомянутых в этом разделе исследователей, автор составил геолого-морфологическую карту района масштаба 1 : 1 000 000. Принципы картирования изложены выше (см. статью «Методика и легенда...» в настоящем сборнике). По сравнению с первым вариантом (Суханов, Трифонов, 1967) настоящие карты уточнены и детализированы.

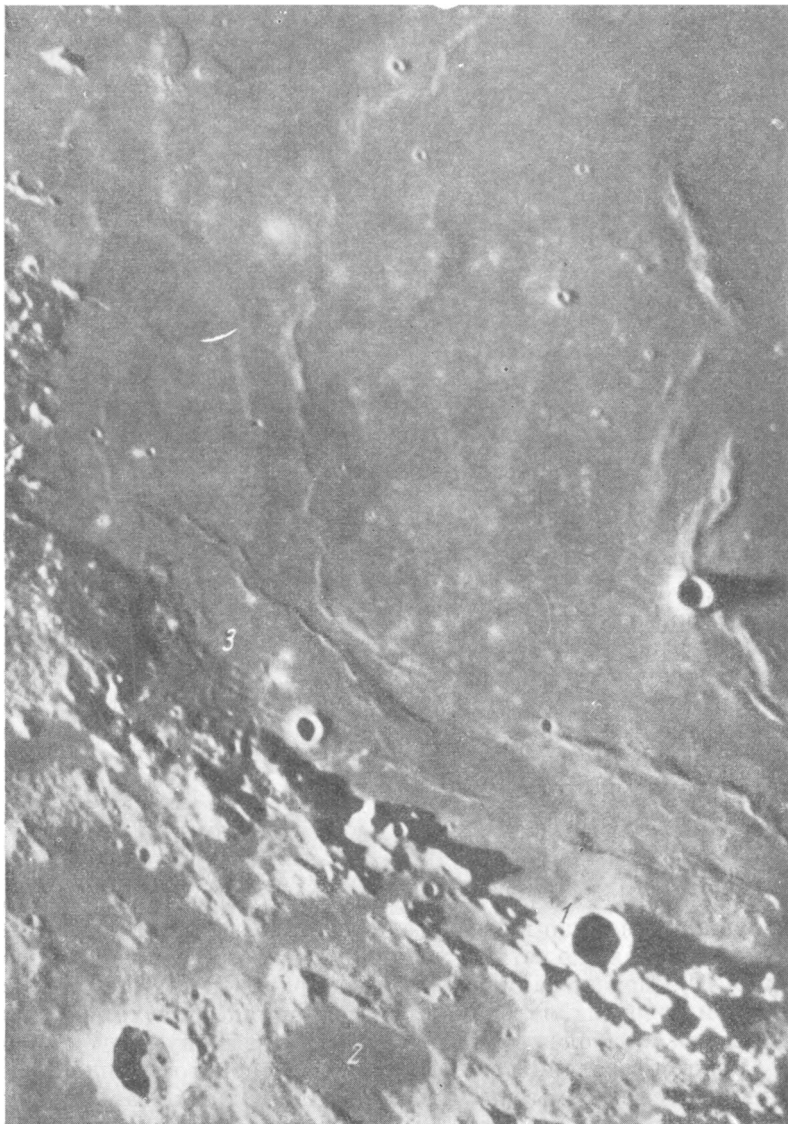
Стратиграфия

Нижняя система

Древнейшие породы района слагают догиппархские кратеры и некоторые горные массивы, по-видимому выступающие из-под пород небуляриевского комплекса. Примером догиппархских кратерных образований (Phr) служат два цирка восточнее Д'Арреста [рис. 7, 2; см. рис. 3 и 7 (М) ¹]. Они сильно разрушены; большая часть днищ и часть вала западного цирка покрыты небуляриевым комплексом. Многие разрывы, нарушающие валы цирков, не продолжают на небуляриевую поверхность.

По этим признакам к комплексу Phr отнесены реликты небольшого кратера юго-западне трещин Сульпиция Галла (см. рис. 1), часть дугового горного массива к югу от Сабина (см. рис. 3, 5) и выпуклая к югу горная дуга восточнее кратера Боде А, рассеченная многочисленными поперечными разрывами (см. рис. 3). По-видимому, она представляет собой часть обширного (свыше 50 км) цирка, перекрытого породами небуляриевского и алтайского комплексов. Более гипотетично выделение кратеров Phr на юго-восточном склоне Апеннин, южнее Архимеда восточнее Укерта, северо-восточнее Рэтика и в других местах. Остатками догиппархского цирка предположительно считаются нарушенные большим числом разрывов хребты вокруг впадины Манилий N (рис. 8). Очертания догиппарх-

¹ Для краткости индексом М после номера обозначены рисунки к ст. А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» в этом сборнике.



8. Юго-западная часть Моря Ясности и горы Гем. На юго-западе — цирк Манилий
Кратеры 1 — Менелай; 2 — Манилий N; 3 — трещины Сульпиция Галла

ских цирков сильно искажены последующими перемещениями по разрывам. Превышения валов над днищами и окружающей местностью меньше, чем у гипсархских кратеров, а иногда отсутствуют совсем (см. рис. 4).

Выходы пород древнейшего внекратерного комплекса Ant предполагаются в Апеннинах. Местами он как будто покрывается небуляриевыми породами, но чаще отделен от их выходов разрывами и устанавливается по следующему косвенному признаку. Анализ рельефа небуляриевого, алтайского и процеляриевого комплексов показал, что каждому из них соответствует определенная уровенная поверхность; причем поверхность более молодого комплекса, как правило, находится гипсометрически ниже поверхности соседнего более древнего комплекса. Именно такой перепад высот отмечается в Апеннинах и южных отрогах Кавказа на границах выходов небулярия и предполагаемого комплекса Ant (см. рис. 4). В других районах выделение комплекса Ant более гипотетично. К нему отнесены наиболее дислоцированные гребни и небольшие горные массивы. Может быть, некоторые изогнутые хребты, показанные как выходы комплекса Ant, представляют собой сильно разрушенные кратерные образования.

Небуляриевый внекратерный (морской?) комплекс Nb слагает около трети поверхности современных материков рассматриваемого района. Небольшие горные гряды и холмы небулярия выделены в современных лунных морях. Там, где небуляриевый комплекс занимает значительную площадь, видно, что его выходы образуют единую уровенную поверхность, несколько деформированную последующими перемещениями по разломам. Из-за обилия разрывных нарушений и мелких кратеров, почти потерявших первичную форму, небуляриевая поверхность повсеместно всхолмлена.

В районе цирков Юлий Цезарь и Бошкович и в горах Гем (рис. 9, см. рис. 8) небуляриевый комплекс слагает горные хребты, реже холмистые возвышенности неправильных очертаний, иссеченные бороздами, гребнями и уступами, которые простираются в северо-западных румбах. Промежуточный тип рельефа можно наблюдать в районе Д'Арреста и Ретика. Здесь небуляриевый комплекс слагает мелкие холмы, разделенные разнонаправленными бороздами, долинами и уступами, но вдоль крупных разрывов протягиваются горные гребни, чаще всего северо-западного простирания. Взаимно пересекающиеся борозды и долины в Апеннинах образуют правильную сеть, и холмы имеют форму мелких угловатых блоков (рис. 10). Между Заливом Зноя и цирком Паллас рельеф небулярия мягче, чем в других материковых провинциях. Это холмы и пологие возвышенности, наиболее крупные из которых вытянуты субмеридионально.

Среди образований гипсархского кратерного комплекса Nr встречаются кольцевые формы диаметрами от 100 (Юлий Цезарь) до 5 км (более мелкие обычно неразличимы). Крупные цирки имеют горный или холмистый рельеф. От первичного строения редко сохраняется что-нибудь, кроме общих очертаний валов, да и те бывают искажены частичными перекрытиями и деформациями. Превышения валов над окружающей местностью обычно меньше, чем у более молодых кратеров (см. рис. 7, 4, 5 и рис. 4).

Гипсархский и, по-видимому, небуляриевый комплексы перекрывают древнейшие образования. Гипсархские кратеры застраивают небуляриевую поверхность. Их валы чаще всего нарушены разрывами столь же интенсивно, как и небулярий; но некоторые разрывы небулярия в Апеннинах и их предгорьях не продолжают на валы гипсархских кратеров. Очевидно, гипсархский комплекс моложе небуляриевого и, может быть, частично одновозрастен его самым молодым членам.



9. Центральный Залив, Море Паров и материковая область между ними и Морем Спокойствия

Кратеры:

1 — Брюс;
2 — Блэгг;
3 — Хладни;
4 — Укерт А;
5 — Гигин А.

7 — Гигин S;
8 — Гигин Z;
9 — Бошкович P.

Кратеры:
10 — Манилий D;
11 — Ауверс А;
12 — Созиген;
13 — Созиген А;
14 — Маннерс;

15 — цепь крате-
ров Риттер
С, В и D (с юга
на север);

16 — Шмидт;
17 — Аридей и
Аридей А;
18 — Аридей В;
19 — Морган;
20 — Уэвелл;

21 — Зильбер-
шлаг;
22 — Зильбер-
шлаг А;
23 — Годен А;
24 — Годен В;
25 — Ретик А;
26 — Ретик В.

Впадины,
выполненные про-
целлярием и ком-
плексом М:
6 — Гигин М;

Пунктиром показаны границы материковых провинций I—III



10. Залив Зноя и материковая область к востоку от него. На северо-западе — цирк Эратосфен

К р а т е р ы:

1 — Эратосфен К;	6 — Бодэ А;	11 — Паллас А;
2 — Вольф А;	7 — Бодэ В;	12 — Шрегер А;
3 — Марко Поло А;	8 — Бодэ С;	13 — Шрегер G;
4 — Марко Поло С;	9 — Бодэ Е;	14 — Земмеринг;
5 — Марко Поло D;	10 — Бодэ G;	15 — Земмеринг М.

Пунктиром показаны границы материковых провинций I, II, IV, V

Границы небуляриевого и вышележащего алтайского комплексов часто неровны и фестончаты. Депрессии в небулярии и днища почти всех крупных гиппархских цирков перекрыты алтайским комплексом. На границах с ним древние разрывы исчезают (Темпл, Шрётер) или их становится гораздо меньше и проявлены они слабее (Юлий Цезарь, Агриппа S). Частичное перекрытие алтайским чехлом отмечается и в гиппархских кратерных цепях. Иногда от цепи кратеров сохраняются лишь противоположные ряды стенок, а вся центральная часть покрыта алтайским комплексом, который с одного, реже обоих концов цепи сообщается с алтайской поверхностью вне кратеров (материковая область к востоку от Залива Зноя).

Процесс гиппархского кратерообразования был многоактным и, вероятно, длительным. Это проявилось в неоднократном наложении одних цирков на другие (восточная часть гор Гем) и в образовании мелких кратеров и кратерных цепей на валах крупных цирков (Юлий Цезарь, Мурчисон). Некоторые особенно сильно деформированные доалтайские кратеры условно отнесены к гиппархскому комплексу, но могут быть и более древними (Зёммеринг M, крупный цирк в Море Спокойствия южнее Янсена, ряд цирков восточной части гор Гем).

При непосредственных контактах птолемеевских и гиппархских кратеров первые всегда залегают на вторых [см. рис. 1, *b* (M)]. Вместе с тем отмечены случаи (восточнее Залива Зноя), когда в единой кратерной цепи гиппархские кратеры сменяются по простиранию птолемеевскими. Видимо, это свидетельствует о преемственности в развитии кратерных комплексов.

Средняя система

Выходы пород алтайского морского комплекса A1 занимают примерно половину поверхности современных материков рассматриваемого района (см. рис. 1—3). Выходы алтайского комплекса образуют единую уровенную поверхность, которая обычно расположена гипсометрически ниже небуляриевой поверхности соседних участков и немного выше процелляриевой¹. В некоторых местах, например в окрестностях Архимеда, перепада высот на границе алтайского и процелляриевого комплексов практически нет. Разность высот небуляриевой и алтайской поверхностей неодинакова в разных провинциях. В восточной материковой области выходы алтайского комплекса находятся отчетливо ниже соседних выходов небулярия. Перепады высот на границах местами достигают сотен метров. Такие же соотношения — в районе цирка Архимед. В Апеннинах разность высот алтайской и небуляриевой поверхностей несколько меньше. Наименьшие различия высотных положений отмечены на восточном побережье Залива Зноя (см. рис. 4).

Своеобразное соотношение комплексов установлено на небольшом горном плато непосредственно к западу от трещин Сульпиция Галла. Рельеф плато сходен с алтайским. Слагающие его породы перекрывают разрывы, нарушающие небуляриевый комплекс. Поэтому поверхность плато признана алтайской, хотя она расположена гипсометрически выше соседних выходов небулярия.

¹ Разница гипсометрических положений уровней рельефа устанавливается на контактах комплексов. В центре обширной области выходов молодого морского комплекса его поверхность может быть выше древних комплексов побережий.

Рельеф алтайской поверхности различен в разных областях материков. В окрестностях цирка Годен, в более северной области между Агриппой S, Дионисием, Юлием Цезарем и Бошковичем (см. рис. 9), на участках алтайского комплекса внутри гипсархских кратеров гор Гем, в районе Палласа и Шрётера, в области к югу и востоку от Архимеда (рис. 11) алтайский комплекс образует равнину, очень слабо волнистую или бугристую. Изредка ее осложняют неглубокие борозды и небольшие сглаженные уступы. Они созданы малоамплитудными, хотя иногда и протяженными разрывами. Различаются пологие валы, подобные валам процелляриевого комплекса, прямолинейные или слегка изогнутые в плане. На отчетливых фотоснимках районов кратеров Архимед и Дионисий видно, что алтайская поверхность покрыта большим числом мелких кратеров, чем процелляриевая (см. рис. 11 и 6).

В тех местах, где алтайский комплекс перекрывает днища гипсархских кратеров, его мощность, вероятно, составляет несколько сотен метров и, возможно, достигает километра в наиболее крупных цирках. Первых сотен метров она может достигать и на участках, лишенных небуляриевых останцов, поскольку именно такой размах рельефа фиксируется на соседних площадях, сложенных небуляриевым комплексом.

К северу от линии Юлий Цезарь — Бошкович — Укерт (до гор Гем и предгорий Апеннин) в рельефе алтайской поверхности все большее значение приобретают пологие валы, сглаженные уступы и борозды, обычно ориентированные на северо-запад (см. рис. 9). В Апеннинах алтайский комплекс характеризуется пологобугристым рельефом. Комплекс слагает сравнительно небольшие участки, количество которых уменьшается к северо-западу. Чаще всего эти участки имеют неправильные очертания, но нередко вытянуты вдоль крупных разломов или прилегают к древним прямолинейным уступам. Подобные соотношения алтайского комплекса с древними разрывами установлены местами и в других горных областях района. Иногда алтайский комплекс ограничен уступами с двух сторон, и, вероятно, выполняет грабены.

Специфичен алтайский комплекс восточного побережья Залива Зноя до меридиана кратера Боде А (см. рис. 10). Поверхность комплекса пологобугристая. Отчасти бугристость обусловлена обилием мелких покрывающих кратеров, наиболее заметные из которых показаны на карте (см. рис. 2). Однако в большинстве случаев бугры изометричны или линейно вытянуты и не могут быть истолкованы как выброшенный из кратеров насыпной материал. Можно предположить, что алтайский комплекс здесь сравнительно маломощен. Он накапливался в условиях расчлененного рельефа и покрыл тонким чехлом некоторые небуляриевые холмы, сгладив их форму. В процессе картирования останцы небулярия и такие алтайские бугры разделились условно по резкости рельефа.

К алтайскому комплексу отнесены плоские светлые холмы, расположенные среди процелляриевой равнины. Один из предполагаемых алтайских выходов в Море Спокойствия (южнее Янсена) находится на продолжении вала деформированного гипсархского (?) цирка и, по-видимому, перекрывает его.

В большинстве областей алтайский комплекс имеет более высокое альbedo, чем процелляриевая морская поверхность. К западу от линии Агриппа — Бошкович — Манилий N в направлении Моря Паров алтайская поверхность постепенно темнеет и севернее кратера Гигин становится не светлее процелляриевой. Интересно, что именно здесь расположены мелкие



**11. Море Дождей, Гнилое Болото и юго-западная часть Апеннин.
На севере — цирк Архимед**

Кратеры:

- 1 — Фулье;
- 2 — Бер;
- 3 — Архимед А;
- 4 — Архимед С,
- 5 — Эратосфен А;
- 6 — Эратосфен В,
- 7 — Вольф В.

Трещины:

- 8 — Брэдлея.

Горы:

- 9 — Вольфа;
- 10 — Ампера;
- 11 — Гюйгенса;
- 12 — мыс Серао.

Пунктиром показаны границы материковых провинций V—VII

впадины, выполненные самым темным комплексом М. Заметно темнеет алтайский комплекс севернее цирка Шрётер и около самой восточной части Залива Зноя (см. рис. 10). Эти места имеют более низкое альbedo, чем процеллярий, и принадлежат к числу самых темных на Луне. Они сравнительно невелики, и переходы к ним более резкие, чем в предыдущей области. Дж. Фильдер (Fielder, 1961) считает, что низкое альbedo подобных участков отражает своеобразие первичного состава пород. Это вполне допустимо, но представляется более вероятным вторичное потемнение. Оно может быть вызвано перекрытием алтайской поверхности тонким чехлом комплекса М, внедрением множества небольших темных жил и т. п.

Процелляриевые образования местами проникают в алтайские понижения (Юлий Цезарь, Мурчисон) и перекрывают алтайские разрывы. Алтайские породы перекрыты также выбросами Архимеда (рис. 12).

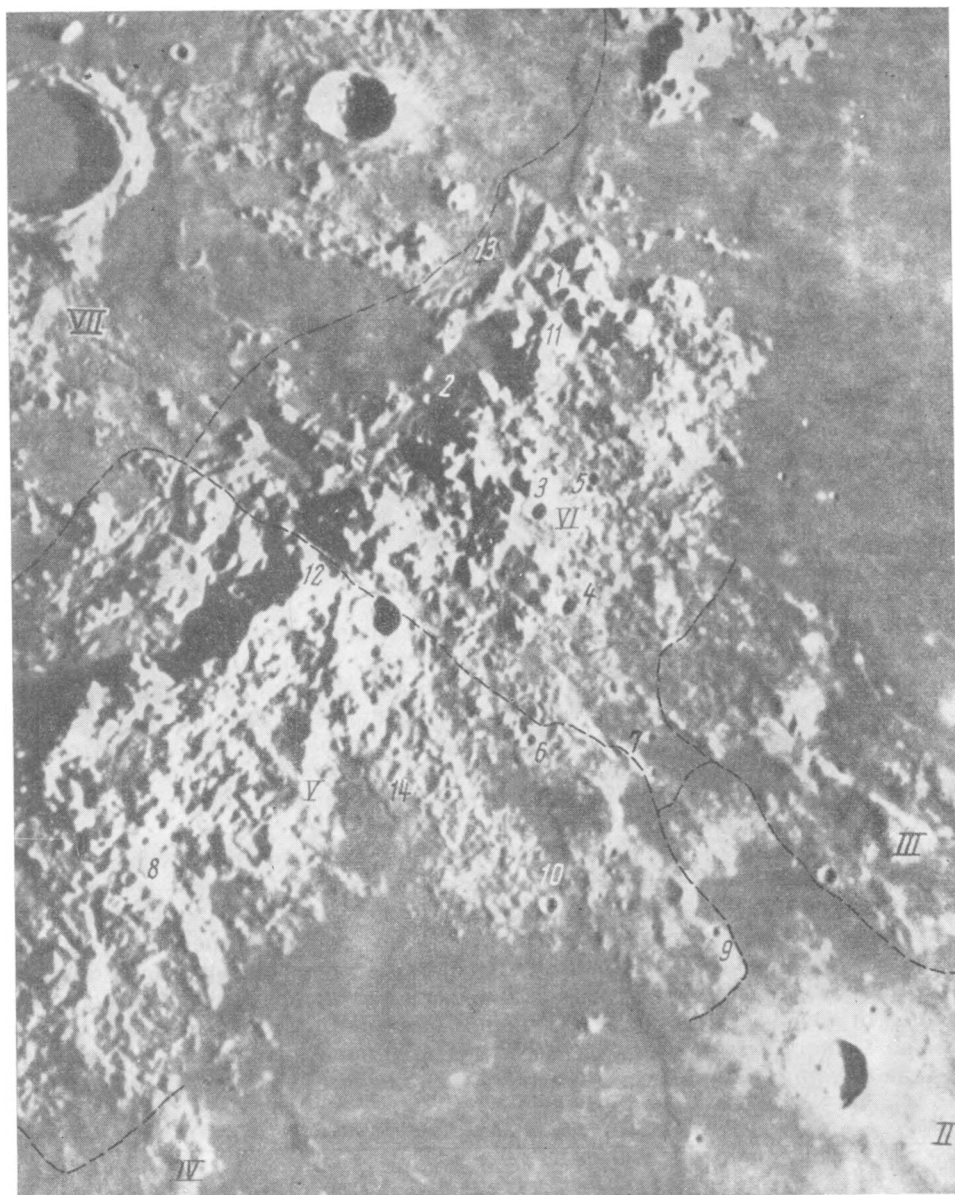
Кратеры птолемеевского комплекса Рт имеют более сглаженный рельеф, чем аналогичные молодые образования. Мелкие кратеры весьма многочисленны, особенно в Апеннингах и на восточном побережье Залива Зноя.

Крупные птолемеевские цирки гораздо более редки, чем в соседней области южного полушария Луны. Их днища и части валов обычно покрыты процелляриевым комплексом. Превышение вала над процелляриевым комплексом измеряется десятками метров у Янсена R и Уоллеса и достигает 900 м в восточной части Зёммеринга. Наблюдались случаи наложения архимедовских кратеров и кратерных цепей на птолемеевские. Итак, время возникновения алтайского и птолемеевского комплексов ограничено концом гиппархского кратерообразования и началом формирования архимедовского и процелляриевого комплексов.

Некоторые птолемеевские кратеры расположены на алтайской поверхности. Она нарушена небольшим числом разрывов, тогда как находящиеся рядом мелкие птолемеевские кратеры, за редкими исключениями, не нарушены. Вместе с тем на валах Палласа и Д'Арреста известны разрывы, достигающие границ алтайского комплекса, но не продолжающиеся на его поверхность. По-видимому, формирование этих кратеров началось до конца алтайского этапа. На раннее начало птолемеевского кратерообразования косвенно указывает и преемственность развития смешанных гиппархско-птолемеевских кратерных цепей.

Паллас [см. рис. 1, в (М)] нарушен разрывами заметно сильнее Д'Арреста (см. рис. 9). Едва ли это объясняется разной интенсивностью тектонических процессов, поскольку в более древних комплексах обоих районов они проявлены одинаково. Но Паллас не может быть и гиппархским кратером, так как он наложен на гиппархский цирк Мурчисон и дислоцирован гораздо слабее последнего. Вероятно, Паллас начал формироваться раньше Д'Арреста. Развитие Палласа происходило длительно, и мелкие птолемеевские кратеры, осложнившие северную часть его вала, частично перекрыли алтайскую поверхность.

В Центральном Заливе выделяются участки поверхности, занимающие по характеру рельефа и светлоте среднее положение между алтайским и процелляриевым комплексами. Границы участков и выходов указанных комплексов обычно нечеткие. Иногда алтайская поверхность расположена немного выше. Участки представляют собой равнину, на которой при косом освещении видны очень пологие бугры. Морских валов здесь больше, чем на процеллярии. Относительная светлота и слабая бугристость поверхности не могут быть результатом перекрытия процеллярия выбросами Триснеккера и других кратеров: выбросы и лучи, хорошо заметные



12. Северо-восточная часть Апеннин, Гнилое Болото и Море Ясности. На севере слева направо: цирки Архимед, Автолик и южная часть горного массива Кавказа

К р а т е р ы:

- 1 — Хадли В;
 2 — Хадли С на трещине Хадли;
 3 — Аратус;
 4 — Аратус А;
 5 — Аратус В;

- 6 — Конон А;
 7 — Сульпиций Галл G;
 8 — Марко Поло В;
 9 — Манилий В;
 10 — Манилий F.

Г о р ы:

- 11 — Хадли;
 12 — Браллея.
 Т р е щ и н ы:
 13 — Фреснел;
 14 — Конона.

Пунктиром показаны границы материковых провинций II—VII

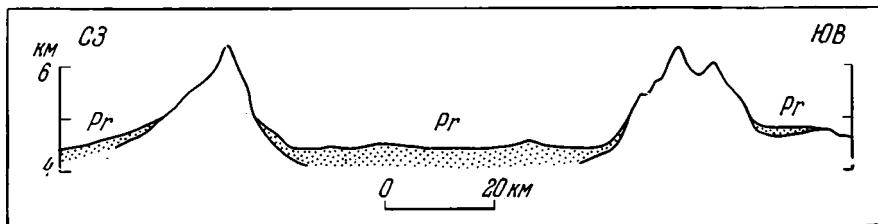
при прямом освещении, имеют иные очертания. Южнее трещины Конона такие же промежуточные образования заливами проникают в слабые понижения алтайского рельефа, и разрывы алтайской поверхности в них не продолжаются. Рядом с трещиной Конона и восточнее Архимеда установлено перекрытие подобными породами птолемеевских кратеров. Промежуточные образования объединены в медийский комплекс, занимающий более высокое стратиграфическое положение, чем алтайский и птолемеевский комплексы.

Верхняя граница медийского комплекса менее определена. Может быть, он является особой разновидностью процелляриевого комплекса. Более вероятно, что медийский комплекс подстилает процелляриевый, поскольку на небольших участках восточнее Архимеда выбросы этого цирка перекрывают медийский комплекс. По-видимому, медийский комплекс характерен для областей, где на границе алтайского и процелляриевого этапов происходило непрерывное или почти непрерывное образование «морских» пород. Это и определило нечеткие контакты промежуточного медийского комплекса.

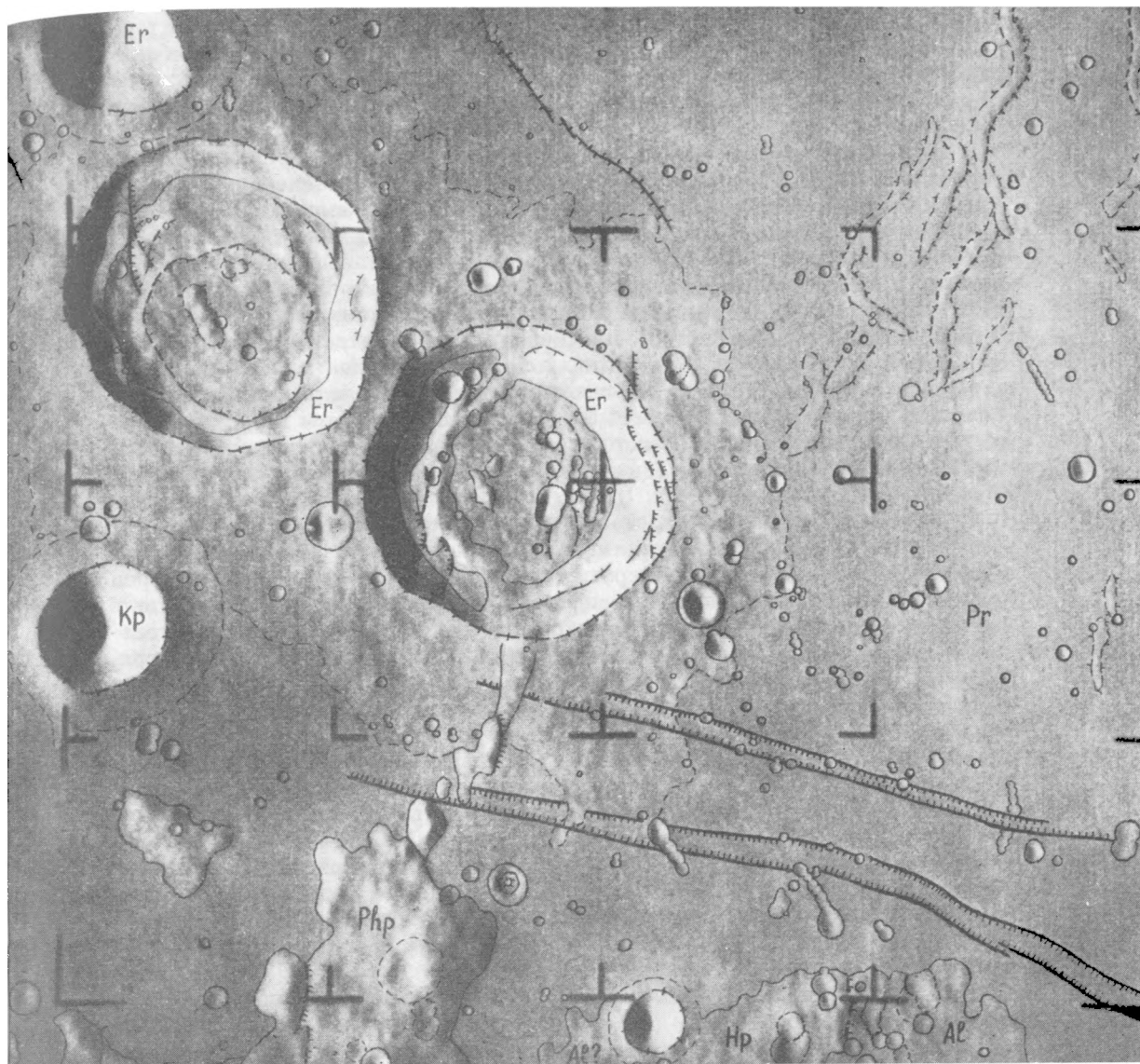
Верхняя система

Процелляриевый комплекс P_r выполняет современные лунные моря и отдельные впадины на материках. Его выходы образуют уровенную поверхность, которая не только прослеживается в морских впадинах, но и сохраняется в изолированных выходах этих пород на материках (рис. 13, см. рис. 4). При телескопическом обозрении поверхность процелляриевого комплекса представляется равниной, на которой неравномерно рассеяны мелкие кратеры и кратерные цепи и видны пологие протяженные валы и купола.









На фотографиях с большой разрешающей способностью (снимки Рейнджер VIII и Лунар Орбитер I) процелляриевая поверхность не кажется столь ровной (рис. 14). На ней различается много (хотя, по-видимому, и меньше, чем на алтайской поверхности) мельчайших кратерных форм: округлых кратеров с валами и неправильно-овальных депрессий без валов (Kuiper а. oth., 1966). В западной части Моря Спокойствия мощность процелляриевого комплекса, вероятно, измеряется сотнями метров, так как не может быть меньше размаха погребенного материкового рельефа. Редкие останцы и предполагаемые валы облекания распространены и на



13. Разрез цирка Архимед
Точнами показан процелляриевый комплекс



14. Участок Моря Спокойствия с кратерами Риттер и Сабин (отдешифрованная автором фотография Рейнджера VIII)

- | | | | |
|---|--|---|----------------------------|
|  | — границы материковых комплексов, мелких кратеров и днщ крупных кратеров; |  | 5 — морские валы; разрывы; |
|  | — границы кратерных выбросов и сильно разрушенных кратеров; |  | 6 — грабены; |
|  | — небольшие поднятия на днщцах, террасы на внутренних склонах и днщцах кратеров; |  | 7 — U-образные трещины; |
|  | — гребни кратерных валов; |  | 8 — уступы |

удалении от береговой линии. Вблизи них можно ожидать мощности того же порядка. На участках, свободных от подобных валов, возможны большие мощности. В центре кратера-фантома Ламонт и остатков древнего цирка к востоку от Янсена мощность процеллярия, вероятно, превышает 1000 м.

В прибрежной зоне Моря Дождей расположены реликты вала «полуза-топленного» птолемеевского цирка Уоллес. Его превышение над уровнем процеллярия — больше 200 м. Поскольку первичная высота вала над его внешним окружением едва ли была больше 1 км, мощность процеллярия вокруг цирка не превышает сотен метров. Аналогичный вывод следует из того, что залегающий рядом алтайский комплекс района Гнилого Болота не отделен от процеллярия уступом и, вероятно, продолжается под него в виде пологонаклоненной поверхности. Лишь в отдельных впадинах мощность процеллярия, очевидно, возрастает до 1 км (днище Уоллеса) и даже 2 км (днище Архимеда). Общее возрастание мощности можно ожидать на крайнем северо-западе листа 41, во внутренней зоне Моря Дождей, по-видимому отделенной от прибрежной зоны уступом. В других морских впадинах рассматриваемого района предполагаются мощности процеллярия того же порядка.

В небольших материковых впадинах мощность процелляриевого комплекса, вероятно, колеблется в широких пределах. В плоскодонных впадинах с неровными или округлыми ограничениями мощность пород процеллярия едва ли превышает первые сотни метров. По-видимому, столь же маломощны они и на дне некоторых древних цирков, предварительно выполненных алтайским комплексом (напримар, внутри Юлия Цезаря, Мурчисона, Дембовского). Большие мощности можно ожидать в удлиненных грабенообразных впадинах, где процелляриевый комплекс с одной или двух сторон ограничен разрывами-уступами. Внутри птолемеевского цирка Зёммеринг мощность процеллярия, вероятно, достигает 1 км.

Процелляриевый комплекс перекрывает все образования, кроме эратосфенских и коперниковских кратеров, выбросы которых ложатся на процелляриевую поверхность. Выбросы крупных эратосфенских кратеров (Эратосфен, Плиний и др.) постепенно утоняются по мере удаления от кратерного вала и в периферической части мало влияют на рельеф и светлоту подстилающего процелляриевого комплекса. На картах к эратосфенскому комплексу отнесены лишь сплошные поля выбросов, а тонкий и прерывистый чехол показан как процеллярий.

Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945) разделил породы современных лунных морей на темные — относительно древние и светлые — молодые. Наиболее убедительно это разделение в Море Ясности, где молодая часть комплекса слагает прибрежные участки, а древняя — центральные. Между ними есть и цветовые различия: центральные участки — более красные (Марков, 1960; Барабашов, 1960; Whitaker, 1965a). На рассматриваемой территории (лист 41) находится западная часть Моря Ясности, сложенная процелляриевыми образованиями «прибрежного типа».

Днище цирка Архимед, выбросы которого, вероятно, перекрывают медийский комплекс, «залито» процеллярием. Это позволяет выделить промежуточный архимедовский подкомплекс кратеров Аг. К нему относятся цирк Маклир и мелкие кратеры.

Кратерный вал Архимеда имеет горный рельеф. На валу и в поле выбросов сохранились несколько разрушенными детали первичного строения. Маклир по размерам и сохранности кратерного вала мало отличается от

соседнего эратосфенского цирка Араго, но его дно покрыто процелляриевым материалом (см. рис. 7, 1). Мелкие кратеры архимедовского подкомплекса обычно не «залиты» процеллярием. По степени сохранности рельефа они занимают среднее положение между птолемеевскими и эратосфенскими образованиями. Эти различия не везде проявлены отчетливо, и выделение архимедовских кратеров в ряде случаев гипотетично.

У кратеров эратосфенского (Er) и коперниковского (Kp) комплексов хорошо видны многие детали строения, не искаженные последующими деформациями. Превышения валов над днищами и окружающей местностью, как правило, больше, чем у древних кратеров тех же размеров.

Большая часть коперниковских кратеров окружена светлыми лучами, хорошо заметными при высоких углах освещения. Лучи Коперника имеют вид перьев, расположенных кулисообразно или на продолжении один другого. Границы лучей нечеткие. Это характерно и для других лучевых кратеров района. Лучевые системы Манилия и Триснеккера более компактны и не образуют отдельных перьев. Лучевые системы мелких кратеров имеют форму светлого венца или асимметричного веера с центром в кратере. Валы некоторых коперниковских кратеров очень ярки, но протяженные лучевые системы вокруг них отсутствуют. В целом системы лучей расположены радиально к кратерам, хотя нередко отклоняются от строго радиального направления. На описываемых картах лучи не показаны, чтобы не создавать перегрузки. Очень слабые лучевые системы различаются при благоприятном освещении и у некоторых эратосфенских кратеров. Лучи Автолика, например, продолжают почти до Кавказа с одной стороны и достигают днища Архимеда с другой.

Лучи коперниковских кратеров перекрывают эратосфенские образования. Реже отмечаются случаи непосредственного залегания коперниковских кратеров на эратосфенских. Так, небольшой лучевой кратер расположен на юго-западном склоне центральной горки Плиния, а 4-километровый коперниковский кратер врезан в днище Шрётера А. Это позволяет рассматривать наличие лучевой системы как признак более молодого возраста кратера. Аналогично этому эратосфенские кратеры типа Автолика — со слабыми лучевыми системами — можно считать более молодыми, чем эратосфенские кратеры типа Сабина — без заметных лучевых систем. К раннеэратосфенским образованиям могут быть предположительно отнесены Сабин, Риттер, Риттер В и С, Созиген, Маскелайн, Кэли, Морган, Уэвелл, Эратосфен, Фулье, Бер, Аратус А и Манилий А, а к позднеэратосфенским — Автолик, Плиний, Таке А, Араго, Агриппа, Годен, Конон, Архимед А и Хадли В.

Указанный принцип разделения не является универсальным. Ряд мелких заведомо коперниковских кратеров, покрывающих поверхность самого молодого морского комплекса М, не имеет лучей, и проблема использования последних для определения возраста требует дальнейшей разработки.

Архимедовские, эратосфенские и коперниковские кратеры нередко сгруппированы в цепи. Северо-восточнее Аратуса и вдоль трещины Брэдлея расположены цепи, состоящие частью из архимедовских, частью из эратосфенских кратеров. Западнее цирка Боде 65-километровая цепь состоит в основном из архимедовских кратеров, но в ней есть и более молодые образования, вплоть до коперниковских (Боде G). По-видимому, архимедовские, эратосфенские и коперниковские кратерные формы оказываются разновозрастными проявлениями непрерывного процесса кратерообразования.

На поверхности Моря Паров юго-западнее Манилия его лучи исчезают в 10 км от кратерного вала и появляются вновь через 20 км [см. рис. 9 (М)]. Такие же соотношения отмечены для лучей Менелая к юго-западу от гиппархского кратера Менелай S и для лучей некоторых мелких кратеров Моря Спокойствия в восточной части листа 60. По-видимому, во всех этих случаях лучи перекрыты «морскими» породами. Они выделены в комплексе молодых морских образований М.

Комплекс М отличается от процеллярия более низким альбедо и меньшим количеством мелких покрывающих кратеров.

Местами отмечается связь полей этого комплекса и мелких коперниковских кратеров. Кольцевое поле комплекса М, прерванное трещиной Гигина, окружает одноименный кратер. В южной части Моря Спокойствия темный материал окружает кольцами Маскелайн В и небольшой кратер к юго-западу от него. Янсен G находится в центре обширного поля комплекса М, а внутри Янсена и к северо-востоку от него коперниковские кратеры и выходы комплекса М расположены рядом. Все такие кратеры имеют очень светлые валы, но венцы лучей вокруг них отсутствуют.

Описание структурных форм

Кратеры

Поскольку кратерные формы со временем разрушаются, деформируются разрывами, покрываются более молодыми кратерами и морскими комплексами, первичная морфология лучше всего видна у эратосфенских и коперниковских образований. На крупномасштабных фотографиях выявляются специфические черты мелких кратерообразных депрессий процелляриевой поверхности. Все эти формы рассмотрены ниже под названием молодых кратерных образований. У более древних кратеров сохраняются в той или иной степени искаженными лишь отдельные элементы первичной постройки. Им посвящена вторая часть раздела.

При описании приняты следующие условные обозначения (по А. В. Хабакову, 1960):

- d — средний поперечник, измеряемый по центру от гребня до гребня кратерного вала;
- df — средний поперечник днища, измеряемый по центру между подножиями внутренних склонов кратерного вала;
- h — внутренняя высота кратерного вала — максимальная разница уровней вала и днища;
- H — наружная или относительная высота вала — превышение его гребня над окружающей местностью.

Молодые кратерные образования

Кратеры простого профиля. Так названы округлые или овальные депрессии без резких возвышенностей на дне. Обычно, хотя и не всегда, вокруг них имеются кольцевые валы. На склонах кратеров, как правило, не различаются террасы, кольцевые разрывы и подобные им осложнения.

Таблица 1. Характеристики некоторых молодых кратеров простого профиля ($d < 10$ км)

№ кратера	Название	Возраст	d , км	h/d	H/d	d/d	Геологическая обстановка
1	Маскелайн В	Кр	9	0,21	—	0,3	Морская равнина. Кольцевое поле комплекса М вокруг кратера
2	Зильбершлаг А	Кр	7	0,18	—	0,3	Пологая впадина ромбовидных очертаний на алтайском комплексе. Рядом — трещина Аридея, пересекающая древний меридиональный разрыв
3	Аридей А	Кр	~7	0,16	—	0,4	Спарен с кратером Аридей. Изгиб трещины Аридея и ее пересечение с древними разрывами. От внешнего склона вала начинается короткая цепочка мелких молодых кратеров, поперечная к трещине Аридея
4	Ауверс А	Ег	9	0,14	—	0,3	Небуляриевый комплекс; слияние нескольких древних разрывов
5	Марко Поло С	Кр	7	0,14	0,02	0,2	Небуляриевый и гиппархский комплексы; слияние и пересечение нескольких древних разрывов
6	Гигия А	Кр	8	0,13	—	0,5	Процелляриевая поверхность. Окончание молодого разрыва
7	Марко Поло D	Кр	7	0,13	0,03	0,2	Небуляриевый комплекс; пересечение древних разрывов
8	Марко Поло А	Кр	7	0,12	0,01	0,3	Вал Марко Поло (Php); слияние и пересечение нескольких древних разрывов
9	Халди В	Ег ₂	9	0,12	0,03	0,3	Небуляриевый комплекс; слияние и пересечение нескольких древних разрывов. Спаренные мелкие кратеры на внешних склонах вала
10	Шретер J	Кр	7	0,12	—	0,2	Алтайский комплекс у границы с процеллярием
11	Эратосфен К	Ег	5	0,12	—	0,3	Процелляриевая равнина, покрытая тонким прерывистым чехлом эратосфенских выбросов
12	Брюс	Кр	7	0,12	0,01	0,3	Процелляриевая равнина. Маленький молодой кратер на внешнем склоне вала
13	Манилий D	Кр	6	0,11	0,02	0,3	Процелляриевая равнина рядом с меридиональным морским валом
14	Вольф А	Ег	7	0,11	0,01	0,2	Небуляриевая поверхность; слияние и пересечение нескольких древних разрывов
15	Блэгг	Кр	6	0,11	—	0,3	Процелляриевый комплекс; слияние двух морских валов
16	Шретер D	Ег	6	0,11	—	0,2	Небольшое морское поднятие на процелляриевой поверхности
17	Марко Поло В	Кр	8	0,11	0,01	0,4	Догиппархский и небуляриевый комплексы, нарушенные древними разрывами
18	Эратосфен А	Кр	6	0,10	0,005	0,2	Процелляриевая равнина
19	Архимед С	Ег	8	0,10	0,03	0,5	Процелляриевая равнина
20	Ретия В	Ег	6	0,10	0,02	0,3	Граница догиппархского и небуляриеваго комплексов; слияние или пересечение нескольких древних разрывов
21	Эратосфен В	Кр	6	0,10	0,005	0,2	Процелляриевая равнина
22	Конон А	Кр	6	0,09	—	0,3	Нарушенный древними разрывами небуляриевый комплекс и спаренные птолемеевские кратеры. Рядом меридиональная эратосфенская кратерная цепь

Таблица 1 (окончание)

№ кратера	Название	Возраст	d , км	h/d	H/d	d/d	Геологическая обстановка
23	Хадли С	Ег	6	0,09	0,02	0,3	Молодая изогнутая U-образная трещина Хадли на процелляриевой равнине. На трещине расположены еще несколько мелких кратеров и эратосфенская кратерная цепь
24	Манилий А	Ег ₁	9	0,09	0,01	0,5	Граница процеллярия с небуляриевым комплексом, рассеченным северо-западными разрывами
25	Маскелайн М	Кр	8	0,09	—	0,4	Процелляриевый комплекс; северо-восточный морской вал
26	Боде С	Ег	8	0,09	0,01	0,2	Процелляриевый комплекс; склон морского вала
27	Манилий В	Ег	6	0,08	—	0,2	Граница небуляриеваго и процелляриеваго комплексов. Рядом короткая цепочка мелких молодых кратеров
28	Аратус В	Ег	6	0,03	—	0,3	Небуляриева поверхность; слияние древних разрывов. Рядом — скопление мелких молодых кратеров и архимедовско-эратосфенская кратерная цепь
29	Сулпиций Галл D	Ег	6	0,08	—	0,3	Граница небуляриеваго, алтайского и процелляриеваго комплексов, сочленение древних разрывов. На северо-запад отходит прямолинейный молодой разрыв, сменяющийся короткой цепью коперниковских кратеров
30	Манилий F	Ег	9	0,06	0,02	0,4	Граница небуляриеваго и алтайского комплексов; сочленение нескольких древних разрывов
31	Боде E	Ег	7	0,04	0,01	0,5	Меридиональный разрыв на темной алтайской поверхности. Рядом молодая трещина

Примечание. В табл. 1, 2 — отношение H/d не вычислялось для кратеров, лежащих на сильно расчлененном основании, а также в случаях, когда вал кратера незаметно сливается с окружающей местностью.

Диаметры d колеблются от десятков и первых сотен метров до 15, редко 20 км. Строение кратеров меньше 2 км на телескопических фотографиях не видно. Представления о них дают снимки Рейнджера VIII и Лунар Орбитер I. Они позволяют выделить две группы мелких депрессий: собственно кратеры — округлые, реже овальные, окруженные низкими валами, и неправильно-овальные депрессии — менее глубокие, без валов. Неправильно-овальные депрессии часто бывают удлинненными и иногда сливаются в цепочки. Единичные депрессии могут протягиваться на 3 км при ширине 0,5 км, но обычно их поперечники измеряются сотнями метров (Kuiper a. oth., 1966). Морфологическое описание телескопически различных простых кратеров сделано Д. У. Дж. Аргуром (1963).

В табл. 1 даны характеристики некоторых простых кратеров с главными диаметрами d больше 5 и меньше 10 км. Отношение h/d находится в пределах 0,08—0,14 (чаще всего 0,09—0,12). Исключениями являются, с одной стороны, Маскелайн В (0,21), Зильбершлаг А (0,18) и Аридей А (0,16), а с другой — Манилий F (0,06) и Боде E (0,04). Отношение h/d коррелируется с возрастом кратеров: у коперниковских образований оно, как правило, больше, чем у эратосфенских.

Таблица 2. Характеристики кратеров простого профиля ($d \geq 10$ км)

№ кратера	Название	Возраст	d, км	h/d	H/d	df/d	Геологическая обстановка
32	Архимед А	Ег ₂	13	0,19	0,04	0,2	Гиппархский и алтайский комплексы с северо-западными разрывами. На юго-восток от вала начинается цепь мелких молодых кратеров
33	Кали	Ег ₁	15	0,17	0,02	0,4	Алтайский комплекс. Начало небольшой молодой U-образной трещины с наизванными мелкими кратерами
34	Боде В	Кр	11	0,16	0,01	0,3	Древнее (Nb) меридиональное поднятие; слияние и пересечение нескольких древних разрывов
35	Зильбершлаг	Ег ₁	14	0,16	0,02	0,4	Древнее (Ant — Nb) меридиональное поднятие с продольными разрывами. Немного севернее поднятие пересекается трещиной Аридея
36	Боде А	Кр	14	0,15	0,04	0,3	Древнее (Nb) меридиональное поднятие с продольными разрывами
37	Аридей В	Ег	10	0,15	—	0,4	Алтайский комплекс. Мелкие кратеры на валу
38	Уэвелл	Ег ₁	15	0,15	0,02	0,4	Алтайский комплекс. Зона древней береговой кордильеры алтайского моря. Молодые кратеры и цепочки кратеров на валу. На юго-запад отходит небольшая система разрывов
39	Дионисий	Кр	19	0,14	0,01	0,4	Догиппархский и небуляриевый комплексы. Зона древней береговой кордильеры алтайского моря. Часть поля выбросов см. на рис. 6
40	Риттер В	Ег ₁	~14	0,14	—	0,6	Часть крупной кратерной цепи Сабин — Риттер на процелляриевом комплексе
41	Паллас А	Кр	10	0,14	0,04	0,3	Вал цирка Паллас (Pt)
42	Аратус	Кр	10	0,14	0,03	0,3	Древнейший и небуляриевый комплексы; слияние и пересечение нескольких древних разрывов. На восток от вала начинается короткая цепочка мелких коперниковских кратеров
43	Хладни	Кр	15	0,14	0,03	0,3	Вал полузаотопленного цирка Мурчисон на границе с медийско-процелляриевой равниной
44	Созиген А	Ег	13	0,14	0,03	0,4	Процелляриевый комплекс вблизи берега. Слияние нескольких молодых разрывов
45	Вольф В	Ег	10	0,14	0,02	0,3	Гребень кордильеры Апеннин с древними меридиональными разрывами
46	Шмидт	Кр	12	0,13	—	0,3	Процелляриевый комплекс с меридиональным валом
47	Аридей	Кр	~11	0,13	—	0,3	Спарен с кратером Аридей А, который находится на изгибе трещины Аридея
48	Годен А	Ег	10	0,13	—	0,4	Граница небуляриевой и алтайского комплексов. Сочленение молодых разрывов, отходящих от цирков Агриппа и Годен
49	Риттер С	Ег ₁	15	0,13	—	0,5	Часть крупной кратерной цепи Сабин — Риттер на процелляриевом комплексе
50	Аратус А	Ег ₁	10	0,13	0,03	0,3	Догиппархский и небуляриевый комплексы; слияние и пересечение нескольких древних разрывов

Таблица 2 (окончание)

№ кратера	Название	Возраст	d , км	h/d	H/d	df/d	Геологическая обстановка
51	Морган	Er ₁	~11	0,12	—	0,5	Алтайский комплекс. Зона древней береговой кордильеры алтайского моря
52	Маннерс	Er	16	0,11	0,03	0,5	Процелляриевый комплекс со слабым северо-западным валом
53	Бер	Er ₁	10	0,10	0,01	0,4	Граница алтайского и процелляриевого комплексов. На восток от вала начинается цепь мелких молодых кратеров, продолжаемая прямой субширотной молодой трещиной Архимед I
54	Фулье	Er ₁	10	0,10	0,01	0,4	Процелляриевый комплекс с меридиональным валом. Фулье образует изогнутую кратерную цепь с Бером и мелкими кратерами к востоку от него
55	Созиген	Er ₁	20	0,10	0,01	0,6	Небуляриевый и алтайский комплексы на границе с Морем Спокойствия. Веер молодых U-образных трещин к юго-востоку от гребня кратерного вала
56	Укерт А	Er ₂ —Кр	10	0,09	—	0,4	Вал пирка Укерт В (Нр). От кратера на север отходят две молодые U-образные трещины
57	Ретик А	Кр	11	0,09	0,01	0,5	Граница медийского и алтайского комплексов. Центр радиальной системы молодых разрывов (5 нарушений)
58	Гигин	Кр	~10	0,09	0,02	0,6	Излом трещины Гигина, где к ней примыкает несколько более мелких нарушений. Небольшие коперниковские кратеры по краям. Прерываемое трещиной Гигина кольцо отложений комплекса М
59	Годен В	Er	12	0,03	—	0,3	Небуляриевый комплекс с древними северо-западными разрывами. Короткая цепочка мелких молодых кратеров на склоне кратерного вала и рядом с ним
60	Такс А	Er ₂	14	0,03	0,02	0,6	Процелляриевый комплекс вблизи берега. Начало крупной меридиональной системы молодых разрывов
61	Шретер А	Er	11	0,06	—	0,5	Алтайский комплекс. В днище кратера врезан коперниковский кратер ($d = 4$ км)

Для сравнения относительных размеров кратерных днищ определялось отношение df/d . Чаще всего оно находится в пределах 0,2—0,4, изредка возрастая до 0,5. Отношение df/d слабо зависит от h/d и практически не зависит от возраста кратера. Отмечается возрастание df/d с увеличением d .

Наружная высота вала H обычно составляет 1—2% от d , т. е. измеряется величинами 70—120, редко 150—200 м. У Хадли В она достигает 300 м, а у кратеров Эратосфен А и В — очень мала (первые десятки метров). Как правило, изменения H в общем пропорциональны изменениям h .

Более крупные кратеры простого профиля (табл. 2) имеют диаметры 10—15 км, в единичных случаях (Дионисий и Созиген) — 19—20 км. По отношению h/d кратеры разделяются на группы I и II, причем формы с пе-

реходными значениями h/d сравнительно редки (рис. 15, а). Это отношение не зависит от принадлежности кратера коперниковскому, поздне- или раннеэратосфенскому комплексам.

Первая группа (рис. 16, I) объединяет 19 кратеров. Обычные значения h/d — 0,13—0,16. Оно возрастает у Кэли (0,17) и Архимеда А (0,19). Относительная величина кратерного днища df/d близка к 0,3—0,4 (см. рис. 15, б). У Архимеда А она составляет 0,2, т. е. кратер напоминает воронку. У кратеров Риттер В и С отношение df/d , напротив, велико (0,5), что при их значительной глубине свидетельствует о крутом (сравнительно с другими кратерами) наклоне стенок. Отношение H/d чаще всего имеет величину 0,02—0,03. У кратеров Боде А, Архимед А, Паллас А оно достигает 0,04 (наружная высота валов 400—500 м). Сравнительно низкие валы имеют Дионисий и Боде В. У них H/d близко к 0,01.

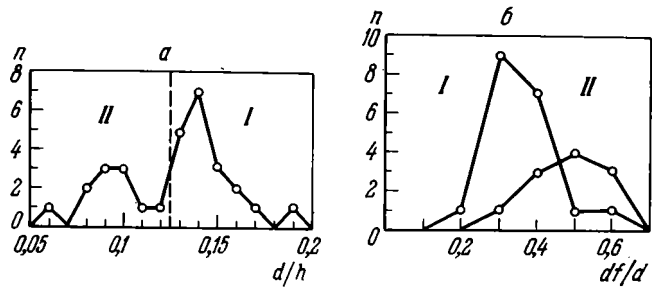
Вторая группа (см. рис. 16, II) объединяет 11 кратеров с менее глубокими и более широкими днищами; h/d имеет величину 0,08—0,10, а у Шрёггера А даже 0,06 (см. рис. 15, а). Лишь у Маннерса и Моргана h/d достигает 0,11—0,12. Относительные размеры днища df/d — 0,4—0,6 (см. рис. 15, б); H/d составляет 0,01, реже 0,02 и лишь у Маннерса возрастает до 0,03.

С некоторыми простыми кратерами связаны разрывные нарушения. Рэтик А является центром радиальной системы молодых трещин. Несколько мелких разрывов отходит от Созигена, Укерта А, Уэвелла. В ряде случаев от кратерного вала начинаются небольшие одиночные трещины (Кэли) или цепочки мелких кратеров (Архимед А, Аратус, Бер, Годен В, Аридей А).

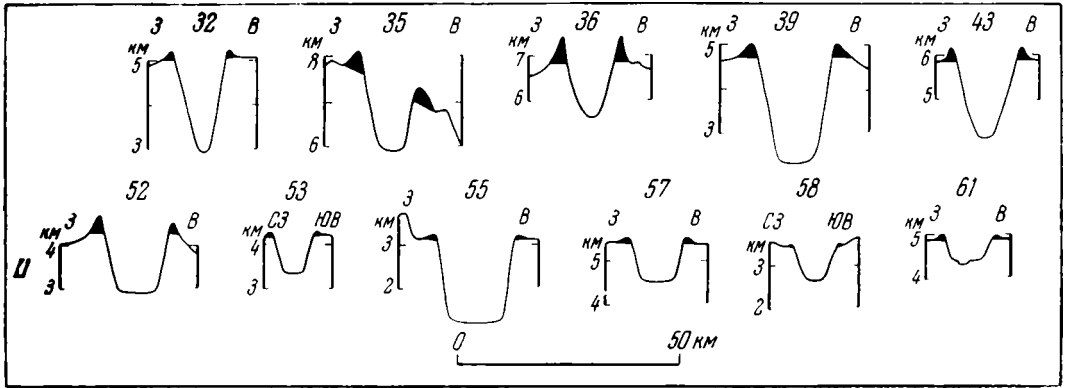
Крупные сложнопостроенные кратеры (цирки). В описываемом районе расположено 15 эратосфенских и коперниковских цирков, не считая Эратосфена, который заходит на территорию листа 59 восточными отрогами кратерного вала. Диаметры цирков — от 18 до 45 км (см. табл. 3 в конце главы). Отношение h/d обычно находится в пределах 0,07—0,12, а у Араго, Сабина и Риттера определяется в 0,04—0,06. В целом h/d уменьшается с увеличением диаметров цирков: у кратеров меньше 30 км оно в среднем равно 0,10, а у кратеров больше 30 км — 0,07. При этом у раннеэратосфенских цирков h/d уменьшается с увеличением диаметров быстрее, чем у цирков позднеэратосфенских и коперниковских.

В очертаниях валов некоторых цирков есть элементы полигональности: отдельные участки валов прямолинейны, хотя их стыки имеют дуговую форму. Чаще всего прямолинейные отрезки есть не на всем протяжении вала, а лишь с одной его стороны. Обычно они простираются на северо-запад, северо-восток, реже меридионально, следуя направлениям региональных разрывов. Почти все округло-полигональные кратеры (кроме Росса) расположены на материках, причем Агриппа, Годен, Укерт и Конон подстилаются древними комплексами, которые сильно нарушены разрывами разных направлений.

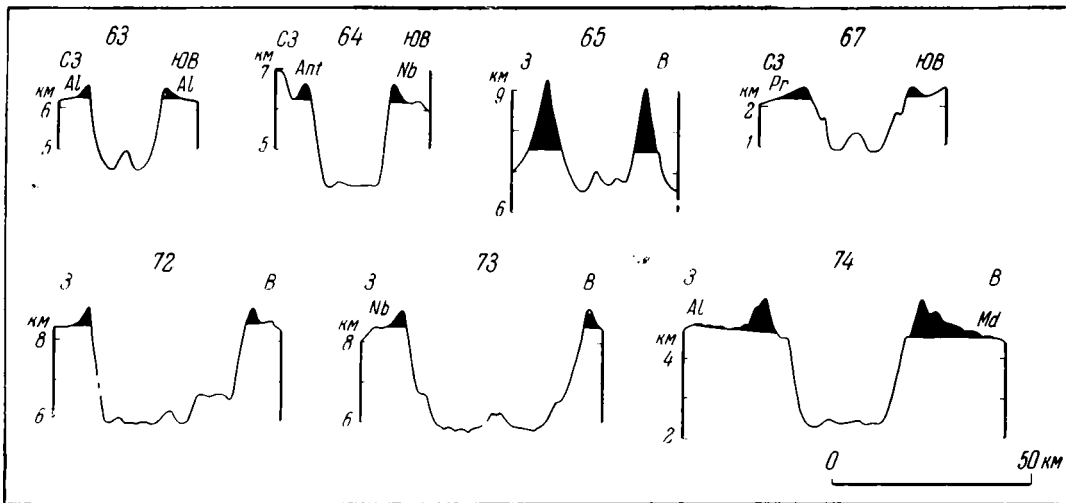
Внутреннее строение цирков весьма разнообразно (рис. 17). Часть кратеров имеет форму опрокинутого усеченного конуса с довольно крутыми склонами, которые резко отделяются от плоского или холмистого кратерного днища. К этому типу принадлежат Автолик, Годен, Сабин и Конон, приближаются Плиний и Укерт. Террасы есть у Плиния, Сабина и Автолика. Отношение df/d обычно близко к 0,7, а у Годена достигает 0,9. Днище Годена осложнено дуговыми террасообразующими уступами. Уступы на дне Плиния более прямолинейны.



15.



16.



15. Количественные характеристики кратеров простого профиля ($d \geq 10$ км)

a — графики частоты встречаемости n кратеров с разными значениями d/h (I и II группы);

б — графики частоты встречаемости n кратеров с разными значениями d/d (в I и II группах)

16. Разрезы некоторых кратеров простого профиля

I — глубокие кратеры с небольшими днищами;

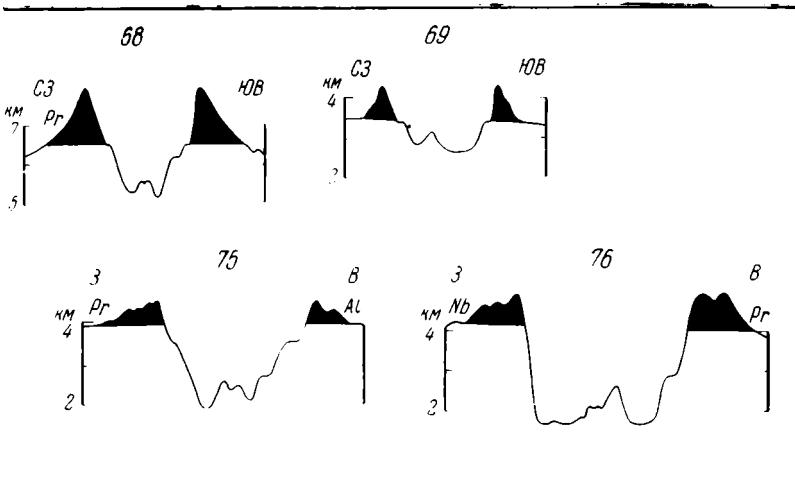
II — сравнительно неглубокие кратеры с широкими днищами.

Номера кратеров те же, что в табл. 2. Черным показаны части валов, возвышающиеся над окружающей местностью

17. Разрезы через некоторые сложно построенные кратеры коперниковского и эратосфенского комплексов

Номера кратеров те же, что и в табл. 3. Черным показаны части валов, возвышающиеся над окружающей местностью

17.



Кратеры Агриппа и Бодэ также имеют сравнительно крутые склоны, но переход к днищу осуществляется более плавно. На склонах Агриппы развиты узкие террасы. У Араго и Росса склоны положе, а переход к днищу еще более постепенный. На склонах обоих цирков хорошо видны ступени. Те же особенности характерны для Риттера. Интересно, что центр кругового уступа на его дне не совпадает с центром самого цирка. У коперниковских кратеров Триснеккер и Манилий ширина днища невелика (0,5 диаметра); оно плавно переходит в пологие, осложненные ступенями склоны.

На профилях Автолика, Араго, Манилия и Триснеккера обращают внимание террасы и полого наклоненные ступени, расположенные примерно на одном уровне с местностью, окружающей кратеры.

Поднятия на днищах цирков не достигают уровня окружающей местности. Среди них различаются валы, примыкающие к склонам кратеров, и изолированные возвышенности овальных или угловатых очертаний. Их высота обычно измеряется десятками или первыми сотнями метров и лишь у Плиния достигает 1 км. Нередко поднятия удлинены в меридиональном направлении. Укерт имеет два протяженных поднятия, примыкающих к склонам. Плоское дно Автолика осложнено несколькими небольшими, меридионально удлиненными поднятиями. На дне Сабина находятся два дугообразно изогнутых вала по краям и небольшое овальное поднятие посередине.

Наружная высота вала H всегда меньше глубины кратера h . У большинства цирков H имеет величину от 0,4 до 1 км и составляет 0,2—0,3 h . Наружная высота вала сравнительно мала (0,2—0,3 км) у раннеэратосфенских кратеров Риттер и Росс и аномально велика у коперниковских кратеров Триснеккер (1,3 км) и Укерт (1,8 км). У последнего она достигает 0,6 h .

Кратерные выбросы вокруг валов нередко имеют радиальный «струйчатый» рельеф и обычно различаются лишь у цирков, расположенных на морских и материковых равнинах. Иногда вал постепенно переходит в поле выбросов со слабым рельефом (Триснеккер, Риттер, Сабин, Плиний), но чаще их граница достаточно резкая и может быть закартирована (Араго, Маскелайн, Росс, Автолик, Манилий, Эратосфен).

Протяженные концентрические и дуговые уступы на склонах цирков, по-видимому, представляют собой разрывные нарушения. Кроме них в процессе развития цирков возникали и прямолинейные разрывы. Таковы субмеридиональные нарушения днищ и валов Агриппы, Годена, Манилия, Риттера и Сабина. На валу и в поле выбросов Плиния выделяется северо-западный разлом, к которому примыкают субмеридиональные разрывы. Сброс с оперяющими меридиональными трещинами отходит на юго-запад от Араго. Сложная система северо-западных, северо-восточных и меридиональных нарушений наблюдается в поле выбросов Автолика. С прямолинейными и концентрическими разрывами цирков иногда связаны мелкие кратеры (Плиний, Автолик).

Допроцеллярные кратерные образования

Архимедовский подкомплекс. Цирк Архимед (см. рис. 11—13) имеет диаметр 80 км. Вал и остатки поля выбросов по характеру рельефа близки к эратосфенским, но несколько сильнее нарушены разрывами. Большинство разрывов вала расположено вдоль него или по касательной к гребню, реже

диагонально. На внутренних склонах различаются террасовидные уступы. Вал содержит много лунок, цепочек кратеров и неглубоких овальных депрессий. Цепочки приурочены к кольцевым разломам и образуют дуговые структуры протяженностью в десятки километров. Вал Архимеда возвышается над процелляриевой равниной на 2 км. В части, доступной для наблюдения, окружающее поле выбросов довольно резко отделяется от него. Для выбросов характерен пологий, «струйчатый» рельеф с радиальными трещинами и цепочками мелких кратеров. Вокруг вала много одиночных мелких кратеров до 1,5, редко 2,5 км. Они обнаруживаются не только на алтайской поверхности, покрытой выбросами, но и на процелляриевой равнине. Скопление мелких кратеров отмечается также в западной и юго-западной частях днища цирка. Вероятно, развитие Архимеда продолжалось и после его перекрытия процелляриевыми образованиями.

Маклир имеет диаметр около 20 км. Днище Маклира также покрыто процелляриевым комплексом. Поверхность процеллярия на дне цирка находится на 600 м ниже, чем вокруг него (см. рис. 7, 1).

Птолемеевский комплекс. Паллас [см. рис. 7,3; см. рис. 1, в(М)] имеет диаметр около 45 км и глубину h свыше 1,7 км. Днище кратера плоское, слабохолмистое. Над ним на 750—800 м возвышается центральная горка неправильных очертаний. Вал довольно сильно нарушен. На юго-западном внутреннем склоне сохранились остатки ступени, наклоненной от днища. Наружная высота вала местами достигает 700 м. Д'Аррест (см. рис. 7,2), в отличие от Палласа, почти не нарушен разрывами. Он имеет вид плоской чаши ($d = 25—28$ км) со слабохолмистым дном и краями, высоко поднятыми над окружающей местностью. Заметное центральное поднятие отсутствует. Интересен небольшой птолемеевский кратер в горах Ампера: при диаметре 10 км он имеет удлиненную центральную горку.

Гипшархский комплекс. Ретик представляет собой единственный пример крупного гипшархского цирка, северная часть которого, по-видимому, не перекрыта более молодыми морскими комплексами. Диаметр цирка 45—50 км; глубина h местами достигает 1 км. На плоском слабохолмистом днище выступает центральный, меридионально ориентированный вал.

Многие гипшархские цирки имеют округло-полигональную форму. Полигональность отчасти создана последующими перемещениями по разрывам, но полностью этим объяснена быть не может, поскольку за пределами кратерных валов амплитуда нарушающих разрывов невелика. Очевидно, указанные цирки были округло-полигональными уже при возникновении.

Доалтайский возраст имеют выделенные Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1945) грабен-кратеры (Бошкович Р, Гигин М и др.). Это простирающиеся на северо-запад грабенообразные депрессии, ровное дно которых сложено алтайскими, процелляриевыми породами и, может быть, местами комплексом М. На северо-западе и юго-востоке депрессии не имеют четких границ. С юго-запада и северо-востока они обрамлены крутыми горными гребнями, внутренние склоны которых нередко круче внешних. Длина депрессий — 40—60 км. Представляется сомнительным, чтобы описанные формы имели кратерное происхождение. По-видимому, они являются сугубо тектоническими образованиями, и их валы представляют собой поднятия, скорее всего сложенные древним (небуляриевым?) комплексом.

Море Дождей ограничивают дугой береговые уступы Апеннин и Кавказа (см. рис. 4). Основным уступ Апеннин Дж. Е. Спёрр (Sprug, 1944) и Дж. Филдер (Fiedler, 1963) считают сбросом, который наклонен в сторону моря под углами до 30° . Возможно, плоскость разрыва имеет и более крутой наклон, но покрыта осыпями. Основной уступ не является единым и непрерывным, а образует в плане систему ступеней и кулис (см. рис. 1, 11, 12). Максимальные относительные превышения горных вершин над краем морской впадины достигают 2000—2500 м в центре листа 41 и уменьшаются до 900—1400 м на юге. За основным уступом на поверхность выступают древнейшие, небуляриевые, редко алтайские образования.

К северо-западу от основного уступа параллельно ему проходит вторая система сбросов, вероятно меньшей амплитуды. На юго-западе ступень, ограниченная вторым уступом, в значительной мере скрыта процеллярием. Продолжение уступа и ступени видно в материковой части впадины напротив гор Брэдлея. Ступень сложена небуляриевым, в тыловой части алтайским комплексами. Пологий ограничивающий уступ амплитудой в сотни метров простирается на северо-восток, пересекая трещину Брэдлея. Далее на северо-восток часть ступени перекрыта процеллярием Гнилого Болота. Из-под него выступает лишь фронтальный гребень ступени. Севернее, в районе гор Хадли, промежуточная ступень вновь расположена на материке. К северо-западу от ее сложенного небулярием фронтального гребня и уступа находится обширное поле выходов алтайского комплекса.

В описываемом районе различаются выделенные Д. Е. Спёрром, К. фон-Бюловом и Ю. М. Шумэкером внутренняя и внешняя зоны Моря Дождей. Во внешней зоне процеллярий сравнительно маломощен и покрывает не всю площадь. Внутренняя зона покрыта сплошным процелляриевым чехлом, вероятно, более мощным. Зоны разграничены гористыми «островами» материковых пород, может быть представляющими собой реликты затопленной кордильеры вокруг внутренней впадины (см. рис. 1, 11). Параллельно затопленному гребню протягивается северо-западная граница алтайского комплекса. На ее продолжении к северу от Архимеда расположены «остров» небуляриевых пород и начинающийся от него пологий морской вал. Морские валы имеют меридиональное и северо-западное, реже — северо-восточное простирания. На одном из них находится плоский изометричный купол ($12 \text{ км} \times 16 \text{ км}$) с лункой на вершине.

Море Ясности входит в периферический морской пояс вокруг Имбрийской впадины, но выделяется среди других образований этой зоны своей величиной. На рассматриваемой территории находится лишь его западный край. Береговая линия здесь состоит из отрезков северо-западного и меридионального простираний. Северо-западные простирания контролируются древними разрывами гор Гем и уступом, ограничивающим с северо-востока Апеннины (см. описание доархимедовских разрывов). Меридиональные отрезки не обнаруживают явной связи с разрывами. Морские валы характеризуются упорядоченным расположением, в общем повторяя очертания береговой линии.

Море Паров отделяется от Моря Ясности материковым перешейком с большими процелляриевыми впадинами. Края моря извилисты. Береговая кордильера отсутствует. Очертания, как справедливо отметил

Дж. Филдер (Fielder, 1963), скорее угловатые, чем круговые. Морские валы образуют две системы, протягивающиеся вдоль западного и восточного побережий.

Залив Зноя при всей извилистости береговой линии в целом имеет угловатые очертания. Вдоль юго-восточного края залива протягивается сложная система морских валов, ветвящихся, кулисно подставляющих и пересекающих друг друга. Она продолжается северо-восточными разрывами предгорий Апеннин. От этой системы валов на северо-запад ответвляются более низкие и простые валы, простирающиеся параллельно северо-восточному берегу залива. В сочетании обе системы образуют структурный рисунок типа «конского хвоста» и, по-видимому, представляют собой систему нарушений, возникшую в процессе развития морской впадины. В северо-западной части залива отмечено несколько морских валов на продолжениях материковых гребней.

Центральный Залив характеризуется извилистыми берегами, в целом образующими трапецевидную раму. Наиболее выразительная система морских валов протягивается западнее Триснеккера вдоль залива — в север-северо-восточном направлении. Она состоит из отдельных прямолинейных или изогнутых валов, кулисно подставляющих друг друга. Валы северо-западного простираения менее высоки и эффектны, но довольно многочисленны. Как правило, они находятся на продолжении небуляриевых гребней и, вероятно, являются структурами облекания материкового субстрата или как-то иначе связаны с древними разрывами. В отличие от них, северо-восточные валы, видимо, характеризуют новую систему дислокаций, возникшую при образовании или развитии впадины Центрального Залива.

Море Спокойствия. Рассматривается лишь его западная половина, охватываемая листом 60 (см. рис. 3). Береговая линия сильно изрезана. Кордильера отсутствует.

Характерно обилие протяженных морских валов. Их высота — до 300 м, ширина обычно измеряется километрами, а в редких случаях превышает 10 км. Валы могут быть прямолинейными и изогнутыми, причем первые более обычны. На рассматриваемой территории выделяются две основные системы валов. Одни протягиваются в северо-западном направлении и, вероятно, представляют собой унаследованно развивающиеся структуры облекания горстов материкового фундамента. Другие более многочисленны. Они имеют простираения от меридиональных до северо-восточных и в общем образуют веер поднятий с вершиной близ кратера Сабин. Скорее всего, эти валы являются новообразованием морского периода. В ряде мест зафиксировано их наложение на валы северо-западного простираения.

Валы кратера-фантома Ламонт пологи и по светлоте обычно неотличимы от соседней морской равнины. Лишь в отдельных участках на западе овала можно предполагать выходы доморского субстрата. Вокруг Ламонта намечается обрамляющая система валов, не замкнутая на юго-западе. В отличие от внутреннего овала, она имеет угловатые очертания и состоит из трех отрезков. Валы упомянутой выше веерообразной системы пересекают наружное обрамление, но внутрь Ламонта не продолжают. Отмечено лишь несколько очень слабых прямолинейных поднятий близ западного края овала. На карте (см. рис. 3) Ламонт показан как затопленный гиппархский цирк. Не исключено, однако, что он, как считает А. В. Хабаков (1960), представляет собой молодую кольцевую структуру, растущую



18. Перекрещивающиеся системы валов в Море Спокойствия.
Снимок Рейнджера VIII (Whitaker, 19656)

среди морской равнины. Последнее согласуется с концентрическим строением Ламонта и его связью с валами веерообразной системы.

Поперечные сечения различны у разных валов и иногда на участках одного вала; они бывают дугообразными, асимметричными, коробчатыми (рис. 18). Иногда вал переходит по простиранию в депрессию (Rowan, 1966; Whitaker, 19656). Выше было показано, что многие валы не наследуют древние выступы субстрата и, по-видимому, возникли в процессе формирования морской впадины. Можно предполагать, что они одновозрастны слагающим впадину морским породам. Вместе с тем в Центральном Заливе некоторые новообразованные валы продолжают с медийской поверхности на процелляриевую. В Море Спокойствия виден переход новообразованных валов с процелляриевой поверхности на поверхность комплекса М. Эти валы или развивались длительно, или возникли позже нарушаемых ими морских пород.

Характерная структурная форма Моря Спокойствия — пологие купола, сложенные темным материалом, неотличимым от процеллярия морской равнины. Подобные образования есть и в других морских впадинах района.

Чаще всего купола имеют поперечники основания 5—7 км. Углы склонов измеряются первыми градусами. На вершинах многих куполов находятся центральные кратеры диаметром около 1 км. В Море Ясности находится купол диаметром 33 км.

Небольшие (до 3 км) крутые поднятия на его своде и склонах, скорее всего, являются осложняющими куполами, но могут быть и выходами материкового субстрата.

Материковые области

Разновозрастные межкратерные комплексы образуют уровенные поверхности, причем поверхность пограничной части каждого более молодого комплекса, как правило, находится гипсометрически ниже соседних более древних образований. В восточной и южной частях района уровенные поверхности не имеют больших наклонов относительно фигуры Луны. Положение изменяется с приближением к Моря Дождей. Профили Апеннин (см. рис. 4) показывают, что в северо-восточных сечениях уровенные поверхности материковых комплексов сводообразно изогнуты, и чем древнее комплекс, тем амплитуда изгиба больше. Такой же свод, хотя и слабый, образует в северо-восточном сечении алтайская поверхность за фронтом Апеннин — южнее цирка Архимед. Возможно, оба свода — части единого, длительно развивавшегося поднятия, поперечного к фронту Апеннин.

Еще более существенные деформации поверхностей отмечаются в направлении впадины Моря Дождей (см. рис. 4). Лучше всего они фиксируются изменением высотного положения небуляриевой поверхности. По мере приближения к гребню Апеннин с юго-востока небуляриевая поверхность постепенно воздымается, а затем резко погружается вниз по крупным фронтальным сбросам. За этими сбросами расположена узкая тектоническая ступень, ограниченная с северо-запада системой сбросов меньшей амплитуды. Ступень образована наклоненной от морской впадины небуляриевой поверхностью с дополнительными опусканиями в местах, сложенных алтайским комплексом. Частично она «затоплена» процеллярием. За ступенью во внешней зоне впадины Моря Дождей небуляриевый комплекс обычно глубоко погружен.

На фоне наклоненной на юго-восток небуляриевой поверхности Апеннин выступают донебуляриевые гребни, занимающие большие площади в самой возвышенной части горного массива. По-видимому, гребень Апеннин существовал в виде цепочки «островов»-поднятий уже во время накопления небуляриевого комплекса.

Алтайские породы слагают в Апеннинах лишь небольшие впадины. Сплошные поля алтайского комплекса выделяются к северо-западу от Апеннин. Амплитуды вертикальных смещений алтайской поверхности по фронтальным сбросам значительно меньше, чем небуляриевой. На границе алтайского и процелляриевого комплексов района Гнилого Болота резкого перепада высот нет. Часть разрывов Апеннин перекрыта алтайским комплексом, часть нарушает его. После их образования вдоль фронтального уступа вновь происходили смещения. Следовательно, кордильера Апеннин возникла до накопления алтайского комплекса, но продолжала развиваться и после. Она частично определила границы распространения процелляриевого комплекса. Некоторые молодые разрывы, параллельные фронту Апеннин, пересекают процелляриевую поверхность.

Своеобразная структурная линия простирается на запад-северо-запад от кратера Дионисий к северному краю цирка Агриппа. Она выражена рядом уступов не круче 10° , обращенных на север и примерно продолжающих один другого. К северу от линии залегает в основном алтайский комплекс, к югу — небуляриевый. Там, где алтайский комплекс продолжается и к югу от линии, уступы отсутствуют. Возможно, система уступов представляет собой древнюю кордильеру, ограничивавшую морскую впадину района Юлия Цезаря.

Разрывы

Доархимедовские разрывные нарушения

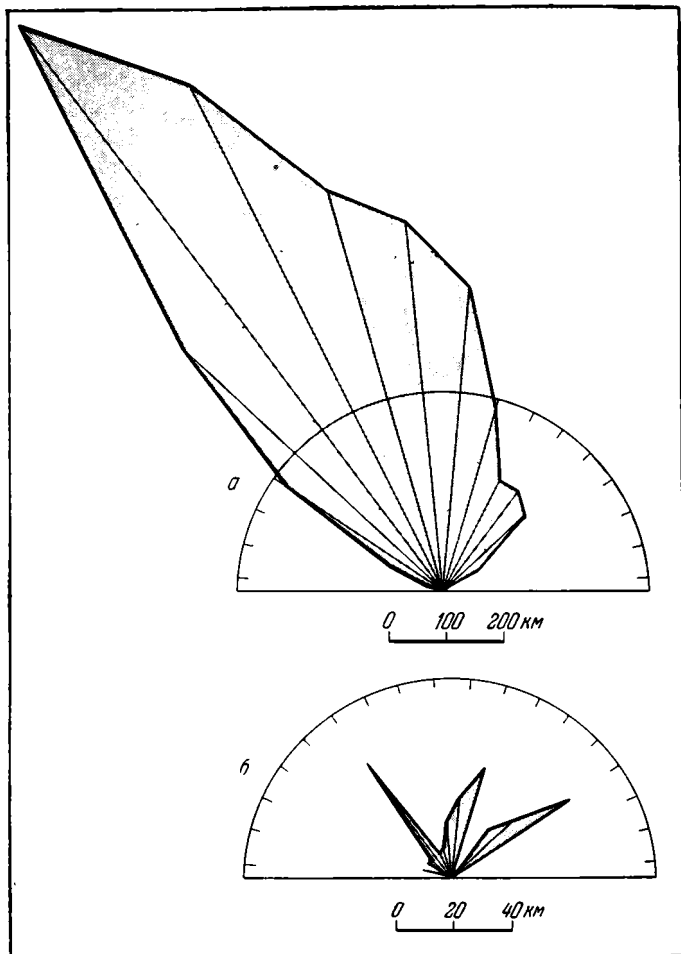
Разрывы выражены гребнями, уступами (до 30° , но обычно меньше), неглубокими бороздами и узкими долинами. Наличие уступа, по-видимому, отражает вертикальные смещения по разрыву. Многие борозды и долины, вероятно, являются разрушенными аналогами молодых U-образных трещин и грабенов. Специфический тип разрывов — слабые борозды и уступы, отличающиеся прямолинейностью и значительным протяжением. Вдоль некоторых из них зафиксированы горизонтальные смещения древних структурных элементов. Остальные разрывы этого типа отнесены к числу сколов с невыясненным направлением перемещения.

На алтайской поверхности доархимедовские разрывы более редки и, вероятно, имеют меньшую амплитуду. Как правило, они представлены пологими уступами, валами, бороздами. Лишь к северо-западу от Юлия Цезаря и на юго-восточном побережье Моря Паров алтайские разрывы выражены резче и местами почти не уступают в этом отношении разрывам древних комплексов. В районе Гнилого Болота допроцелляриевые разрывы алтайской поверхности имеют вид U-образных борозд, иногда очень слабых, тогда как разрывы с вертикальными смещениями отсутствуют.

Многие кратерные цепи продолжают разрывы или оперяют их. Большая часть доархимедовских цепей имеет птолемеевский возраст, реже встречаются гипсархские и смешанные гипсархско-птолемеевские цепи. Может быть, относительная бедность древних цепей связана с эрозией.

Для количественной характеристики разрывных нарушений строились розы-диаграммы, на которых в определенном масштабе изображалась общая протяженность разрывов разных простираний с интервалом группирования 10° . Разрывы изменчивого простирания разбивались на линейные отрезки. У дуговых разрывов учитывалось среднее простирание каждого 10-километрового отрезка. Из-за разнообразия проявлений разрывной тектоники ее конкретное описание целесообразно проводить по отдельным материковым провинциям. Их выделено семь (I—VII). Отдельно рассматриваются разрывы, нарушающие гипсархский, небуляриевый и более древние комплексы, и разрывы алтайской поверхности и птолемеевских кратеров. Для краткости первые обозначены X, вторые — Y.

В провинции I (район цирков Д'Аррест, Агриппа и Паллас) разрывы X обычно непротяженны, но некоторые достигают 50 км и более. Между Ретиком А и Триснеккером D можно предполагать небольшие (1 км) правосдвиговые смещения меридиональной долины разрывами северо-западного простирания. Правым сдвигам того же направления, возможно, обязан своими скошенными очертаниями цирк Агриппа S. В целом разрывы северо-западных простираний преобладают (рис. 19, а).



19. Розы-диаграммы доархимедовских разрывов района кратеров Укерт, Агриппа и д'Аррест

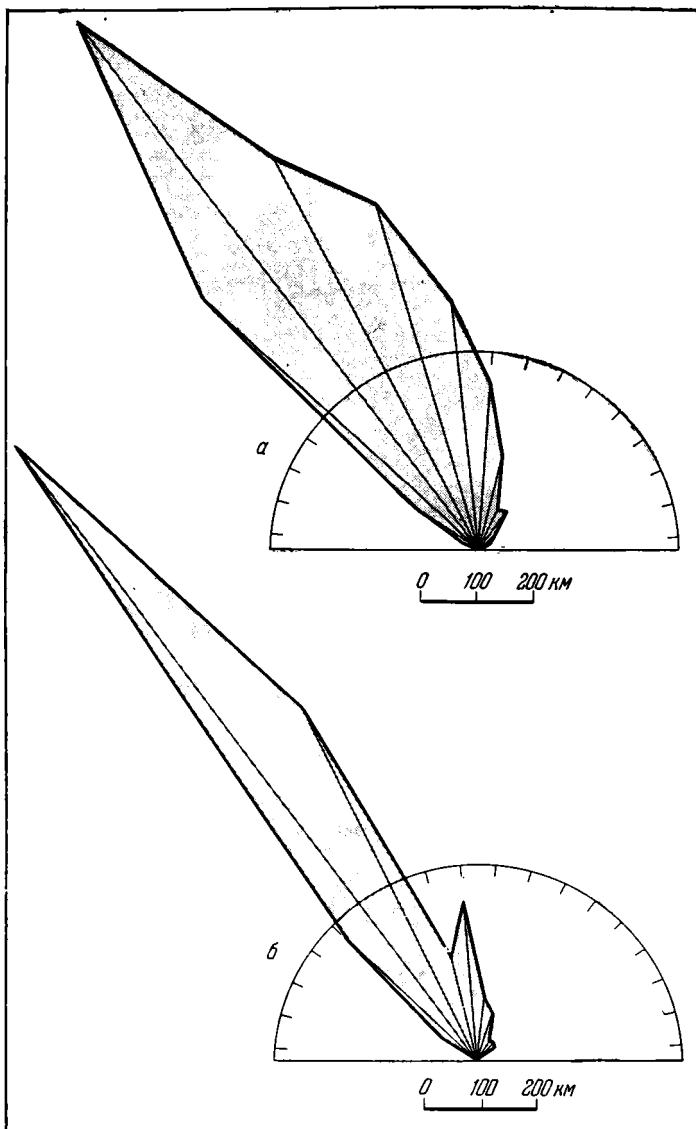
Р а з р ы в ы:

a — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

б — нарушающие алтайский, редко птоломеевский комплексы

Разрывы *У* (рис. 19, *б*) весьма редки и разнонаправленны. Очевидно, основная масса разрывов региона, прежде всего отчетливая система нарушений северо-западного направления, возникла до алтайского комплекса. Короткие кратерные цепи простираются субмеридионально.

В провинции II (район цирков Юлий Цезарь, Бошкович и южное побережье Моря Паров — см. рис. 9) преобладание северо-западных разрывов, особенно в группе *У*, выражено более резко, чем в провинции I. Дж. Филдер (Fielder, 1964) предполагает значительные правые сдвиги по разрывам северо-западного простирания. Он отмечает смещение валов Юлия Цезаря, цирка к северо-западу от него и некоторых других кратеров. Наши исследования не обнаружили смещений столь большой амплитуды.



20. Розы-диаграммы доархимедовских разрывов района кратеров Юлий Цезарь и Бошкович

Разрывы:

а — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

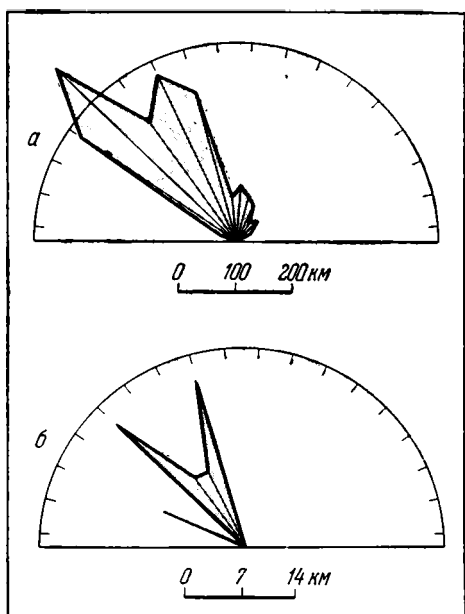
б — нарушающие алтайский, редко птоломеевский комплексы

Вместе с тем следует согласиться с Дж. Филдером, что овал впадины Манилий N (см. рис. 8), может быть, представляет собой бывшее круговое дно догиппархского кратера, искаженное правосторонними перемещениями. Их суммарная амплитуда, по подсчетам А. Л. Суханова, — 10—15 км.

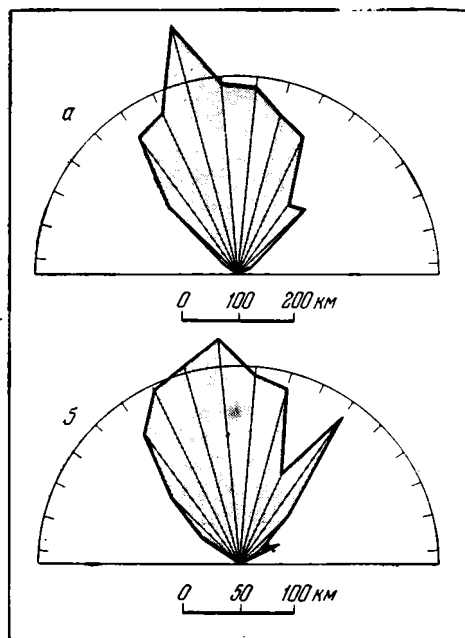
Среди послеалтайских нарушений отчетливые признаки сдвигов обнаруживаются крайне редко. Наиболее достоверно правостороннее смещение валов небольшого кратера севернее Гигина М. Амплитуда смещения — 2—3 км. Гипотетические смещения в других местах также измеряются первыми километрами.

На поверхности алтайского комплекса окрестностей впадины Манилий N зафиксировано несколько случаев, когда разрывы северо-западного направления на отдельных участках искривляются и становятся почти меридиональными. На северо-западных отрезках такой разрыв имеет вид неглубокой борозды или небольшого уступа. На субмеридиональных отрезках появляются значительные вертикальные смещения.

Направления разрывов X и Y примерно совпадают, но спектр направлений доалтайских разрывов более разнообразен (рис. 20). Очевидно, подвижки по разрывам происходили



21.



22.

21 Розы-диаграммы доархимедовских разрывов гор Гем

Разрывы:

a — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

б — нарушающие алтайский, редко птолемеевский комплексы

22. Розы-диаграммы доархимедовских разрывов юго-восточного побережья Залива Зноя

Разрывы:

a — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

б — нарушающие алтайский, редко птолемеевский комплексы

многократно, причем со временем они локализовались вдоль двух направлений: основного — северо-западного и второстепенного — меридионального. Длительность горизонтальных движений следует из разных амплитуд смещений древнейших и птолемеевских кратеров, что впервые отметил Дж. Филдер (Fielder, 1964).

Для провинции III (горы Гем) характерны нарушения северо-западного и север-северо-западного простираний, причем резко преобладают разрывы X (рис. 21). Немногочисленные короткие цепи птолемеевских кратеров в западной части провинции простираются субмеридионально, в единичных случаях на северо-запад или северо-восток.

Провинция IV охватывает восточное побережье Залива Зноя от Зёммеринга и Шрётера на юге до Моря Паров и предгорий Апеннин на севере (см. рис. 10). На западном берегу Моря Паров наиболее характерной формой разрывов являются уступы. Юго-западнее широко распространены также борозды и узкие долины. Простирания доархимедовских разрывных нарушений более разнообразны, чем в трех предыдущих провинциях, причем направления разрывов X и Y в значительной мере совпадают (рис. 22).

Особенность провинции IV — обилие гиппархских и птолемеевских кратерных цепей. Их простирания, как правило, близки к меридиональным. Крупнейшая субмеридиональная смешанная гиппархско-птолемеевская цепь протягивается с небольшим перерывом на 90 км между кратерами Бодэ А и Марко Поло А. На юго-востоке она кулисно подставляется другой субмеридиональной гиппархско-птолемеевской цепью протяженностью 25 км. Еще юго-восточнее находится окончание крупного прямолинейного северо-западного разлома. Такое соотношение разлома и кратерных цепей едва ли случайно.

Среди разрывных нарушений Апеннин (провинции V и VI) наиболее эффективны описанные выше береговые уступы Моря Дождей и отходящие от него в глубь материка прямолинейные или слабо изогнутые северо-западные разрывы (см. рис. 11, 12). Последние лучше выражены в северо-восточных Апеннинах¹. Крупный прямолинейный разрыв этой системы резким уступом ограничивает Апеннины с северо-востока. Он отчетливо прослеживается до цирка Автолик, где вдоль разрыва расположена цепь кратеров. Между Автоликом и Апеннинскими уступами разделяет поля выходов алтайского и медийского комплексов. На юго-восточном продолжении уступа в Море Ясности видна система морских валов. Следовательно, рассматриваемый разрыв существовал по меньшей мере с алтайского до эратосфенского времени. Возможно, вдоль него происходили правосдвиговые перемещения.

По мнению Дж. Е. Спёрра, ломаная в плане линия берегового уступа Апеннин обусловлена сдвигами северо-западного простирания. По-видимому, это справедливо далеко не во всех случаях. Сдвиг ранее возникшего уступа можно предполагать лишь там, где смещенные структурные элементы в точности повторяются на обоих крыльях разрыва. Такие сдвиги действительно устанавливаются по фронту Апеннин севернее мыса Серрао (см. рис. 1, 11). Все они правые. Их амплитуда обычно составляет 1—3 км, а между горами Ампера и Гюйгенса достигает 10 км. В северо-восточных Апеннинах (см. рис. 12) лучше всего видны правосдвиговые

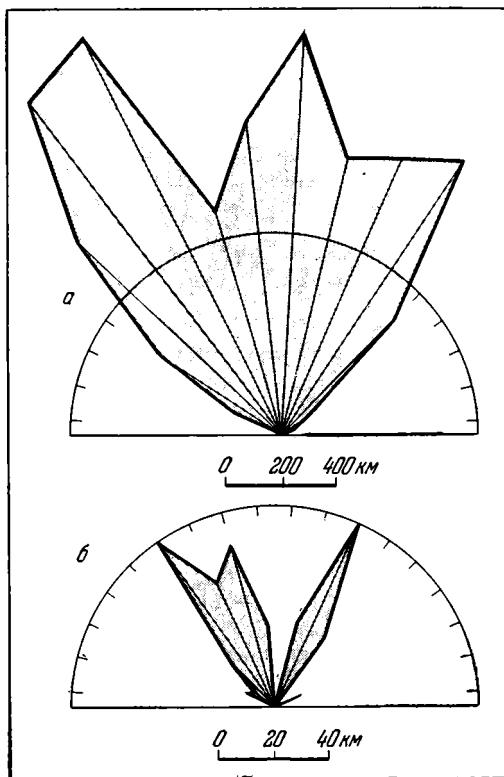
¹ Граница юго-западных (провинция V) и северо-восточных (провинция VI) Апеннин условно проводится в северо-западном направлении через цирк Конон.

смещения небуляриевого гребня западнее гор Хадли, валов гипсархского кратера восточнее гор Хадли и валов птолемеевского кратера севернее Конона. Амплитуды предполагаемых сдвигов — не больше 2 км.

Наряду со сдвигами отмечается кулисное расположение высоких хребтов. Каждая более северная кулиса находится восточнее предыдущей и поэтому создает видимость правого сдвига. Однако кулисы не являются смещенными частями единого хребта, потому что они, во-первых, имеют разное строение и, во-вторых, местами заходят одна за другую. Вероятно, Апеннинская часть береговой кордильеры Моря Дождей сразу возникла как система кулис на фоне общего поднятия, а сдвиги лишь осложнили ее.

Кроме протяженных северо-западных разрывов в Апеннинах много мелких нарушений разных простираний и морфологии. Вдоль некоторых небольших разрывов северо-западного и север-северо-западного направлений предполагаются правосдвиговые перемещения более древних кратеров, субмеридиональных уступов, борозд и гребней. Амплитуды не превышают 2—3 км. Лучше других виден правый сдвиг валов небольшого гипсархского кратера между Кононом и Манилием F. Гипотетические левые сдвиги выделены среди северо-восточных разрывов. Наиболее эффективно левосдвиговое смещение на 2 км восточной части вала Марко Поло. У субмеридиональных разрывов сдвиговых смещений не отмечено.

Простирания разрывов X провинций V и VI в общем сходны (рис. 23, а и 24, а). Разрывы Y в северо-восточных Апеннинах более многочисленны (рис. 23, б и 24, б). Их большая часть простирается на северо-запад, что почти не заметно в юго-западных Апеннинах. Это роднит северо-восточные Апеннины с провинциями II и отчасти III, на продолжении которых она находится.



23. Розы-диаграммы доархимедовских разрывов юго-западных Апеннин

Разрывы:

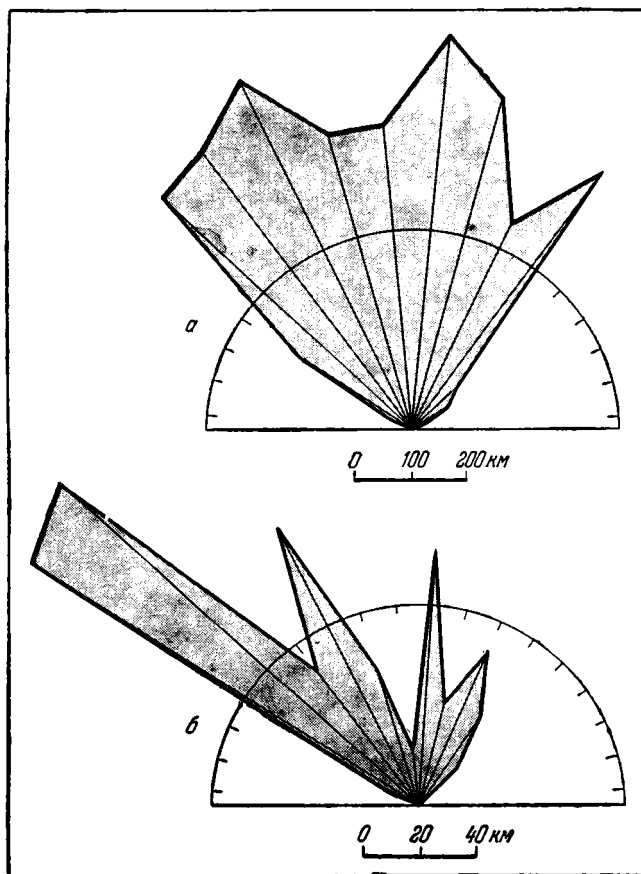
- а — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;
- б — нарушающие алтайский, редко птолемеевский комплексы

Цепи птолемеевских и гиппархских кратеров обычно простираются суб-меридионально. Три цепи в районе Марко Поло, цепи вблизи трещины Бадлея и восточнее Аратуса имеют длину 35 км, остальные — до 20, редко 25 км. Диаметры отдельных кратеров птолемеевских цепей не больше 6—7 км; в гиппархских цепях встречены кратеры с поперечниками 12—13 км.

Провинция VII охватывает материковые области к северо-западу от фронтальных уступов Апеннин и Кавказа. Простираются разрывы (рис. 25) и немногочисленных коротких цепей птолемеевских кратеров здесь весьма разнообразны.

*Закономерности проявлений
доархимедовской разрывной тектоники*

Общая роза-диаграмма доархимедовских разрывов района (рис. 26, а) показывает резкое преобладание северо-западных нарушений. Наблюдается сплошной асимметричный веер простираций от 305 до 355° с максимумом 325°. Более слабый максимум отвечает направлению 0—5° и еще



24. Розы-диаграммы доархимедовских разрывов северо-восточных Апеннин

Разрывы;

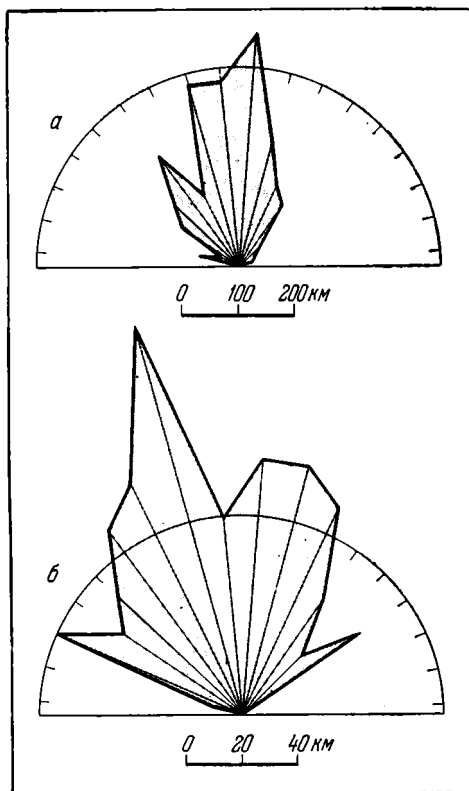
а — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

б — нарушающие алтайский, редко птолемеевский комплексы

более слабый — 25—45° с пиком 45°. Таким образом, в рассматриваемом районе выявляются три планетарных направления разрывов, закономерно ориентированных относительно экватора и центрального меридиана видимого полушария, что согласуется с данными о разрывах других областей (Хабаков, 1949; Fielder, 1963). Северо-западный максимум «размазан»: наряду с преобладающим простиранием 325° есть север-северо-западные направления разрывов. Последнее обстоятельство допускает возможность существования кроме планетарных систем региональных разрывов, отходящих от впадины Моря Дождей.

Анализ северо-западных нарушений по отдельным материковым провинциям показал, что с юго-запада на северо-восток преобладающее направление разрывов в общем изменяется от 345 до 315°, однако в каждой провинции есть разрывы всего этого диапазона направлений (см. рис. 19—24). По-видимому, к юго-востоку от впадины Моря Дождей имеет место не простое радиальное расположение разрывов, а сочетание двух систем: 335—345° и 315—325°. Это хорошо видно в северо-восточных Апеннинах, в горах Гем и материковой провинции I. Первая система определяет структуру западной части района, а вторая более характерна для северных и восточных областей. Обе системы северо-западных разрывов развивались длительно и нарушили как доалтайские комплексы, так и, в меньшей степени, алтайскую поверхность. На северо-востоке района относительное значение разрывов с простираниями 315—325° со временем возрастало, а разрывов с простираниями 335—345° соответственно уменьшалось (ср. рис. 20, а и 20, б, 24, а и 24, б).

Среди доархимедовских разрывов северо-западного простирания преобладают прямолинейные сколы и сбросы. Менее характерны разрывы, выраженные глубокими бороздами и



25. Розы-диаграммы допроцелиариевых разрывов района цирка Архимед и Гнилого Болота

Разрывы:

а — нарушающие и ограничивающие выходы доалтайских комплексов;

б — нарушающие алтайский, медийский и архимедовский комплексы

долинами. Вдоль некоторых разрывов наблюдаются правосдвиговые смещения. Северо-восточные разрывы имеют сходную морфологию, но обычно короче северо-западных. Вдоль некоторых из них отмечены левосдвиговые смещения. Субмеридиональные разрывы имеют вид уступов, борозд и долин. Чаще, чем северо-западные и северо-восточные разрывы, они бывают искривленными. Сдвиговых перемещений по ним не зафиксировано. Большая часть гипсархских и птолемеевских кратерных цепей (рис. 26, б), по-видимому возникших в условиях поперечного растяжения, простирается субмеридионально.

Нарушения разных направлений могут пересекаться, причем одни из них смещаются другими. Чаще всего субмеридиональные разрывы смещены северо-западными и северо-восточными. Обратное бывает редко. Характерны также сочленения одних разрывов с другими. Кратерные цепи, например, часто примыкают к северо-западным разрывам и как бы опережают их. Отмечены случаи искривления крупных разрывов, иногда с изменением их морфологии. Так, слабо выраженные северо-западные сколы провинции II на отдельных отрезках отклоняются до меридионального направления и при этом становятся сбросами значительной амплитуды.

Приведенные факты указывают на генетическую связь разнонаправленных нарушений. Сопоставляя направления и морфологию разрывов и сравнивая их с данными лабораторных опытов и с аналогичными структурами Земли (Гзовский, 1963; Лукьянов, 1966; Трифионов, 1967), автор вслед за Дж. Филдером приходит к выводу, что разрывы рассматриваемого района формировались в поле действия единой системы горизонтальных тектонических напряжений с меридиональной ориентировкой оси наибольшего сжатия σ_3 .

Горизонтальные перемещения по отдельным разрывам были небольшими. За алтайское и птолемеевское время они составили первые километры, а с древнейшей эпохи в единичных случаях, может быть, достигали 10—15 км.

Определяющим структурным элементом описанной системы нарушений были крупные северо-западные разрывы. Они образуют мощный пояс деформаций, протягивающийся от Апеннин до Пиренеев. На юго-востоке пояса в Пиренеях А. В. Хабаков (1949, 1960) зафиксировал правосдвиговое смещение вала кратера Капелла на 5 км. Пояс связывает две крупнейшие круговые структуры Луны: впадину Моря Дождей (диаметр 1100—1300 км) и древнюю впадину Моря Нектара, охватывающую область от Алтая до Пиренеев и имеющую поперечник 1100—1200 км. Пояс перекрыт процелляриевым комплексом Моря Спокойствия, т. е. возник раньше — тогда же, когда происходило формирование главных структурных элементов указанных круговых впадин (см. ниже раздел об истории развития региона). Вероятно, образование пояса и впадин вызвано единым тектоническим процессом.

Основная часть разрывных нарушений района возникла до архимедовского времени. Поэтому роза-диаграмма всех разрывов и кратерных цепей (рис. 27) близка к розе-диаграмме доархимедовских разрывов.

Большинство молодых разрывов выражено U-образными бороздами. Вероятно, при их образовании имело место раздвигание крыльев. Вдоль разрывов или на их продолжении часто расположены кратерные цепи. Отмечены протяженные узкие грабены и разрывы-уступы (по-видимому, сбросы). Структурные сочетания в зонах некоторых разрывов позволяют предполагать сдвиговые перемещения по ним. Гораздо более редки случаи смещения форм рельефа вдоль разрыва. Севернее Янсена В предполагается правосторонний сдвиг морского вала вдоль север-северо-западного разрыва. Его амплитуда 2—3 км. Протяженный северо-западный правый сдвиг между Кононом и Аратусом, вероятно обновленный в послемедийское время, смещает валы небольшого архимедовского (?) кратера на 1—1,5 км.

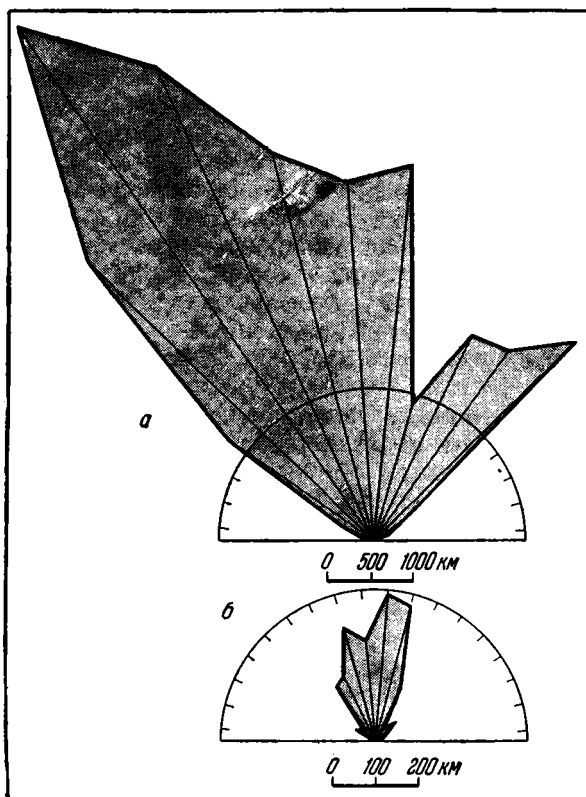
Особенности морфологии и расположения разных групп молодых нарушений позволяют думать об их разном происхождении. Многие системы протягиваются грубо параллельно границам морских впадин и чаще всего расположены в их краевых частях. Эти грабенообразные и U-образные нарушения иногда окружены невысокими валами — «брустверами». Такая система прослеживается от кратера Таке А к Созигену А, Риттеру, где сливается с продолжением «трещины» Аридея, и далее на юго-восток (см. рис. 3). Сложная меридиональная система разрывов видна в Центральном Заливе. Параллельно береговой линии изогнуты трещины Сульпиция Галла. По-видимому, все перечисленные нарушения возникли в связи с проседанием морских впадин. Структурный рисунок трещин Сульпиция Галла (см. рис. 1) — типа «конского хвоста» с появлением цепочки кратеров на одном из меридиональных разветвлений — позволяет предполагать правосдвиговые перемещения на северо-западных отрезках трещин этой системы.

Своеобразный облик имеют сложно и неоднократно изогнутые U-образные нарушения, обычно приуроченные к неровным краям морских впадин (трещины Боде I, Конона, Хадли и западнее Боде).

Значительная группа молодых разрывов, вероятно, наследует простиранья древних систем дислокаций. Непосредственно перед формированием процелляриевого комплекса и позднее, по-видимому, были обновлены фронтальные сбросы и некоторые северо-западные нарушения Апеннин. Северо-западнее Апеннин возникли новые разрывы двух указанных направлений. Молодые северо-западные разрывы находятся на продолжении древних, но, вероятно, обновленных поперечных разрывов Апеннин. Параллельно им простираются некоторые молодые разрывы восточного побережья Залива Зноя. Унаследованными являются и послемедийские северо-западные разрывы южного берега Моря Паров.

На розах-диаграммах послемедийских разрывов (рис. 28, 29) выявляется характерный запад-северо-западный максимум, отсутствующий у более древних разрывов. Этот максимум обусловлен крупнейшей системой нарушений Аридея и Гигина, которые к западу надстраиваются короткими эшелонированными U-образными трещинами и трещиной Боде II того же простиранья. Нарушения подобного направления обнаружены и к югу от цирка Архимед.

«Трещины» Аридея и Гигина представляют собой гигантские грабены сходного строения. На днищах много мелких кратеров, причем в грабене Гигина их несколько больше. Грабен Аридея состоит из отдельных кулисно



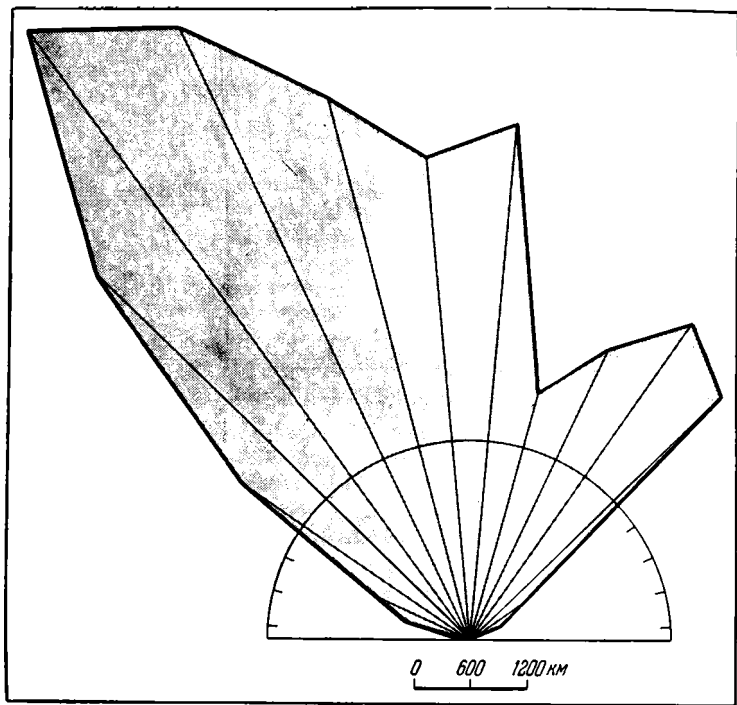
26. Розы-диаграммы всех доархимедовских разрывных нарушений

а — разрывы;

б — гиппархские и птоломеевские цепи

подставляющих один другого отрезков. Подробно описавший его морфологию Дж. Филдер (Fielder, 1961) отмечает, что днище грабена в разных местах ровное, слабо вогнутое или выпуклое. Крылья сравнительно пологи, что может быть обусловлено не первичным наклоном разрывов, а последующими осыпями. На пересечении поперечных гребней структура сохраняет «корытообразный» профиль, хотя превышения склонов гораздо меньше, а местами почти неразличимы. Некоторые пересекаемые гребни похожи на реликты древних цирков. Однако уменьшения амплитуд перемещений по разрывам дают основание подозревать в этих хребтах новообразования, возникшие в процессе развития грабена или позднее.

Вероятно, грабены Аридея, Гигина и U-образные разрывы того же направления формировались в условиях поперечного растяжения. Отмечаются и признаки сдвиговых напряжений: эшелонированное расположение грабенов Аридея, Гигина и трещин западнее Гигина; оперяющие нарушения типа «конского хвоста» на юго-восточном конце грабена Аридея. На возможность правосдвиговых перемещений указывает и тот факт, что на

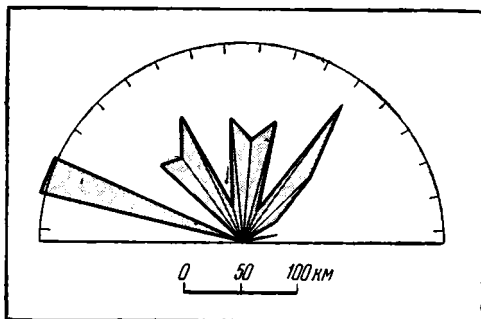


27. Роза-диаграмма всех разрывов и кратерных цепей рассматриваемого района

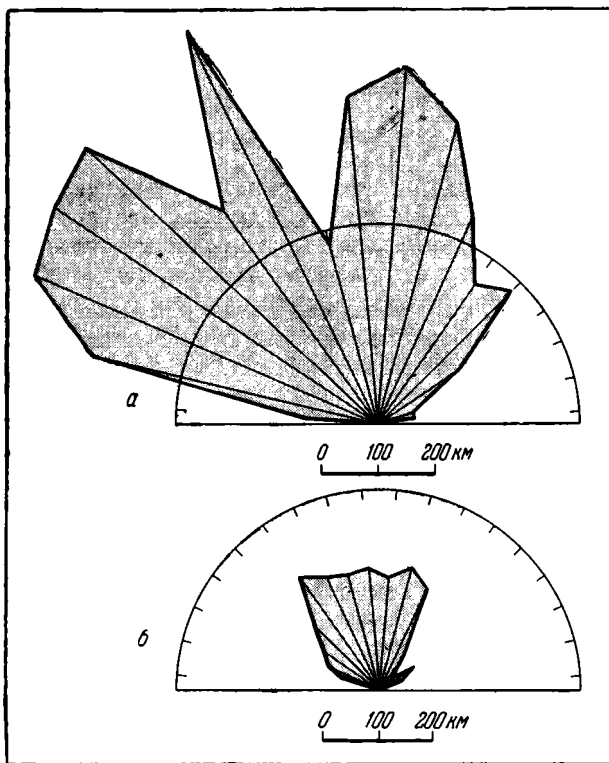
окончаниях грабенов Аридея и Гигина, где их простирание становится северо-западным, вдоль них и оперяющих трещин появляются кратерные цепи, тогда как на отрезках основного простирания кратеры сравнительно малочисленны. Система грабенов Аридея и Гигина протягивается от Моря Спокойствия до Моря Паров и, возможно, генетически связана с формированием этих впадин, подобно тому, как пояс древних северо-западных разломов может быть связан с формированием Моря Дождей и древнего Моря Нектара.

Особую группу молодых нарушений образуют разрывы архимедовско-коперниковских цирков и трещины, радиально расходящиеся от кратеров. Небольшие разрывы находятся на продолжении кратерных цепей, отходят от мелких кратеров или соединяют их.

Полигенность молодых разрывов определяет разнообразие их простираний (см. рис. 29, а). В соответствии с этим и послемедийские кратерные цепи имеют более разнообразные простирания, чем птолемеевские и гиппархские (см. рис. 29, б). Некоторые цепи изогнуты. Протяженность крупнейших цепей 35—45 км и даже 65 км (цепь западнее Боде). Цепи состоят из кратеров не больше 5 км в поперечнике. Интересна 30-километровая эратосфенская цепь восточнее Конона. Она состоит из кулисно расположенных спаренных кратеров север-северо-западной ориентировки и в целом простирается субмеридионально.



28. Роза-диаграмма послеледниковых разрывов и кратерных цепей Центрального Залива



29. Розы-диаграммы всех послеледниковых разрывных нарушений

- а — разрывы;
- б — архимедовские, эратосфенские и коперниковские кратерные цепи

Закономерности расположения молодых кратеров

Лучшая сохранность послемедийских кратеров позволяет на их примере более полно изучить закономерности размещения кратерных форм. Некоторые типы структур определенно благоприятны для образования мелких кратеров. Так, характерно повышенное их количество на валах цирков. Отмечаются скопления кратеров вокруг молодых цирков (Автолик, Эратосфен, Архимед), а также вблизи крупных молодых трещин и непосредственно на них.

Среди цепочек мелких кратеров можно наметить три типа. Первый тип — одиночные кратеры, расположенные один за другим в линию. Линия нередко представляет собой хорошо различимую трещину или разрыв. Второй тип образован сближенными кратерами, причем два соседних кратера имеют общую разделяющую их стенку. В третьем типе перегородки между сближенными кратерами отсутствуют и два ряда противоположных стенок окружают общий центральный канал. Иногда такая цепь прерывается и прерванные части соединяются разрывом. Некоторые цепи приурочены к концентрическим нарушениям на валах цирков или радиальным трещинам на окружающих полях выбросов. Однако большинство цепей не связано с цирками.

Более крупные кратеры простого профиля (d от 6 до 20 км) в материковых областях часто находятся на пересечении или слиянии древних разломов (см. табл. 1, 2). Некоторые кратеры связаны с крупными молодыми нарушениями. Кратеры процелляриевых впадин иногда расположены на пересечении морских валов.

Сложно построенные цирки материковых областей обычно приурочены к сильно дислоцированным участкам (табл. 3). Своеобразную связь с разрывными нарушениями обнаруживает крупнейшая в районе эратосфенская кратерная цепь Сабин — Риттер — Риттер С, В, D. С двух сторон к цепи примыкают системы прибрежных разрывов: меридиональная и запад-северо-западная. Цепь изогнута в соответствии с их простираниями.

Приведенные соотношения характеризуют лишь некоторые кратеры простого и сложного профилей. Значительное количество кратеров, имеющих сходную морфологию, не обнаруживает связи с разрывными нарушениями. Расположение большей части кратеров не зависит от очертаний и формы морских впадин.

Интересна неравномерность распределения послемедийских кратеров по возрастным категориям. Лучше всего она видна в современных морях, где обоснования возраста кратеров более достоверны. Так, в Заливе Зноя и восточной части Моря Дождей преобладают эратосфенские кратеры, а в Центральном Заливе и Море Паров — коперниковские. В прибрежной западной части Моря Спокойствия много эратосфенских кратеров, тогда как коперниковские мелки и немногочисленны. Дальше от берега количество крупных эратосфенских кратеров резко уменьшается, а коперниковских становится немного больше и они начинают преобладать. Скопление коперниковских кратеров (группа Янсена) выявляется на северо-востоке листа 60.

Обилие коперниковских кратеров, одновозрастных им трещин и выходов комплекса М указывает на относительно молодые геологические процессы в северной части Центрального Залива. Многолетние телескопические наблюдения (Марков, 1960) дают основания подозревать в некоторых трещинах и кратерах района современную вулканическую деятельность.

Таблица 3. Характеристика крупных сложнопостроенных кратеров

№ кратера, название, возраст							Дно и центральное поднятие *
d, км	df, км	h, км	H, км	h/d	H/d	df/d	
18	11	1,8	0,3—0,4	0,10	0,02	0,6	Дно пологохолмистое
19	10	2,2	0,4—0,5	0,12	0,02	0,6	Дно пологовогнутое. Удлиненное поднятие СВ простирается, соединяющееся на СВ с валом
22	12	2,7	0,7	0,12	0,03	0,5	Дно холмистое. Пологое меридиональное поднятие, смыкающееся со склонами на С и Ю
24	16	2,9	1,8	0,12	0,08	0,7	Дно холмистое. Большое и меньшее поднятия удлинены в меридиональном направлении и примыкают к склонам
25	14	2,5	0,4	0,10	0,02	0,6	Дно плоское. Небольшое округлое ЦП с маленьким (1,5 км) кратером на вершине находится в 3 части дна
27	13	1,8	0,3	0,07	0,01	0,5	Дно плоское. Удлиненное ЦП примыкает на ЮЗ к склону
28	15	2,9	1,3	0,10	0,05	0,5	Дно пологохолмистое. Овальное ЦП с маленьким (1 км) кратером на вершине слегка удлинено в меридиональном направлении
29	15	1,8	0,8	0,06	0,03	0,5	Дно плоское. ЦП имеет угловатые контуры, удлинено в СЗ направлении и на СЗ смыкается со склоном

Внутренние склоны кратера	Вал и поле выбросов вокруг	Особенности в прямом свете	Геологическая обстановка
Терраса в 3 части. Осложняющий овалыный (4 км × 7 км) кратер выгнут вдоль В склона	Без нарушений	Ярко светлое пятно на месте кратера и слабый венец лучей вокруг	Древний (Нр) гребень среди процелляриевой равнины с системами СЗ и СВ валов
Ровные	Маленький кратер на С	Светлый кратер и венец вокруг. Отдельные лучи не различаются	Среди алтайской равнины меридиональное небуляриевое поднятие с СВ и меридиональными разрывами
Ровные	Слабо выраженная полигональность; прямолинейные участки на СЗ, СВ и ЮВ вала. Пологие кратеры ($d = 6$ км) в Ю части наружного склона вала	Светлый вал	Небуляриевый комплекс, нарушенный многочисленными СЗ и меридиональными разрывами
Короткая терраса на СЗ	Слабо выраженная полигональность. Короткая цепь последовательно уменьшающихся кратеров начинается на гребне вала и отходит от него на С. Меридиональный разрыв рассекает вал на Ю	Светлые вал и ЦП	Доалтайские комплексы, нарушенные значительными СЗ разрывами
Террасы. Цепь мелких кратеров в основании 3 склона продолжается на С часть вала	Плохо различимое поле выбросов вокруг вала	Светлые вал и ЦП	Процелляриевая равнина с системой СЗ валов
Дуговые ступени на В и З склонах. Уступ последней переходит в разрыв, нарушающий ЮЗ часть вала	Округленно-полигональное очертание вала. Короткая меридиональная цепочка кратеров на 3 наружном склоне. Плохо различимое поле выбросов	Светлые вал и ЦП	Процелляриевая равнина с системами СЗ и меридиональных валов
Террасы	ЮЗ половина вала рассечена СЗ трещинами, продолжающимися и на поле выбросов, в которое вал постепенно переходит. На севере вала — небольшой пологий кратер	Ярко светлое пятно на месте вала и ЦП. Светлые днище вала и венец вокруг него. Отдельные лучи хорошо различимы. Они светлее на СВ от кратера	Пологое куполовидное поднятие медийско-процелляриевой поверхности. Валы и молодые трещины разных направлений. Непосредственно к СВ от Триснеккера — реликты небольшого гиппархского кратера
Ступени обрушения на З и В склонах	Маленькие кратеры на С и Ю гребня вала. U-образная дуговая трещина в основании В наружного склона. Вал резко отделяется от слабого поля выбросов. На Ю от вала отходит ЮЗ разрыв, оперенный меридиональными трещинами	Светлые вал и ЦП. Очень слабый светлый венец вокруг	Процелляриевая равнина с системами меридиональных, СЗ и СВ валов

Таблица 3 (окончание)

№ кратера, название, возраст							Дно и центральное поднятие *
d, км	df, км	h, км	H, км	h/d	H/d	df/d	
31	22	70 1,3	Риттер 0,2	Eg ₁ 0,04	0,01	0,7	Дно плоское с несколькими террасообразующими уступами. Небольшое ЦП удлинено в СЗ направлении
31	20	71 1,5	Сабин 0,7	Eg ₁ 0,05	0,02	0,7	Дно плоское. Два дугообразно изогнутых поднятия на З и В примыкают к склонам. Небольшое овальное ЦП посередине. Много мелких кратеров и КЦ на З и СВ
32	28	72 3,2	Годен 0,7	Eg ₂ 0,10	0,02	0,9	Дно плоское. Нарушено меридиональным сбросом. Дуговые террасообразующие уступы. Угловатое ЦП удлинено в меридиональном направлении и возвышается на 0,4—0,5 км
36	27	73 3,0	Агриппа 0,4	Eg ₂ 0,08	0,01	0,8	Дно плоское с СВ разрывами в З части. Меридиональный разрыв на В. Небольшое ЦП удлинено в меридиональном направлении, от него на ЮВ отходит короткая КЦ
39	23	74 3,4	Автолик 1	Eg ₂ 0,09	0,03	0,6	Дно пологохолмистое с несколькими меридионально удлинёнными поднятиями и мелкими пологими спаренными кратерами
40	20	75 2,8	Манилий 0,7	Kp 0,07	0,02	0,5	Дно постепенно переходит в вал и имеет неправильные очертания. Днище и ЦП рассечены меридиональным разрывом
45	33	76 3,2	Плиний 1	Eg ₂ 0,07	0,02	0,7	Дно плоское, на С пологохолмистое. Террасообразующие уступы чаще прямые, чем дуговые. Овальное ЦП имеет высоту 1 км. На его ЮЗ склоне — пологий овалный кратер (d = 6 км). От него на Ю отходит короткая U-образная борозда

* Принятые сокращения: ЦП — центральное поднятие; КЦ — кратерная цепь. Страны света обозначены буквами: С — север, северный; СЗ — северо-запад, северо-западный и т. д.

Внутренние склоны кратера	Вал и поле выбросов вокруг	Особенности в прямом свете	Геологическая обстановка
Терраса на В склоне. Меридиональный разрыв на СЗ склоне и соседней части днаща	Вал постепенно переходит в тонкий слой выбросов	Светлый вал	Часть изогнутой КЦ Сабина — Риттер на процелляриевой равнине. С СЗ и ЮВ подходят молодые СЗ разрывы. К валу Сабина с ЮЗ примыкает часть вала огромного донебуляриева цирка
Террасы в В половине. Меридиональные разрывы типа сбросов на В и ЮЗ	Вал постепенно переходит в тонкий слой выбросов. Выбросы покрыты небольшими (до 2—3 км) и совсем маленькими кратерами	Светлый вал. Яркие пятна маленьких коперниковских кратеров на С и СВ поля выбросов	
Склоны крутые с узкой террасой на В. U-образная трещина в основании В склона на юге пересекает вал	Слабо выраженная полигональность с прямолинейными участками на ЮЗ и СВ. Дуговая трещина с КЦ на СВ наружном склоне. От вала на СЗ к Годену А отходят два разрыва	Светлые вал и ЦП. Слабый, но протяженный светлый венец вокруг	Небуляриевый комплекс с СЗ разрывами
Террасы на З и В. Террасообразующий уступ на СЗ склоне к Ю переходит в продольную борозду	В З половине вала — прямолинейные меридиональные и СЗ участки. Поле выбросов слабо различается лишь на севере (на алтайской поверхности). От вала на ЮЗ отходит разрыв к Гигину А	Светлые вал и ЦП. Едва различимый светлый венец вокруг	Небуляриевый комплекс с СЗ и меридиональными разрывами
Плохо различные террасы	Вал четко отделяется от окружающего поля выбросов. КЦ многочисленны в С половине. Они простираются меридионально или на СЗ. Самые протяженные КЦ вытянуты вдоль уступа, ограничивающего Апеннины с СВ. Разрывы СЗ, СВ, реже меридионального направления	Светлый вал. Широкий светлый венец вокруг. Местами едва различимы отдельные лучи	Светлая алтайско-медийская поверхность с отдельными выходами небулярия. Выбросы Автолика перекрыты на севере выбросами Аристилла (Ег ₁ —Кр)
Уступы ограничивают плоские или наклоненные от центра ступени	Слабо выраженная полигональность СВ половины вала. Вал четко отличается от окружающего поля выбросов. В пределах последнего — разноориентированные пологие уступы, борозды. КЦ, чаще всего направленные от вала. Несколько четких небольших кратеров на В	Яркое пятно на месте кратера. Венец вокруг него немного темнее. С удалением от вала начинают различаться отдельные лучи	Алтайский комплекс, рассеянный СЗ разрывами. На З — процеллярий и комплекс М, покрывающий кратерные лучи
Склоны крутые. На ЮЗ — террасообразующий уступ	Вал рассечен СЗ и меридиональными разрывами, продолжающимися и на окружающее поле выбросов. В восточной половине вала — дуговые борозды с кратерами и продольными КЦ. Пологие кратеры примыкают снаружи к южной части вала. Поле выбросов пологобугристо. По мере удаления от вала его рельеф становится все положе. Полигональные очертания северной части вала (СЗ и СВ обрезаки)	Светлый вал. Яркие венцы лучей отходят от молодого (Кр) кратера на склоне ЦП и небольшого кратера (Кр) на СВ склоне вала	Процелляриева равнина. К западу от цирка — небуляриевый выступ

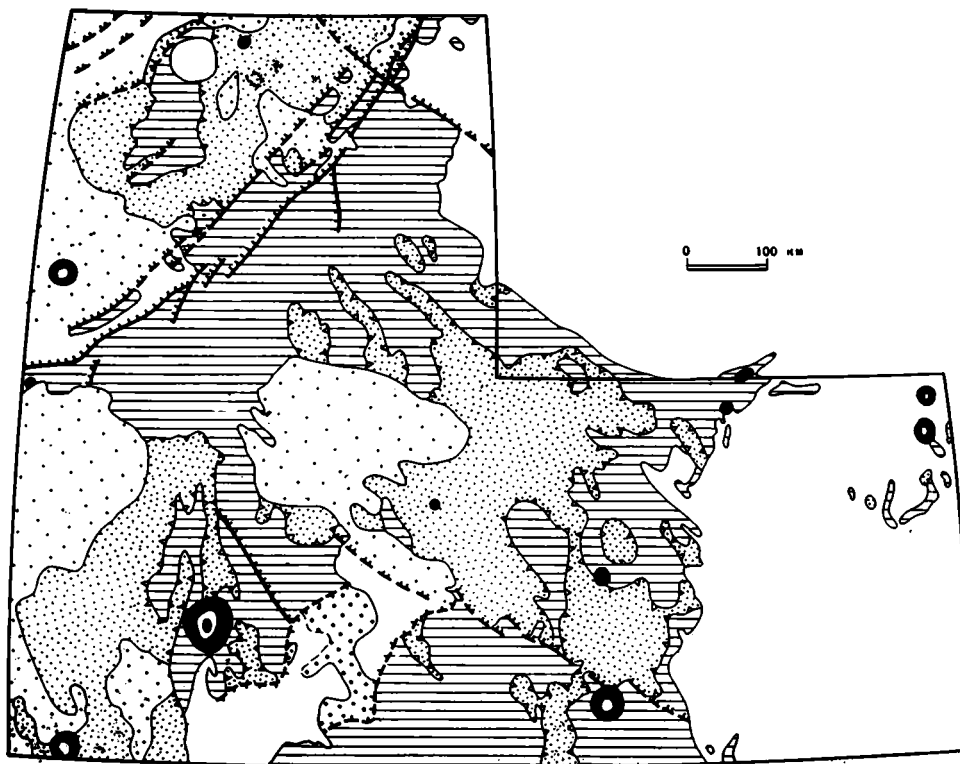
Древнейшие образования района не поддаются стратиграфическому расчленению. Можно лишь утверждать, что в ту эпоху возникали кратерные формы, сходные с более молодыми. Небуляриевый комплекс, имеющий относительно широкое площадное распространение, по-видимому, накапливался в древних морских впадинах. Одновременно с ним и позднее формировались кратеры гиппархского комплекса. Древнейшие образования Апеннин и Кавказа ограничивают Море Дождей почти непрерывной дугой. Возможно, эта дуга, продолжающаяся в Альпы, является остатком береговой кордильеры небуляриевой морской впадины, которая частично совпадала с впадиной Моря Дождей. Ко времени образования алтайского комплекса закладывается примерно в современных очертаниях гигантская впадина Моря Дождей. Оформляется пояс береговых кордильер, наметившийся в небуляриевое время. Образуется прерывистый пояс морских впадин в их тыловой части. Одновременно возникают системы разрывов, почти целиком определившие структурный рисунок материковых областей рассматриваемого района. На образование, направление и характер перемещений по разрывам решающее влияние, вероятно, оказывали длительно действовавшие горизонтальные тектонические напряжения с меридиональной осью наибольшего сжатия.

Алтайский комплекс заполняет Море Дождей и впадины периферического пояса (рис. 30). В районе Моря Паров от этого пояса ответвляется на юго-восток широкий морской прогиб, ограниченный с севера горами Гем, а с юга — системой уступов между Укертом и Дионисием. Юго-восточнее морской прогиб, возможно, соединялся с гигантской кольцевой впадиной древнего Моря Нектара. Хотя многие разрывы перекрыты алтайским комплексом, все основные системы древних нарушений продолжали развиваться до конца алтайской эпохи. Пояс особенно мощных разломов протягивался от Моря Дождей на юго-восток. Крупные птолемеевские кратеры не характерны для рассматриваемого района. Многочисленные цепочки мелких гиппархских и птолемеевских кратеров чаще всего ориентированы субмеридионально — поперек к направлению относительного растяжения.









Медийский комплекс залегает на алтайском, наследуя области его накопления. Исключением в этом отношении является северо-восточная часть Центрального Залива (см. рис. 30). В конце алтайской эпохи здесь происходят крупные опускания по системе северо-восточных разрывов. Возникшая на древнем основании грабенообразная впадина покрывается медийским комплексом. Процелляриевый комплекс обычно выполняет те впадины, в которых прежде накапливались алтайские и медийские образования. Продолжается погружение Моря Дождей и периферического пояса, воздымаются береговые хребты. Алтайский прогиб района Юлия Цезаря вовлекается в материковое поднятие.

Самый молодой морской комплекс М чаще всего формируется в процелляриевых морях, но иногда заполняет и небольшие материковые впадины. Одновременно с накоплением процеллярия и комплекса М образуются кратеры архимедовского подкомплекса, эратосфенского и коперниковского комплексов.

Некоторые молодые разрывы и кратерные цепи наследуют направления древних нарушений, хотя большая часть последних отмирает. Возникают новые системы разрывов: протяженные меридиональные трещины



30. Палеоструктурная схема алтайского этапа развития района

-  — птолемеевские кратеры;
-  — поднятия лунных материков, где алтайский комплекс не накапливается или накапливается на небольших участках;
-  — впадины лунных материков, где накапливается алтайский комплекс;
-  — возможные области накопления алтайского комплекса, скрытые процеллярием;
-  — процелляриевые моря с неизвестным субстратом;
-  — доалтайские сбросы, оказавшие существенное влияние на распространение алтайского комплекса (некоторые сбросы позднее обновились);
-  — поперечная медийская грабенообразная впадина на алтайском поднятии;
-  — зоны разрывов по краям медийской грабенообразной впадины.

В качестве топоосновы использована «Фотокарта видимого полушария Луны» (1967)

западного края Моря Спокойствия и система запад-северо-западных нарушений. Крупнейшие разрывы этой системы — грабены Аридея и Гигина — параллельны южным береговым уступам алтайского морского прогиба.

Итак, история региона содержит примеры как длительного унаследованного развития, так и новообразования структурных форм. Одним из важнейших результатов проделанной работы представляется выявление многоактного и унаследованного развития впадины Моря Дождей и ее обрамления. Но означает ли эта многоактность геологическую длительность процесса?

Вопрос о возрасте пород Луны не получил у исследователей однозначного решения. Ю. М. Шумэкер (Shoemaker, 1964; Shoemaker a. oth., 1966) и Дж. П. Кейпер (Kuiper a. oth., 1966) предполагают, что формирование почти всей поверхности Луны, в том числе морских впадин, приходится на начало ее геологической истории (3—4·10⁹ лет назад). Вся последующая история развития свелась к образованию ударных кратеров. Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1944, 1945) считал, что основные структуры Луны сформировались при затвердевании ее поверхности и непосредственно вслед за образованием первичной коры.

Такая трактовка геологической истории Луны представляется сомнительной.

Кратковременные изменения на Луне, признаки выделения газов и температурные аномалии многими (Марков, 1960; Козырев, 1963) истолковываются как свидетельство активной современной геологической жизни Луны. По-видимому, коперниковский кратерный комплекс и морской комплекс М продолжают формироваться до сих пор. Близки к ним по времени образования эратосфенский и процелляриевый комплексы. В соответствии с этим «растягивается» время формирования более древних комплексов лунных пород. Многоактное унаследованное развитие морских впадин предстает как длительный процесс, охватывающий многие десятки, а может быть сотни миллионов лет. Нет оснований предполагать и спад интенсивности геологических процессов со временем. Все это является аргументом в пользу эндогенного происхождения структур типа Моря Дождей.

Литература

Артур Д. У. Дж.

1963. Визуальные наблюдения Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.

Барабашов Н. П.

1960. Альbedo и цвет лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

Гвовский М. В.

1963. Основные вопросы тектонофизики и тектоника Байджансайского антиклинория. Ч. 3—4. М., Изд-во АН СССР.

Козырев Н. А.

1963. Спектральные доказательства существования вулканических процессов на Луне.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.

Лукьянов А. В.

1966. Структурные проявления горизонтальных движений земной коры.— Труды Геол. ин-та АН СССР, вып. 136.

Марков А. В.

1960. Описание лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

- Суханов А. Л., Трифонов В. Г.**
1967. Геолого-морфологическое картирование Луны (Методика) и результаты исследований.— Астроном. вестник, № 4.
- Трифонов В. Г.**
1967. Позднепалеозойская структура Северного Прибалхашья и ее происхождение.— Труды Геол. ин-та АН СССР, вып. 175.
- Фотокарта видимого полушария Луны.** М. 1 : 5 000 000. Научный руководитель Ю. Н. Липский, М., изд-во «Наука», 1967.
- Хабаков А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Baldwin R. B.**
1942. The meteoritic origin of the lunar craters.— *Popul. Astron.*, 50.
1949. The face of the Moon. Chicago. Univ. Chicago Press.
- Bülow K. von.**
1958. Lunare und tellurische Fundamentaltettonik.— *Wiss. Z. Univ. Rostock, Math.-naturwiss. Reihe*, 8.
- Darney M.**
1933. Le system Imbrian.— *Bull. Soc. astron. France*, 47.
- Fielder G.**
1961. Structure of the Moon's surface. London, Pergamon Press.
1963. Lunar tectonics.— *Quart. J. Geol. Soc. London*, 119, N 1.
1964. Strike-slip faulting in the Vaporum region of the Moon.— *Quart. J. Geol. Soc. London* 120, N 478, pt 2.
- Firsoff V. A.**
1959. Strange world of the Moon. London.
1961. Moon Atlas. London.
- Gilbert G. K.**
1893. The Moon's face. — *Bull. Philos. Soc. Washington*, 12.
- Hackman R. J.**
1960. Generalized photogeologic map of the Moon. In: «Engineer special study of the surface of the Moon». Washington, U. S. Army Map Serv.
- Hartmann W. K.**
1963. Radial structures surrounding lunar basins.— *Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona*, 2.
- Hartmann W. K., Kuiper G. P.**
1962. Concentric structures surrounding lunar basins.— *Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona*, 1, N 12—13.
- Kuiper G. P.**
1965a. Interpretation of Ranger VII records. Ranger VII. Technical Rept. Pt. II. Pasadena, California.
1965b. The surface structure of the Moon.— In: The nature of the lunar surface. IAU-NASA Sympos. Baltimore, 1965.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
1966. Interpretation of the Ranger records. Ranger VIII and IX. Technical Rept. Pt. II. Pasadena, California.
- Le Roy L. W.**
1961. Lunar features and lunar problems.— *Bull. Geol. Soc. America*, 72, N 4.
- Loewy M., Puisieux P.**
1896—
1906 Atlas photographique de la Lune avec index général. Paris.
- Lunar chart.** Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington. Publ. Aeronaut Chart and Informn. Center U. S. Air Force, 1960—1964.
- Morris E. C., Wilhelms D. E.**
1965. Preliminary geologic map of the Julius Caesar Quadrangle. Washington, U. S. Geol. Surv.
- Puisieux P.**
1908. La Lune et la Terre. Paris.

- Rowan L. C.**
1966. Orbiter observation of the lunar surface.— In: «The physics of the Moon». Amer. Astronaut. Soc. Washington.
- Schmidt J. F.**
1866. Ueber Rillen auf dem Monde. Leipzig.
- Schrutka-Rechtenstamm G., Hopmann J.**
1958. Die Figur des Mondes.— Sitzber. Osterr. Akad. Wiss., Math.-naturwiss. Kl., Abt. II, 167, H. 5.
- Shoemaker E. M.**
1964. The geology of the Moon.— *Scient. Amer.*, 211, N 6.
- Shoemaker E. M., Hackman R. J.**
1962. Stratigraphic basis for a lunar time scale.— In: «The Moon» (Internat. Astron. Union Moon Sympos. N 14, 1960). London, Acad. Press.
- Shoemaker E. M. a. oth.**
1966. Progress in the analyses of the fine structure and geology of the lunar surface from the Ranger VIII and IX photographs, Ranger VIII and IX, Technical Rept № 32-800, Pt 2. NASA, Pasadena, California. Inst. Technol.
- Spurr J. E.**
1944. Geology applied to selenology. I. The Imbrian Plain Region of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
- Urey H. C.**
1952. The planets. Oxford.
- Whitaker E. A.**
1965a. Further observation on the Ranger VII records. Ranger VII (Technical Rept), Pt II, Pasadena, California.
1965b. The surface of the Moon.— In: The nature of the lunar surface. IAU-NASA Sympos. Baltimore, 1965.

Древние моря Луны

А. Л. Суханов

В статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова («Методика и легенда...») показано морфологическое сходство древних морей с современными. Задача настоящей статьи — проследить распространение древних морей по диску Луны и постараться объяснить их происхождение и особенности.

Для того чтобы проследить распространение древних морей, необходимо сначала пересмотреть литературные данные; оказывается, что древние моря уже описывались, но под другими названиями, и для них предполагались иные механизмы образования. Давно известно, что кратеры с частично уничтоженными валами широко распространены в пределах материков. Большое количество таких структур описано Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1944—1950). Эти образования встречаются в районе Моря Холода, преимущественно в его западной части; в районе, расположенном к западу от Тихо и вблизи южного полюса. Вообще примеры таких кратеров Дж. Е. Спёрр описал для всего видимого полушария Луны, но он считает, что в упомянутых районах процессы «переплавки» поверхности развиты наиболее интенсивно, поскольку здесь отмечаются исчезновения разрывов, сглаживание поверхности и т. д. У одних кратеров «переплавление» наблюдается только на площади днища, как, например, у Платона; у других валы разбиты разрывами и их отдельные блоки опущены и перекрыты (Бирмингем); у третьих валы почти исчезли в зоне сплошной «переплавки», как, например, валы кратеров В. Бонд или Дж. Гершель в зоне, протягивающейся до кратера Филолай. Наконец, от валов некоторых кратеров остались только «хвосты» (валы, переходящие в гребни), в которых едва угадывается прежняя форма, как у группы Агатархида. При этом для светлых «переплавленных» районов предполагается кислый состав коры, а для темных морских участков — основной состав. Промежуточные тона образуются в этом случае за счет смешения разных расплавов или при перекрытии сиалического материка тонким покровом базальта. Надо отметить, что иногда Дж. Е. Спёрр, рассматривая кратер-полумесяц, считал, что недостающая часть вала просто уничтожена частой сеткой разрывов (древние кратеры Кавказа).

Зоны «расплавления и заливания» в пределах материков были выделены недавно Дж. П. Кейпером и В. К. Хартманом (Hartmann, Kuiper, 1962). Это огромные округлые впадины с береговыми кордильерами, иногда со светлым дном. Наиболее характерная из них — Море Восточное. Оно обнаруживает по крайней мере три концентрические кордильеры. Их слагают материковые породы, и только в центре моря лежит неправильное пятно морских образований. Другая такая структура диаметром в 350 км расположена между Шиллером и Фосилидом. Местность внутри кольцевого уступа несет следы затопления — отдельные кратеры погружаются под ровную темно-серую поверхность. Яркость пород, слагающих эту впадину, несколько ниже, чем у пород материка, но выше, чем у пород современных морей (рис. 1). Вокруг Моря Кризисов прослежены обрывки кольцевого уступа, внутри которого материк также носит следы затопления (впрочем, при движении к внутреннему уступу рельеф местности становится более высоким и расчлененным). Такие же кордильеры, аналогичные кордильерам современных морей, видны между Морем Восточным и цирком Байли и вокруг этого цирка, также вокруг морей Краевого, Гумбольдта, Смита. К этому же типу впадин относятся структуры кратеров Жансен, Гримальди. Дуговое расположение, характерное для кордильер, намечается в горах Лейбница. Поперечник таких колец составляет 300—600 км.

Талассоиды обратной стороны Луны напоминают круговые моря (диаметры порядка 400 км). Ю. Н. Липский и его сотрудники (1966) считают талассоиды «сухими» впадинами, избежавшими затопления. Но признаки перекрытий в них все же есть. Так, в 400-километровой впадине в центре обратной стороны виден продолговатый блок, выступающий над ровным дном (Rowan, 1966). На дне вокруг блока нет разломов, очевидно, потому, что они перекрыты позднейшими покровами. В другом талассоиде виден кратер-полумесяц, типичный для залитых областей. Еще один пример относится к видимой стороне Луны. Это 250-километровая круговая впадина Деландр (к югу от Моря Облаков). Ее яркость и характер рельефа такие же, как у всего материка вокруг Тихо. Но при этом несомненно, что дно впадины некогда было морской поверхностью или, во всяком случае, было перекрыто какими-то отложениями. Очевидно, что полумесяц кратера Лексель на юге этой впадины погружается к северу под древнюю морскую поверхность, которая в настоящее время выглядит как материковая. Точно так же разрывы, секущие борта этой депрессии, не продолжают на ее дно или продолжают в виде цепочек кратерных образований (рис. 2).

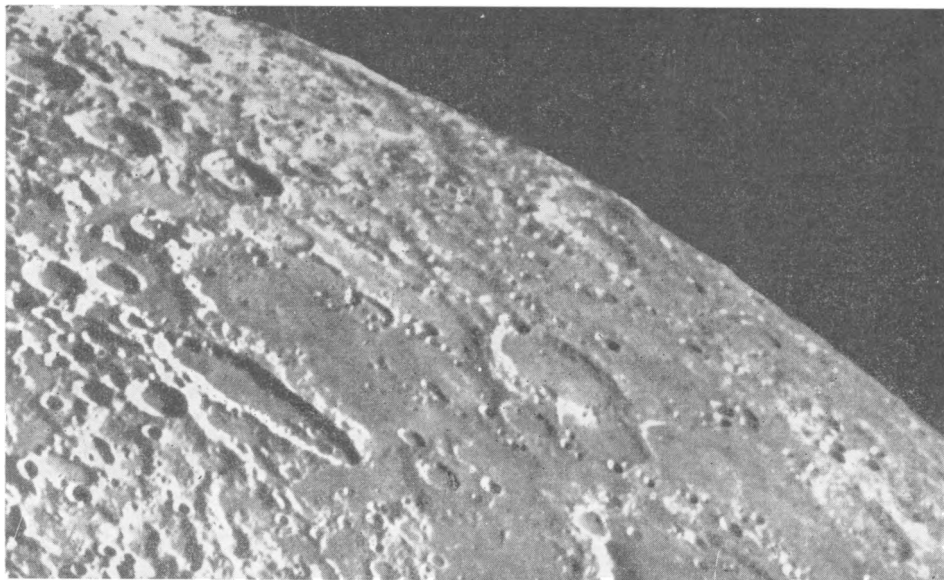
Круговые депрессии краевой зоны Луны, так же как Алтайское море и талассоиды, легко опознаются по кольцевым уступам. Ни по яркости, ни по цвету, ни по количеству молодых кратеров дно такой впадины не отличается от материка. Если бы не береговая кордильера, Алтайское море, возможно, и сейчас считалось бы первозданным материком, так как погребенный рельеф здесь плохо различается.

Между тем среди современных морей правильные круговые очертания не так уж часты: хорошо ограничены только Море Кризисов, Море Ясности и Море Влажности, да и то последнее изобилует заливами на низких берегах. Большинство берегов не образует резкого уступа или кордильеры. Поэтому при поисках древних морей следует руководствоваться всем комплексом признаков: однотипный рельеф и сглаженная поверхность; сложнофестончатые, но четкие границы с древними, относительно поднятыми глыбами; полупогруженные цирки-полумесяцы; останцы доморских обра-

зований с разрывами, гребнями и т. д. Валы и купола хотя и характерны только для морей, на древних морях могут не различаться, так как малая высота и расплывчатые границы затрудняют их поиски даже на современных морях. Видимо, поэтому они должны быстро перерабатываться позднейшими процессами и утрачивать свой характерный облик.

Наиболее вероятно широкое развитие древних морей восточнее нулевого меридиана. Здесь, особенно в районах к югу от 30° ю. ш., глазам предстают равнины, изрытые кратерами. Между кратерами, иногда сравнительно редкими, равнины сохраняют единый уровень, спокойный рельеф, однородную степень яркости. Местами над этой поверхностью поднимаются небольшие холмы и гряды, но очертания их довольно расплывчаты и трудно точно сказать, какого они происхождения. Относительно этих равнин А. В. Хабаков (1949) предлагает два объяснения: либо это бывшее море, приподнятое и изъязвленное позднейшими цирками, либо древний материк, пенепленизированный в равнину и одновременно (или впоследствии) усаженный цирками. А. В. Хабаков склоняется ко второму предположению.

Но известно, что в других областях Луны при движении от молодых формаций к древним структура поверхности все более усложняется. Характерная имбрийская (или гиппархская) скульптура образуется наложением двух-трех систем разломов разного возраста на древние кратеры, с вертикальными и горизонтальными перемещениями материала, образованием гребней, блоков и т. д. Некоторые наблюдатели называют эту поверхность «шагреновой» — именно так выглядит подобный рельеф при малых увеличениях.



1. Юго-западный край видимого диска Луны. На плоскогорье видны полузатопленные полумесяцы кольцевых валов, хотя перекрывающие образования по яркости непохожи на морские (сверху вниз)

Кроме того, если считать эту равнину пенепленом, то необходимо сначала подобрать правдоподобный механизм пенепленизации, т. е. горизонтального переноса материала при отсутствии гидросферы и атмосферы. Подробно этот вопрос рассматривался для пылевых покровов, но гипотеза пылевых покровов сейчас находит мало сторонников. Осыпание действительно переносит материал, но на сравнительно небольшие расстояния, так как оно приостанавливается при достижении углов естественного откоса сыпучих тел. Переเมшивание вещества ударами метеоритов и вулканических бомб скорее даст рельеф холмов, выбоин и валов, чем такие выглаженные равнины.

Американскими учеными рассматривались два района южного полушария. Выделены эти районы А. С. Мейсоном и Р. Дж. Хэкманом (1963) по «степени подобия или отличия особенностей поверхности, по степени сохранности, степени измененности, по типу поверхностного материала, по типу склонов, поднятий и структурных нарушений». Эти территории хорошо выделяются и на карте, составленной в Астрономическом институте им. Штернберга. Один из этих районов, так называемая Равнинная Кратерная Провинция, расположенная к востоку от кратера Мавролик, был подвергнут статистическому анализу для выяснения частоты кратеров разных размеров. Эта обработка показала, что число кратеров с диаметром менее 12—12,5 км аномально мало. Исследователи, проводившие обработку (Dodd a. oth., 1965), считают, что объяснить это можно, только допустив, что все меньшие кратеры были погребены под каким-то покровом. В таком случае мощность покрова должна достигать 200—400 м между залитыми кратерами и до 1—1,5 км внутри них. Разумеется, возможно, снижение числа кратеров малых диаметров в какой-то степени явилось одной из причин выделения Равнинной Кратерной Провинции, и тогда имеется риск попасть в порочный круг, утверждая, что здесь есть покров. Но в таком случае, как объяснить сам факт уменьшения количества кратеров в строго очерченной области?

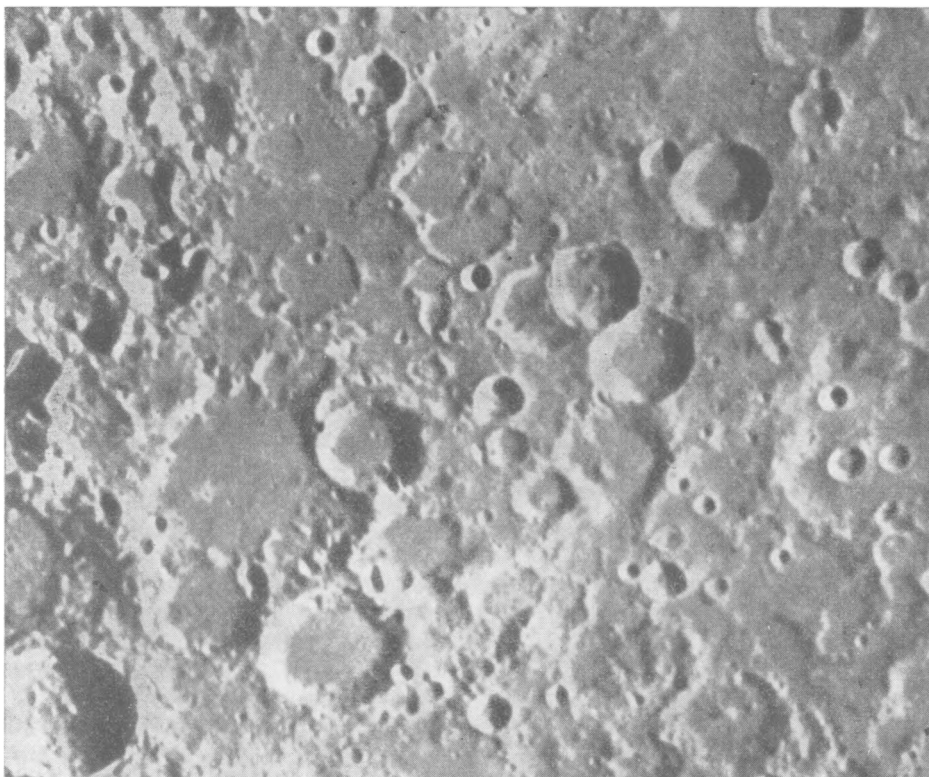
Эти ученые отклоняют гипотезу о пылевом покрове на основании того, что описанный район не является впадиной, скорее представляет собой плоскогорье. Предложение о возникновении покрова из обломков крупного извержения не находит себе подтверждения из-за отсутствия поблизости самого центра извержения. За наимением лучшего ими принята гипотеза пепловых потоков, засыпавших район. Однако пепловые потоки также должны быть увязаны с какими-то центрами; на Земле они могут заполнять вулканотектонические депрессии, но не распространяются на такие большие территории. Эта гипотеза заслуживает самого серьезного внимания, но пока все описанное легче объяснить тем, что в определенный период данная область была морем, т. е. была перекрыта 200—400-метровой толщей лав, впоследствии осветленных, как и в Алтайском море.

На северо-востоке Равнинная Кратерная Провинция смыкается с Алтайским морем, а на севере — с Центральной Кратерной Провинцией. Последняя характеризуется сходным рельефом (рис. 3), таким же дефицитом кратеров малых размеров и на севере граничит с областями, где древние моря выделены при картировании масштаба 1 : 1 000 000. По всей области от экватора примерно до 40° ю. ш. видны реликты фундамента и прихотливые границы морей.

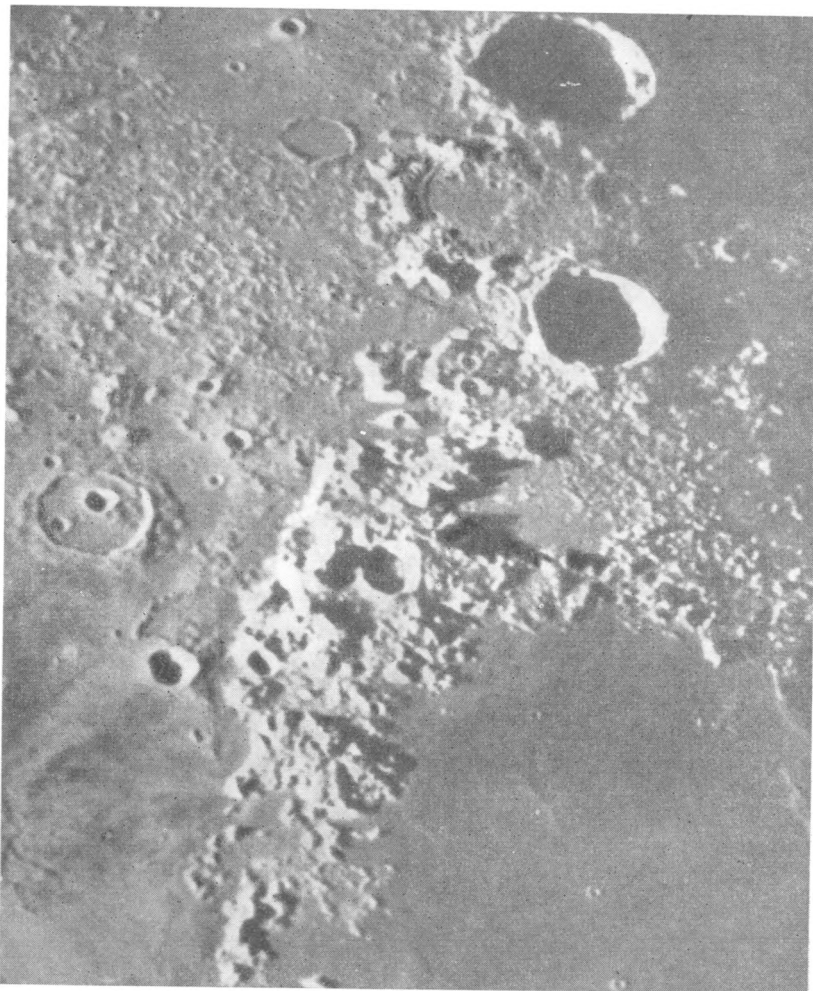
Рельеф «морского» типа распространяется также к югу от Алтайских гор и к востоку вплоть до Моря Изобилия. Таким образом, получается, что круговое Алтайское море окружено за кордильерой поясом «мелких»



2. Кратер Лексель, погружающийся под светлую поверхность «материкового» облака



3. Подтопленный кратерный рельеф на материке в районе кратера Ибн Эзра
Обратите внимание на левую верхнюю четверть снимка: здесь хорошо видны реликты кратерных колец, выступающие из-под материковой поверхности



4. Кавказский хребет. Там, где хребет переходит с моря на материк, виден цирк Александр. Восточная (правая) часть цирка перекрыта мелкобугристой поверхностью. Такой же цирк виден севернее, между Аристотелем и Евдоксом

морей того же возраста. Точно так же Море Дождей связано с периферическим поясом опусканий: Море Холода — Море Паров — Залив Зноя.

Д. П. Эльстон (Elston, 1965) приводит схему стратиграфических соотношений в районе между Морем Нектара, Морем Спокойствия и Морем Изабилия (Пиренеи). Согласно этой схеме, на древних материковых породах лежат кратерные образования более молодого возраста (соответствующие гиппархским и птоломеевским). Часть этих кратеров в свою очередь перекрывается материковым веществом. По-видимому, в данном случае речь идет о более широком распространении собственно Алтайского моря.

Некоторые места материка к югу и юго-западу от Моря Облаков также производят впечатление «подтопленных», например промежутки между цирками Клавий и Магин или равнина к юго-западу и западу от Лонгомонта. Гребни, холмы и кольцевые валы здесь часто низкие, хорошо отделяющиеся от окружающей местности по их подножию. Особенно хорошо это видно на стереопарах. Но надо сказать, что определенных свидетельств наличия каких-либо покровов в этом районе пока нет; все наблюдаемое может быть объяснено выбросами из Тихо и других молодых кратеров. Район надо еще изучать, и если найдутся определенные реликты древнего моря, например, в окрестностях Клавия и Магина, то это будет догиппархское море (гиппархские кратеры врезаны в эту поверхность). Догиппархским материалом сложены также края упоминавшейся выше депрессии Деландр, так как кратер Лексель, перекрывающий край депрессии, сам перекрыт древним (алтайским?) морем, т. е. имеет возраст не моложе гиппархского. Более молодой возраст имеет, вероятно, поток, переливающийся через вал Варгентина.

Перекрытые участки кольцевых гор встречаются не только среди гладких равнин. На восточном склоне северной половины Кавказа различаются два сильно разрушенных кольцевых вала: цирк между Аристотелем и Евдоксом и цирк Александр южнее Евдокса (рис. 4). Оба они наклонены на восток, от гребня Кавказа в сторону окружающего бугристого плоскогорья. Эта мелкобугристая поверхность распространяется на месте опущенных восточных краев кольцевых валов и захватывает часть пространства внутри валов. Степень дислокаций на Кавказе весьма значительна, и поэтому трудно определить возраст этих цирков, но взаимоотношение плоскогорья с цирками трудно истолковать иначе, чем перекрытие. В противном случае непонятно, почему сохранились западные части валов, поднятые на гребень Кавказа и, очевидно, сильнее раздробленные, в то время как восточные части исчезли. Сам хребет Кавказа приподнят над окружающим плоскогорьем и как бы выступает из него; правда, это может быть следствием позднейших движений по разрывам. Холмистая равнина вокруг северного конца Кавказа, очевидно, приобрела свой современный вид после неоднократного наложения разнонаправленных разломов, останцы между которыми превратились в мелкие холмы. Так что, возможно, она является морем, более древним, чем Алтайское.

Таким образом, по структурно-морфологическим признакам значительная часть материковых пространств должна быть отнесена к древним морским областям. С другой стороны, по яркости они не отличаются от материков. Поэтому многие авторы считали, что материковые и морские массы хотя и были одинаково расплавлены в свое время, но состав имели разный, что и дало разную яркость. Однако еще Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1944—1950) была намечена зависимость яркости морей от их возраста,

а именно: чем древнее лавы морей, тем они светлее. Он разделил морские образования на три группы. Эти группы отчетливо видны на современных фотографиях. Наиболее молодые являются и наиболее темными («чернильные» пятна). Эти сравнительно небольшие, по несколько десятков километров, образования перекрывают все более древние комплексы — и морские, и кратерные (лучевые). Иногда для них как будто устанавливается предположительная связь с мелкими кратерами и трещинами (таковы темные пятна вдоль трещины Гигина). Между ними и более древними морскими площадями укладывается промежуток времени, равный целому периоду кратерообразования.

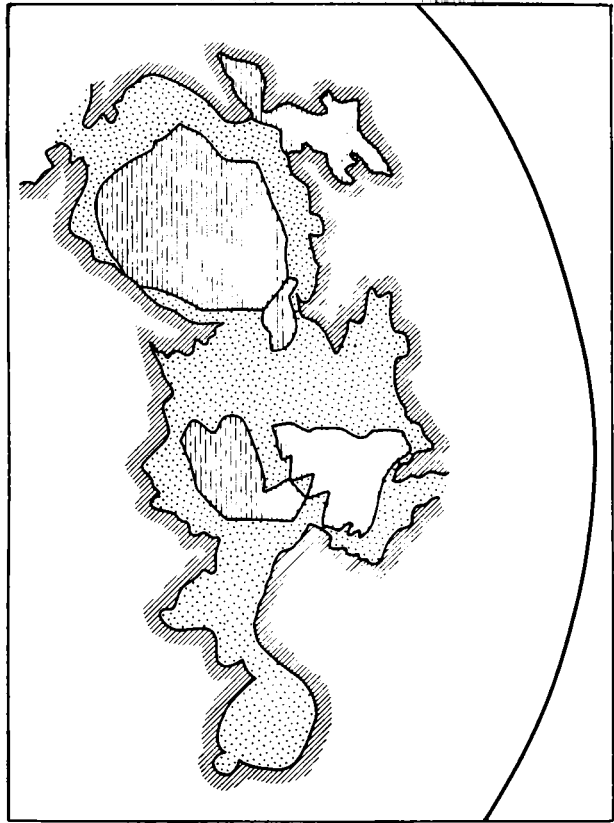
Средняя группа («лавы Моря Спокойствия») несколько светлее. Эти образования слагают большую часть Моря Спокойствия, Моря Нектара, а также части Моря Ясности и Моря Облаков, располагаясь преимущественно по краям морей (рис. 5). Светлые лучи эратосфенских кратеров местами перекрывают эти поверхности, но иногда «поглощаются» ими, очевидно перекрываясь. Это свидетельствует либо о длительности периода образования эратосфенских кратеров, либо о длительности образования лав средней группы. Возможно, конечно, что и то и другое происходило одновременно.

Самая древняя часть морей — центральные участки Моря Ясности, Моря Спокойствия и т. д., перекрытые лучами эратосфенских кратеров; они являются самыми светлыми из всех морских образований («лавы Моря Ясности»).

Изучая фотографии одного и того же места, снятые при разном освещении, можно убедиться, что имеются материковые участки, почти не отличающиеся по яркости от лав Моря Ясности. В свою очередь эти участки не имеют четких границ с более яркими материковыми областями. Та же тенденция наблюдается и для днщ залитых кратеров. Кратеры, которые, судя по структурным признакам, залиты недавно, имеют темное дно; древние днища кратеров обычно столь же ярки, как и весь материк.

Таким образом, по рельефу можно выделить древние моря самого разного возраста и яркости, разбросанные по всему лунному диску (рис. 6). Можем ли мы сказать что-либо об их происхождении и составе? Общий механизм возникновения древних морей вряд ли сильно отличается от механизма образования молодых морей, как это следует из морфологических данных. Но в вопросе о составе вещества одна из основных трудностей — это различная светлота морей от древнейших к современным.

Для объяснения этого явления есть два пути: либо считать, что в каждом периоде образуются лавы иного состава (чем древнее, тем кислее), либо допустить, что со временем поверхность лав осветляется. Первое выглядит несколько необычно с геологической точки зрения: неуклонная смена кислых лав все более и более основными на протяжении, по-видимому, огромных отрезков времени. Поэтому второе предпочтительнее. Естественная предубежденность против такой возможности основана на повседневном опыте, говорящем, что разная яркость и цвет обусловлены разным вещественным составом. Однако, как отмечено А. В. Марковым (Луна, 1960), достаточно ничтожной поверхностной пленки, чтобы скрыть первоначальный цвет породы. А кроме яркости и цвета породы морей и материков Луны почти ничем не отличаются. Так, форма кривой поляризации отраженного света в общем одинакова для морей и материков, различаясь только экстремальными значениями (Dolfus, 1965). Эти кривые указывают на однородность верхних миллиметров лунных покровов. Специфическая



5. Распространение лав различного возраста в Море Ясности, Море Спокойствия и Море Нектара (по Дж. Е. Спёрру)

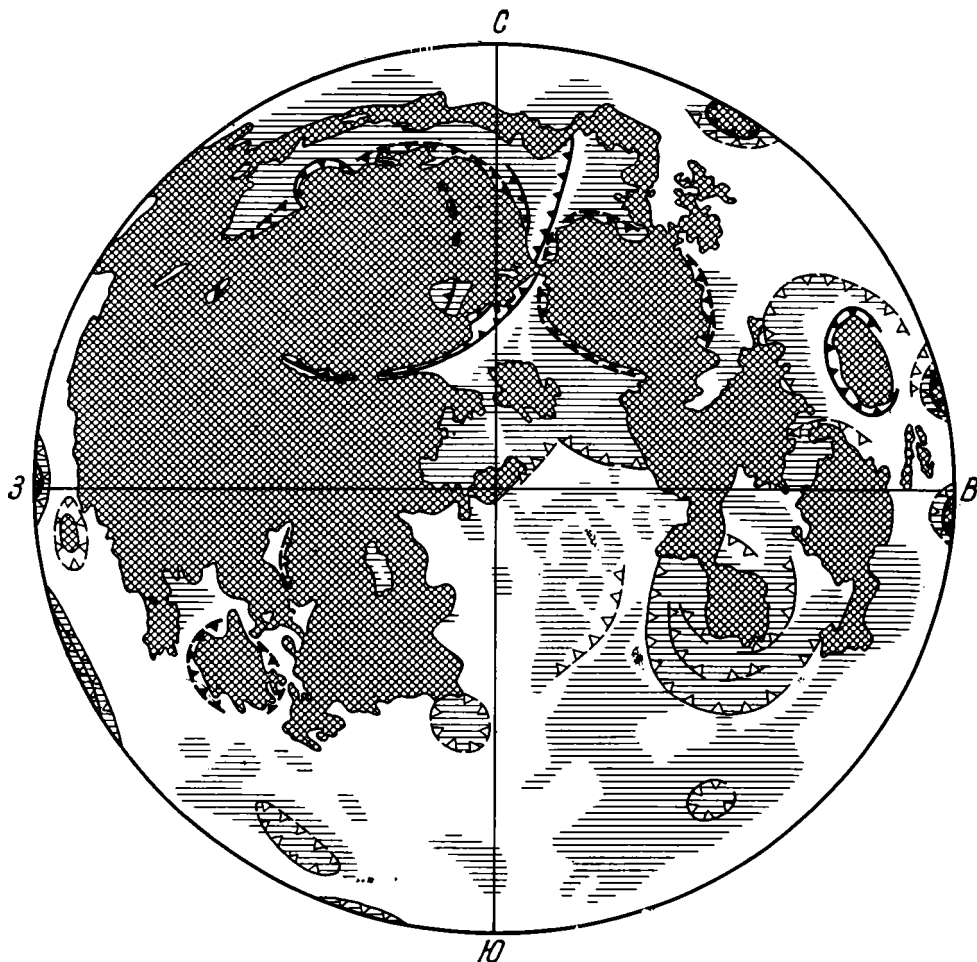
Заштрихована наиболее древняя группа лав, точками покрыта средняя группа

лунная индикатрисса рассеяния присуща в равной мере как морям, так и материкам. От места к месту эта кривая меняется незначительно, различаясь, как и кривые поляризации, только по пиковым значениям (Федорец, 1952). Из этого следует, что весьма своеобразная структура лунной поверхности, дающая такое рассеяние, характерна и для морей, и для материков. Индикатрисса рассеяния, по-видимому, характеризует степень изрытости верхних сантиметров лунного вещества.

Более того, радиофизические наблюдения (Троицкий, 1963б; Кротиков, Троицкий, 1963; Лосовский, Саломонович, 1965) показывают, что однородность лунной поверхности распространяется в глубину по крайней мере до 30 см. При этом параметры пород на соседних площадях морей и материков отличаются мало (сравниваемые участки имеют поперечник порядка 200—300 км). И даже это небольшое различие, видимо, надо объяснить скорее изменением структуры, степени раскристаллизованности, нежели изменением состава. Необходимо оговориться, что радиозондирование отдельных участков (а не всей Луны) проведено пока только для экваториального пояса, в котором материков мало и они заметно переработаны заливами и болотами. Так или иначе светлота материков остается пока главным препятствием для признания родства материков и морей.

Но прежде чем перейти к вопросу об осветлении морей, надо остановиться на существующих представлениях о природе различий лунных морей и материков. Так, предполагалось, что материка — это кислые блоки, в которых очаги основных магм «прогрызают» впадины темnodонных кратеров (Miyamoto, 1959; Tazieff, 1965). Предполагалось также, что не только кратеры, но и все моря есть результат проплавления всей лунной коры до самой поверхности (Spurr, 1944—1950). Древние блоки и кратерные кольца должны были плавать в этом расплаве наподобие айсбергов. Мы мало знаем о возможности сплошного расплавления поверхности на огромных площадях, будь то на Луне или на Земле; но даже если оно принципиально возможно, то вряд ли оно было причиной лунного мореобразования. Тонкие гребни затопленных кратеров в морях часто имеют правильные очертания, без искажений; ряд разобщенных останцов обычно сохраняет единую систему разрывов. Если бы это были «плавающие» блоки кислой коры, то они должны были бы поворачиваться, а кольца кратеров вряд ли могли остаться правильными кругами, так как при «плавании» они растянулись бы. Также непонятно, почему одни светлые блоки в морях высоко подняты, а другие почти целиком погружены. По-видимому, такая маловероятная гипотеза понадобилась для того, чтобы согласовать две вещи: с одной стороны, очевидные свидетельства того, что местность когда-то заливалась расплавленным материалом, с другой — предположение о кислом составе материков (как правило, кислые лавы недостаточно жидки, чтобы образовать протяженные покровы и залить кратеры; во всяком случае, они считаются недостаточно жидкими). Если же материк покрыт, по крайней мере в отдельных участках, основными лавами, то незачем прибегать к гипотезе переплавки. Кстати, если уж говорить о светлоте, то по коэффициенту отражения материк соответствует как раз основным и даже ультраосновным породам, а не кислым, которые в среднем вдвое ярче. Как считают А. П. Виноградов и его сотрудники (1966), спектры гамма-излучения лунной поверхности отвечают основным породам. Провальные воронки, видимые на снимках Рейнджеров, характерны для земных базальтов типа пахоэхоз (Ranger VIII, IX, 1966).

Б. Ю. Левин и Л. Н. Радлова (1966) выдвинули гипотезу, которая объясняет больше альбедо материков большими углами склонов в его пределах. По их мнению, на крутом склоне быстрее идет перемешивание вещества и его оползание и склон не успевает потемнеть под действием солнечной радиации. Но в таком случае надо объяснить, почему лучевые системы, откуда бы они не шли, ярче морей и материков, хотя в подавляющем большинстве случаев лучи принимают рельеф той местности, на которой они лежат, повторяя все углы склонов. Кроме того, если считать, что лучи еще не успели потемнеть под действием космического облучения, то почему пятна новейших, послелучевых лав являются самыми темными на диске? Почему край материка западнее кратера Боде, имея такой же рельеф, что и соседние участки, выглядит гораздо темнее их? Потемнение лунного вещества под действием радиации, несомненно, существует и подтверждено экспериментально. Но вряд ли оно столь велико, чтобы вызвать наблюдаемую темноту морей; это потемнение касается преимущественно лучей и растянуто на долгое время. В тех местах, где наблюдалось красное свечение лунных пород, которое связывается с излиянием лавы, альбедо не изменялось после прекращения феномена, местность оставалась однородно-темной, как и раньше, т. е. потемнение было вызвано не радиацией (Dobar, 1965; Moor, 1965).



6. Распространение современных и древних морей по диску Луны

- | | | | |
|---|---------------------------|---|--|
|  | — современные моря; |  | — рельеф «морского» типа на материках; |
|  | — современные кордильеры; |  | — древние кордильеры |

А. В. Хабаков высказал предположение, что яркость материков обусловлена многократным наложением лучей и плащей выбросов. Действительно, то количество кратеров, которое видно на материках, способно дать такое множество лучей, которое заметно осветит всю поверхность.

Каким же способом освещаются породы морских комплексов? Имеющиеся к настоящему времени данные говорят о том, что поверхностный слой лунных пород отличается по своим свойствам от пород, залегающих глубже. Структура этого слоя чрезвычайно пористая, неплотная. Разногласия касаются уже вариантов этой структуры: «пылевого», «скелетно-дendrитового» или «пенно-шлакового».

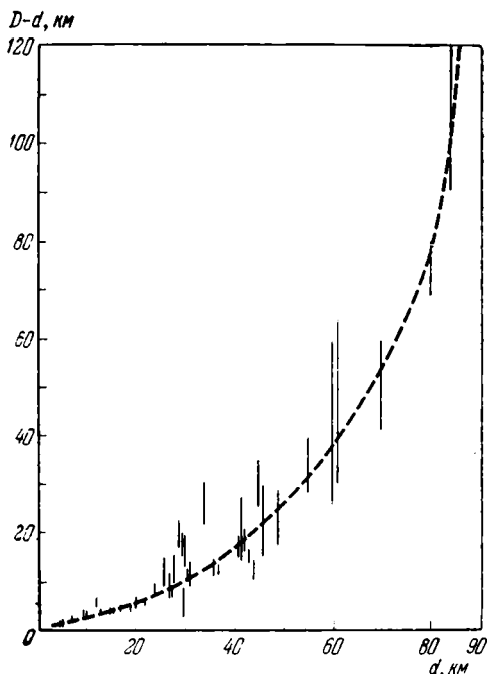
«Скелетно-дендритовые» образования появляются под действием микрометеоритной бомбардировки и солнечного ветра (Waggen, 1963). Порода частью дробится на тонкие осколки, образующие рыхлую структуру «воздушного замка», частью возгоняется. В результате образуется тонкий каменный скелет — «пух» или «мох». После какого-то времени такая корочка может покрыть всю поверхность Луны, и она будет иметь наблюдаемую индикатриссу рассеяния. Против дендритов говорят радионаблюдения, дающие пористый слой гораздо большей глубины, чем можно обеспечить возгонкой, но все же в какой-то мере эта гипотеза верна.

Сцементированная адгезией пыль дает сходные с лунными рассеяние света и теплопроводность (Нарке, 1964). Но распространение пылевых плащей должно отличаться от того, что мы наблюдаем на Луне, иначе как объяснить проникновение темного вещества по узким и запутанным лабиринтам лунных болот? Неясно, как при той же адгезии происходит транспортировка пыли — ведь она должна немедленно слипаться и оставаться на месте. Непонятно, почему гладкие покровы могут лежать на высоком материке, а впадины цирков — оставаться незаполненными. Различия яркости морей никак этой гипотезой не объясняются. Вообще «пылевая» гипотеза не может объяснить всех особенностей лунной поверхности (Halajian, 1965).

Как показали фотографии с космических аппаратов, севших на лунные моря, маломощный обломочно-пылевой чехол присутствует на одних участках и отсутствует на других. На панорамах Луны-9 и Луны-13 видно, что не только нет пыли, но, очевидно, даже удалено несколько сантиметров поверхностного слоя, так что на стереопарах различаются камни, сидящие на пьедесталах, и жилы, выступающие из грунта. Раскиданные обломки, видимо катившиеся по поверхности, не оставили за собой следов. На многих фотографиях хорошо различается ячеистое строение лунного грунта. По снимкам Луны-9 различают ячейки от 5 см и более, некоторые из них состоят из слившихся пустот, в некоторых видно субконцентрическое строение, некоторые крупные ячейки как бы заполнены мелкопористой пеной (Первые панорамы..., 1966). На отдельных снимках Сервейора I видны поры размером в несколько миллиметров. Вся поверхность вокруг станций Луна-9 и Луна-13 разбита трещинами на полигональные блоки, иногда поднятые или опущенные на несколько сантиметров. Все это очень напоминает шлаковую кору на лавовых потоках, со следами глыбового строения потоков.

Представления о туфо-шлаковой природе поверхности Луны появились еще до полетов космических аппаратов. На основании сравнений лунной поляризации, альбеда, цветности и т. д. с характеристиками земных пород В. В. Шаронов (1963, 1965) пришел к выводу, что по совокупности всех признаков лунным породам более всего отвечают вулканические шлаки и несколько меньшее соответствие обнаруживают пеплы и туфы. Н. П. Барабашов (1963) считает, что на лунной поверхности могут быть распространены лавы с неровной поверхностью, покрытые шлаками, туфами и пеплами. «Пенная» структура получена также экспериментально (Dober a. oth., 1964). В этих опытах силикатный расплав помещался в вакуум. При этом расплав бурно вспенивался, многократно увеличиваясь в объеме, и застывал необычайно пористым шлаком. После протонной бомбардировки образец приобретал фотометрические свойства, соответствующие лунной поверхности более, чем свойства любого природного образца. Характерно, что поверхность образца выглядит скорлуповатой от слившихся-

7. Зависимость между диаметром кратера (d) и шириной поля выбросов из этого кратера ($D-d$)



ся открытых каверн. Тот же процесс — вспенивание расплава в вакууме — должен идти при поступлении магмы из недр Луны на поверхность. Поэтому одним из ведущих процессов в образовании фактуры лунной поверхности надо считать формирование шлаков. Мощность шлаков будет гораздо большей, чем на Земле. В некоторых лунных морях дешифрируются лавовые покровы от 30 до 120 м мощности (Ranger VII, 1965; Ranger VIII, IX, 1966). Естественно, что шлаки будут слагать лишь верхнюю часть каждого потока, например, пlying на этом потоке наподобие льдин. Некоторые признаки (такие, как следы дренажных каналов) говорят о том, что основное тело потока, экранированное поверхностной коркой с малой теплопроводностью, застывает достаточно долго и превращается в плотную, возможно, полнокристаллическую породу.

Известно, что альbedo шлака в 2—3 раза ниже, чем у плотной породы того же состава. Следовательно, если удалить шлаковую корку с исходной лавы, то яркость соответственно возрастает. Раздробление и удаление этой корки может происходить при постоянных ударах метеоритов, вулканических бомб и обломков. Возникновение трещин, сбросов, обнажения пород на внутренних стенках кальдер, вообще любые обнажения скальных пород повышают альbedo. При полном удалении корки с какого-либо участка его яркость должна соответствовать яркости каких-либо известных пород. Так, участки Луны, которые могут считаться естественными обнажениями (крутые уступы вдоль сбросов), по яркости отвечают базальтам и андезитам. Изменение цвета, так же как осветление, может быть связано с разрушением шлаков. При вспенивании лавы стенки каждой каверны застывающего шлака находятся в контакте либо с газовой фазой, либо с вакуумом. Лежащий глубже невспененный расплав экранирован от вакуума,

а газы находятся здесь в растворенном виде. Естественно предположить, что стенки пор шлака будут иметь один цвет, а плотная порода в глубине — другой. По-видимому, не требует доказательств то, что полнокристаллический гранит будет иметь цвет, отличный от цвета обсидиана или пемзы того же состава. Возможно, поэтому синеватые оттенки молодых покровов сменяются желтоватыми у более древних, приближаясь к красноватым цветам материка. (Правда, с таким же успехом «пожелтение» может появиться в результате облучения или других, неизвестных нам процессов.)

Одновременно при дроблении различных веществ степень их поляризации должна уменьшаться и выравниваться (Барабашов, Чекирда, 1959). Материки от морей отличаются как раз меньшими и более постоянными значениями поляризации. Остается заключить, что в дроблении поверхностного слоя и заключается механизм перехода морской поверхности в материковую.

Другой механизм, работающий в этом направлении, — вулканические выбросы. Вокруг каждого кратера располагается непрерывное кольцо светлых отложений, выброшенных из этого кратера. Там, где кратеры сближены в тесные группы, их выбросы могут нацело перекрыть подстилающие породы. Но насколько тесными должны быть эти группы? Для выяснения этого были подсчитаны поперечные размеры полей сплошных выбросов для послеморских кратеров в районе пояса лунных морей. В подсчет вошли только те кратеры, для которых более или менее четко отбивается граница выбросов. Результаты представлены на графике (рис. 7). По горизонтали отложены диаметры кратеров d , по вертикали — разность между диаметром всего поля выбросов D и диаметром самого кратера. Поскольку поля выбросов имеют неправильную форму, брались минимальные и максимальные размеры. Из графика видно, что для всех кратеров с диаметрами меньше 80 км поперечник насыпного вала меньше, чем поперечник кратера, измеренный по гребню. Следовательно, для сплошного перекрытия поверхности расстояние между гребнями каждой пары кратеров должно быть меньше, чем сумма их радиусов; в частном случае расстояние между валами равных кратеров должно быть меньше, чем диаметр каждого, например для диаметров в 40 км — вдвое меньше. Но этого не наблюдается. Данные Т. Л. Мак Дональда (Mc Donald, 1931) о том, что площадь кратеров составляет 9—12% от всей поверхности, пожалуй, лучше не учитывать, так как они относятся ко всей поверхности, включая и моря, и материки.

Но и без всяких подсчетов видно, что в некоторых местах кратеры сидят группами буквально «бок о бок», налезая один на другой, зато в других участках они распределены весьма редко, много дальше, чем требуется для сплошного покрова выбросов. Обильные кратеры-лунки почти наверняка не участвуют в этом процессе, так как их сплошные выбросы ограничены еле заметными валами и даже «может существовать такой нижний предел размеров кратеров на Луне, вокруг которых могут встречаться рассеянные обломки, но не сплошной слой выбросов», как пишут Ю. М. Шумэкер и Р. Дж. Хэман (1963). Как подсчитал Мак Дональд, объем выбросов редких крупных кратеров сравним с объемом выбросов всей массы мелких лунок, и если выбросы крупных кратеров не дают сплошного плаща, то это же можно сказать и о лунках.

Надо подчеркнуть, что сказанное относится именно к непрерывному покрову выбросов, имеющему какую-то ощутимую мощность. Дисперсные

выбросы и разрозненные обломки всех размеров должны быть раскиданы по всем материкам более или менее равномерно. Эти отдельные, рассеянные обломки действуют уже по принципу первого механизма, дробя шлаковую корку, и вещественный состав поверхности остается тем же. Или, точнее, состав пород за счет привноса обломков изменяется ничтожно по сравнению с эффектом изменения поверхностной структуры и ее внешнего вида.

Мелкие обломки дробленого шлака, равно как и вулканический пепел лучевых систем, могут забиваться на дно шлаковых пор, увеличивая пиковые значения индикатрисс рассеяния. Рост коэффициента отражения с приближением к полнолунию идет для материков гораздо быстрее, чем для морей (Федорец, 1952; Барабашов, 1961). Объяснить это можно двояко: либо поверхность материка просто угловата или шероховата, а поверхность морей кавернозна, либо на поверхности материка в углублениях лежит светлое вещество, а в морях его меньше. Кстати, при «засветке» всех углублений лунной поверхности происходит поворот плоскости поляризации (Марков, 1963). Естественно предполагать, что свежий пепел лучей, выброшенный из недр Луны и частично защищенный в порах от действия солнечного излучения, обнаруживает показатели яркости, наиболее близкие к показателям пород лунных недр. Поэтому при сравнении яркости лунных образований с земными следует в первую очередь ориентироваться на самые молодые лучевые системы.

Если для древних морских площадей характерно посветление со временем, то для светлых лучей эратосфенских и копениковских кратеров картина обратная. Более древние лучи оказываются и более темными, а у птолемеевских цирков лучи и вовсе не различаются, хотя по морфологии они иногда очень близки к новейшим кратерам. В результате осветления морей и потемнения лучей все древние образования Луны сливаются с существующими к этому времени материками, обладающими средней яркостью. Относительно цвета лучей пока существуют довольно противоречивые данные (Радлова, 1963; Тейфель, 1963, и др.).

Таким образом, можно сказать, что после достаточно большого периода и моря, и лучи становятся неотличимыми от материка по фотометрическим и колориметрическим характеристикам. По-видимому, средняя яркость материка возникает в результате динамического равновесия нескольких процессов, идущих одновременно: разрушения и засыпания шлака, с одной стороны, и космического облучения и возникновения дендритов — с другой.

За тот же достаточно большой период по морям могут пройти новые системы разрывов, возникнуть группы кратеров; валы и купола будут эродированы, засыпаны или затеряются в системах гребней вдоль разрывов. В результате получится поверхность, которая и по своей морфологии также не может быть отделена от материковой, по крайней мере при существующих материалах и методах исследования.

Так или иначе на основании имеющихся данных о нескольких верхних сантиметрах лунного грунта мы не можем пока достаточно уверенно судить о его вещественном составе: альbedo лучей соответствует широкий ряд земных пород — от дунита до андезита, и даже некоторые разновидности гранита имеют такую же яркость, как лучи (хотя в среднем наиболее соответствуют лунным породам основные и средние лавы). Базальтовый состав лунных лав предполагается также из-за их малой вязкости. Но вязкость лавы вообще зависит не только от состава конечного продукта —

базальта или риолита, но в значительной мере от содержания в лаве летучих и воды, от ее температуры (Богоявленская, Горшков, 1964). О количестве летучих и воды в лунных лавах пока можно высказывать только догадки, так же как о температуре. Мы слишком мало знаем об этом, и, например, может оказаться, что кислые лавы на Луне содержат столько воды, что способны широко растекаться. На дне и в бортах огромных кратеров кальдерного типа могут обнаружиться риолитовые экструзии с пемзовидной поверхностью, а плавки в вакууме показали, что оптические характеристики «вакуумных» шлаков, как кислых, так и основных, довольно близки между собой. Во всяком случае, если настаивать на базальтовом составе всех лунных пород, то надо одновременно отвергнуть (и опровергнуть) все данные о лунном происхождении тектитов, содержание кремнезема в которых составляет 70—80% (O'Keef, Adams, 1965). Нужно также объяснить все образования, похожие на интрузии, в центрах и в бортах кратеров. Должны также существовать причины различия между взрывным типом извержений кратеров и площадным типом излияний в морях. Вообще, по-видимому, морфологический метод дает больше возможностей для суждения о составе лунного вещества, чем методы оптические (фотометрия и др.).

Итак, при сопоставлении имеющихся данных можно сделать следующие выводы.

1. Древние моря занимают не менее половины материков видимого полушария Луны и встречаются на обратной стороне.

2. Переход морей в материки совершается за счет разрушения и удаления шлаковой корки лавовых потоков или путем ее перекрытия выбросами вулканических и метеоритных кратеров. Локально возможен обратный процесс, когда гладкая поверхность скальных пород приобретает «дендритовую» структуру или покрывается пылью.

3. По-видимому, преждевременно интерпретировать различие в яркости и цвете между материками и морями как показатель различного химического состава этих образований. Но в равной мере одинаковый характер отражения тех и других не может служить доказательством одинакового состава. В отношении вещества оптические характеристики Луны «нейтральны».

4. Структура (морфология) лунных образований позволяет сделать вывод, что преобладающий состав лунных пород, скорее всего, базальтовый, но не исключено местное развитие кислых пород.

Литература

Барабашов Н. П.

1961. Об изменении яркости лунных деталей в зависимости от азимута и о сечении лунных индикатрисс.— Изв. Комис. по физике планет, вып. 3.

1963. О горных породах, которые могут входить в состав лунной поверхности.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.

Барабашов Н. П., Чежирда А. Т.

1959. О горных породах, наиболее соответствующих тем, которые входят в состав лунной поверхности.— Изв. Комис. по физике планет, вып. 1.

Богоявленская Г. Е., Горшков Г. С.

1964. Действующие вулканы Центральных Курильских островов.— В кн. «Проблемы вулканизма». Петропавловск-Камчатский, Дальневост. книжн. изд-во.

- Виноградов А. П. и др.**
1966. Измерения гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна-10». — *Геохимия*, № 8.
- Кротиков В. Д., Троицкий В. С.**
1963. Радиовзлучение и природа Луны. — *Успехи физ. наук*, 31, вып. 4.
- Левин Б. Ю., Радлова Л. Н.**
1966. О причинах различия альbedo на Луне. — В кн. «Тезисы докладов на Конференции по физике Луны и планет, 3—8 октября 1966 г.». Харьков, изд. на ротапринте.
- Липский Ю. Н., Псковский Ю. П., Гурштейн А. А. и др.**
1966. Текущие проблемы морфологии поверхности Луны. — *Космич. исследования*, 4, вып. 6.
- Лосовский Б. Я., Саломонович А. Е.**
1965. О радионизлучении и различиях верхнего покрова «морских» и «материковых» областей Луны. — *Астроном. ж.*, № 2.
- Луна. (Коллектив авторов под ред. А. В. Маркова). М., Физматгиз, 1960.
- Марков А. В.**
1963. Физическая природа разных зон лунной поверхности. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Мейсон А. С., Хэкман Р. Дж.**
1963. Фотогеологическое исследование Луны. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Первые панорамы лунной поверхности. М., изд-во «Наука», 1966.
- Радлова Л. Н.**
1963. О цвете светлых лучей на Луне. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Тейфель В. Г.**
1963. Цветовые и спектральные свойства лунной поверхности. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Троицкий В. С.**
1963а. Природа вещества лунных морей и материков. — *Изв. высших учеб. завед., радиофизика*, 6, № 3.
1963б. Радиовзлучение Луны, физическое состояние и природа ее поверхности. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Хабаков А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. — *Зап. Всес. геогр. об-ва*, нов. серия, 6.
- Федорен В. А.**
1952. Фотографическая фотометрия лунной поверхности. — *Уч. зап. Харьковск. ун-та*, 42, № 49.
- Шаронов В. В.**
1962. Некоторые выводы из фотометрического сопоставления земных вулканических ландшафтов с лунной поверхностью. — *Астроном. циркуляр*, № 231.
1963. Микрорельеф лунной поверхности и вероятные пути его образования. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
1965. Фотометрическое исследование вопроса о наличии на Луне покровов вулканического происхождения. — *Астроном. ж.*, № 1.
- Шумакер Ю. М., Хэкман Р. Дж.**
1963. Стратиграфическая основа для шкалы времени в истории развития Луны. — В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.
- Dobar W. I.**
1965. Behaviour of lava on the lunar surface. — *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 123, art. 2.
- Dobar W. I., Tiffany O. L., Gnaedinger J. P.**
1964. Simulated extrusive magma solidification in vacuum. — *Icarus*, 3.
- Dodd R. T., Smalley V. G., Salisbury J. W., Adler J. E.**
1965. Crater frequency evidence for volcanism in the lunar highlands. — *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 123, art. 2.
- Dolfus A.**
1965. The application of polarized light for the study of the surface of the Moon. — In: *The nature of the lunar surface. IAU-NASA Sympos.* Baltimore, 1965.
- Elston D. P.**
1965. Stratigraphic relationship in the eastern part of the Moon. — *Geol. Soc. America, Spec. Paper*, N 82 (56).

- Halajian J. D.**
1965. The case for a cohesive lunar surface model.— *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **123**, art. 2.
- Hapke B.**
1964. Photometric and other laboratory studies relating [to the lunar surface. N. Y.— London.
- Hartmann W. K., Kuiper G. P.**
1962. Concentric structures surrounding lunar basins.— *Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona*, **1**, N 12—13.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.
- Mc Donald T. L.**
1931. The number and area of lunar objects.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, **1**, N 6.
- Miyamoto S.**
1959. A geological interpretation of the lunar surface.— *J. Internat. Lunar Soc.*, July.
- Moor P.**
1965. An evaluation of the reported lunar changes.— *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **123**, art. 2.
- O'Keefe J. A., Adams E. W.**
1965. Tektite structure and lunar ash flows.— *J. Geophys. Res.*, **70**, N 16.
- Rae W. L.**
1966. Lunar domes.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, **76**, N 5.
- Ranger VII. Technical Rept N 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1965.
- Ranger VIII and IX. Technical Rept N 32-800, Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol. 1966.
- Rowan L. C.**
1966. Orbiter observations of the lunar surface.—In: «The physics of the Moon.» *Amer. Astronaut. Soc. Washington*.
- Spurr J. E.**
1944—
1950. Geology applied to selenology. Lancaster, Pennsylvania Sci. Press.
Surveyor-III. Preliminary report. NASA, Washington, 1967.
- Tazieff H.**
1965. Convective origin of lunar craters.— *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, **123**, art. 2.
- Warren C. R.**
1963. Surface material of the Moon.— *Science*, **140**, N 3563.

Об особенностях образования лавовых покровов на Луне

*А. М. Гуткин, Ц. М. Райтбурд,
М. В. Слонимская, Н. Г. Сушкин,
И. А. Фомина*

В последние годы появляется все больше и больше подтверждений существования на Луне процессов вулканизма. Эти данные получены как в результате непосредственных астрономических наблюдений Луны (Козырев, 1965), так и при попытках расшифровки особенностей строения ее поверхности (Хабаров, 1949; Дж. Грин, 1963, и др.). Некоторые доказательства большой роли вулканических процессов в формировании поверхности Луны приведены в предыдущих статьях этой книги.

Ясно, что на сложные и не до конца еще изученные на Земле вулканические явления в условиях Луны дополнительно накладываются влияние таких факторов, как отсутствие атмосферы и значительно меньшая сила тяжести, что, несомненно, должно привести к ряду отличий во внешнем облике, а может быть, и в составе вулканических продуктов на Луне по сравнению с их земными аналогами.

Настоящая статья посвящена рассмотрению роли вакуума и меньшей гравитации в формировании лунных лавовых покровов базальтового состава в процессе их охлаждения. Работа в этом направлении была начата экспериментами, поставленными в Геологическом институте АН СССР и Московском энергетическом институте и находящимися еще в начальной стадии. Однако постановка этих работ потребовала выполнения некоторых предварительных расчетов, показавших реальную возможность появления существенных отличий при охлаждении лавовых покровов Земли и Луны.

При рассмотрении формирования лавового покрова на Луне в процессе его охлаждения принимается следующая модель. Лавовый поток — расплав базальта при $T = 1500^\circ \text{К}$ с содержанием газовой фазы $\approx 2 \text{ см}^3/\text{кг}$ (сюда входит и вода в виде пара). Поперечные размеры лавового потока значительно превышают его глубину. Эта модель принимается в соответствии с данными, имеющимися для земных лав. Так, по Г. Иодеру и К. Тилли (1965), интервал температур плавления базальтовых лав — $1100\text{—}1200^\circ \text{С}$, т. е. $\approx 1400\text{—}1500^\circ \text{К}$. Содержание газовой фазы сильно

колеблется для различных лав. Данные по вулканическим стеклам (Наседкин, 1962) позволяют выбрать величину $\approx 2 \text{ см}^3/\text{кг}$, как наиболее часто встречающуюся. Средний химический состав базальтов принят в соответствии с данными Г. Йодера и К. Тилли (1965). Наконец, по данным Ranger VII (1965) было принято, что мощность лавового потока составляет 30—50 м при его длине порядка нескольких километров.

Как известно, особенности формирования лавового покрова на Земле определяются соотношением следующих основных факторов: скорости охлаждения расплава, величины его вязкости и количества газовой фазы.

1. Сравним факторы, определяющие скорость охлаждения лавы на Земле и на Луне. Рассмотрим процессы, которые могут играть роль при охлаждении лавы: лучеиспускание, конвекцию, потери тепла при испарении вещества расплава, потери тепла при дегазации расплава.

а) Потери тепла за счет лучеиспускания при охлаждении лавы на Земле и Луне можно считать одинаковыми. Действительно, поглощение части лучистой энергии массой воздуха, приводящее к его нагреванию, очень мало, так как теплоемкость воздуха ничтожна. Величина потерь тепла путем излучения определяется температурой лавового потока и может быть рассчитана по формуле Стефана-Больцмана

$$(1) \quad Q = a(T^4 - T_0^4),$$

где T — температура лавы в градусах абсолютной шкалы; T_0 — температура окружающей среды; a — постоянная: $a = 1,37 \cdot 10^{-12} \text{ кал/см}^2 \text{ сек град}^4$ при $T = 1500^\circ \text{ К}$ и $T_0 \approx 300^\circ \text{ К}$, $Q \approx 7 \text{ кал/см}^2 \text{ сек}$.

б) Потери тепла за счет конвекции имеются только на Земле, на Луне их нет. Оценим потери за счет конвекции по сравнению с потерей энергии излучением. На рис. 1 приведены кривые зависимости потерь тепла нагретым телом путем радиации (Q_1) и конвекции (Q_2) от температуры.

$$(2) \quad Q_1 = 1,37 \cdot 10^{-12} (T^4 - T_0^4) \text{ кал/см}^2 \text{ сек}.$$

Потери тепла за счет естественной конвекции воздуха оценивались по приближенной формуле (Карслоу, Егер, 1964):

$$(3) \quad Q_2 = 5 \cdot 10^{-5} (T - T_0)^{3/4} \text{ кал/см}^2 \text{ сек}.$$

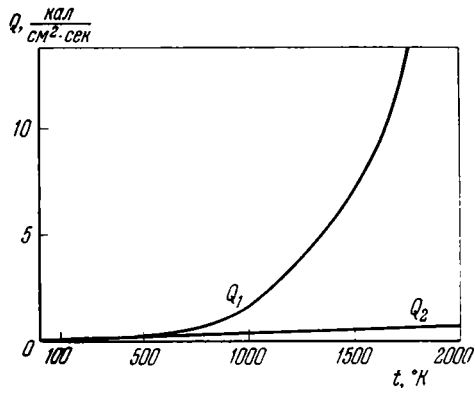
В обоих случаях мы считали, что средняя температура окружающей среды равна 0° С , т. е. $\approx 300^\circ \text{ К}$.

Из рис. 1 следует, что если при температурах, не намного превышающих 300° К , обе величины имеют близкие значения, то при высоких значениях T ($\approx 1500^\circ \text{ К}$) потери тепла за счет радиации более чем на порядок превышают потери тепла за счет конвекции. Таким образом, отсутствие конвекции на Луне не должно вносить существенного различия в скорость охлаждения лавы на поверхности Луны и Земли.

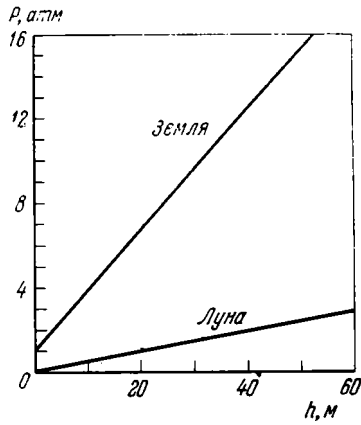
Теплопроводность же воздуха очень мала ($k \approx 5 \cdot 10^{-5} \text{ кал/см сек град}$), поэтому потери тепла путем теплопроводности можно вообще не учитывать.

в) При охлаждении лавы может происходить кроме выхода летучих испарение самого вещества лавы, находящегося в жидком состоянии. Этот процесс может привести к значительным потерям тепла, так как теплота испарения даже наиболее легко испаряющихся элементов лавы, К и Na,

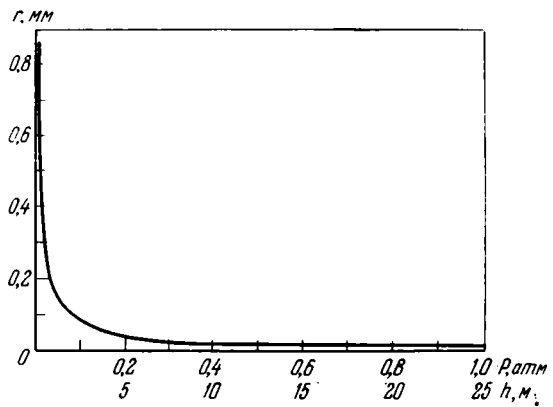
1. Зависимость потери энергии за счет радиации и конвекции от температуры



2. Зависимость давления от глубины (h) в приповерхностных слоях Земли и Луны



3. Зависимость значения минимальных радиусов пузырьков (r), соответствующих давлению ΔP , от глубины (h)



в чистом веществе имеет значения порядка 1300 кал/г. Поэтому любое различие в характере испарения вещества лавы на Земле и на Луне необходимо учитывать. В обоих случаях испарение происходит в открытой системе, так что установление равновесия невозможно. Скорость же испарения может быть различной.

Действительно, на Земле происходит частичный возврат испаряющихся молекул за счет соударений с молекулами воздуха. Примем, что обратно возвращается половина молекул, испытавших столкновение на расстоянии, меньшем или равном длине свободного пробега. Распределение по длинам свободного пробега имеет вид

$$(4) \quad \varphi(x) = e^{-x/\lambda},$$

поэтому доля таких молекул равна $(1 - e^{-1}) = 0,62$ и скорость испарения в воздухе уже за счет возврата молекул, отраженных воздухом, будет на 30% меньше, чем в вакууме.

Итак, замедление испарения за счет соударений с молекулами воздуха является весьма существенным: отсутствие атмосферы на Луне может привести к увеличению скорости испарения с поверхности лавы.

С другой стороны, скорость испарения резко повышается, если испарение происходит не только с поверхности лавы, но и в ее объеме (кипение). Кипение возможно только в том случае, когда давление насыщенного пара вещества при данной температуре больше внешнего давления. Условия для возникновения кипения лавы на Земле и на Луне будут различны благодаря различию величин давления на поверхности и разной зависимости давления от глубины. Для Земли давление на глубине x лавы

$$(5) \quad P_1 = \rho_1 g_1 x + 1 \text{ атм},$$

на Луне на той же глубине давление

$$(6) \quad P_2 = \rho_2 g_2 x.$$

На рис. 2 приведены кривые зависимости давления от глубины в приповерхностных слоях для Земли и Луны, рассчитанные при условии $\rho_1 = \rho_2 = 2,7 \text{ г/см}^3$ (А. П. Виноградов, 1967) и $g_2 = 1/6 g_1$. Из них видно, что на Луне давлению в 1 атм соответствует глубина $\approx 22 \text{ м}$. Для этой глубины на Луне условия кипения будут соответствовать условиям на поверхности Земли.

Поскольку упругость пара большинства компонентов базальтового расплава меньше 1 атм при $T = 1500^\circ \text{ К}$ (табл. 1), на Земле, как правило, даже в очень тонком приповерхностном слое условия для возникновения кипения не будут осуществляться. Наблюдаемое обычно «кипение» лавы — это выход газовых пузырьков, т. е. процесс дегазации расплава. Он будет рассмотрен ниже.

В отличие от этого, на Луне условия кипения могут выполняться, причем по мере уменьшения глубины — для все большего числа компонентов расплава, давление насыщенных паров которых при $T = 1500^\circ \text{ К}$ ниже 1 атм и которые, следовательно, не будут кипеть на Земле.

Однако следует отметить, что для процесса кипения необходимо наличие в расплаве газовых полостей (пузырьков), внутрь которых может идти испарение вещества. При этом радиус этих пузырьков определяет допол-

Таблица 1. Некоторые физические константы
компонентов расплава
(Эспе, 1962)

Компо- нент рас- плава	t плавл., °C	t кип., °C	Теплота испарения, ккал/моль	Давление нас. пара при 1200°, мм рт. ст.	Скорость испар. при 1200°C, г/см ² сек
K	63	760	18	760	200
Na	98	880	23	760	80
Ca	850	1600	36	$3 \cdot 10^2$	2
Al	660	2300	68	$5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-4}$
Si	1400	2680	—	$1 \cdot 10^{-3}$	10^{-5}
Fe	1580	—	—	$3 \cdot 10^{-4}$	$3 \cdot 10^{-6}$

нительное давление, создаваемое за счет сил поверхностного натяжения,

$$(7) \quad \Delta P' = 2\sigma/r.$$

где σ — коэффициент поверхностного натяжения; r — радиус пузырьков.

На рис. 3 приведены значения радиусов пузырьков r , соответствующих создаваемому в этих пузырьках дополнительному давлению $\Delta P'$ (было взято значение $\sigma = 400$ дн/см). Из рис. 3 видно, что радиус пузырьков быстро растет с уменьшением давления. Поэтому по мере уменьшения глубины x лавы, для того чтобы $\Delta P'$ было сравнимо с P , т. е. $P + \Delta P'$ оставалось на данной глубине меньше давления насыщенного пара, радиус газовых пузырьков, в которые возможно испарение, должен увеличиваться. Так, на глубине 2 м r должно быть больше $0,1$ мм, на глубине 2 см — больше 8 мм. Кроме того, следует иметь в виду, что доля легколетучих элементов (K, Na) в базальте невелика, 2—3%. Поэтому можно предположить, что с глубиной процесс испарения должен затухать. Действительно, чем больше глубина, тем меньше даже легколетучих компонентов может участвовать в процессе кипения.

г) Оценим теперь величину энергии, теряемой при уходе летучих из расплава (работа расширения газовых пузырей). Следует различать дегазацию в условиях, когда давление в газовых пузырях существенно больше внешнего давления — момент взрыва, дегазация пиромогмы (Ритман, 1964), и дегазацию в равновесных условиях за счет ухода газовой фазы с поднятием пузырьков к поверхности с глубины (гипомагма). Первый процесс совпадает по времени с моментом извержения и начального излияния лавы; он, следовательно, предшествует времени распространения лавового потока и нами не рассматривается. Для оценки охлаждения лавы на Луне за счет ее дегазации в состоянии гипомагмы подсчитаем, какое количество тепла необходимо для полной дегазации столба лавы под поверхностью площадью в 1 см² при мощности ~ 30 м. Примем содержание газовой фазы равным 2 см³/кг. Рассматриваемый объем лавы $V = 3 \cdot 10^3$ см³ $\cdot 1$ см² = 3 дм³ имеет массу $m = 6$ кг (принято для газосодержащей лавы $\rho = 2$ г/см³). В этом столбе содержится $V = 120$ см³ газовой фазы при небольшом избыточном давлении $P_1 = 1$ атм. При расширении пузырьков

этого газа до давления на «поверхности» (т. е. на глубине разрыва пузырьков), принимаемого равным $2\sigma/r = P_2$, совершается работа

$$(8) \quad A = P_1 V_1 \ln \frac{P_1}{P_2}.$$

Если принять, что средний радиус лопающихся пузырьков газа $r = 5 \text{ см}$ и $\sigma = 400 \text{ дн/см}$, то $P_2 = 160 \text{ дн/см}^2$. Тогда $A \approx 5 \cdot 10^8 \text{ эрг} = 50 \text{ дж} \approx 12 \text{ кал/см}^2$.

Следует отметить, что зависимость величины работы от принятого значения радиуса пузырьков очень слабая. Так, при $r = 50 \text{ см}$ $A \approx 5 \text{ кал/см}^2$. Так как оценка проводилась в предположении полной дегазации лавы без учета времени, то можно думать, что реальные величины потери энергии за единицу времени при уходе летучих из расплава будут очень малы, значительно меньше потерь за счет излучения.

2. Вязкость расплава определяется его составом и существенно зависит от температуры и давления. Наличие газовой фазы снижает вязкость расплава. Приблизительно можно оценить влияние газовых включений в равновесном состоянии лавы на ее вязкость по формуле

$$(9) \quad \eta = \eta_0 \cdot (1 - 2,5 C),$$

где C — объемная концентрация летучих; η_0 — вязкость «сухого» расплава¹.

Зависимость вязкости расплава от давления и температуры имеет вид

$$(10) \quad \eta = \eta_0 e^{aP} e^{\frac{b+cP}{T}},$$

где η_0 — вязкость при атмосферном давлении и $T_0 = 273^\circ \text{ К}$.

На основании экспериментальных оценок А. Ритман (1964) приводит следующие значения коэффициентов для базальтов: $a = 10^{-3} \text{ бар}^{-1}$; $b = 45 \cdot 10^3 \text{ град}$; $c = 0,75 \text{ град/бар}$.

Нетрудно заметить, что зависимость вязкости от температуры гораздо более сильная, чем от давления. Действительно, в лаве на глубине 300 м вязкость за счет изменения давления на Земле и на Луне меняется менее чем на 1%:

$$\frac{\eta}{\eta_0} = e^{aP + \frac{cP}{T}} = e^{0,012} \approx 0,01$$

при $T = 1500^\circ \text{ К}$.

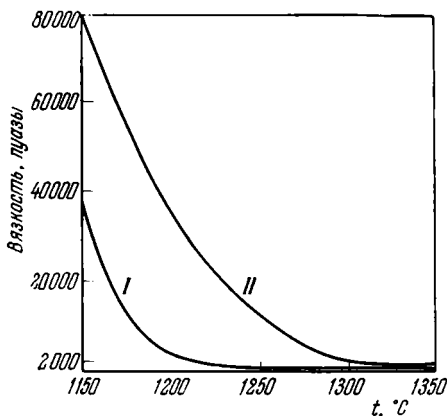
В то же время температурная зависимость определяется в основном множителем $e^{\frac{b}{T}} = e^{\frac{45 \cdot 10^3}{T}}$ и является очень сильной.

На рис. 4 для температур в пределах $1150\text{—}1300^\circ \text{ С}$ приведены значения вязкости базальтов. В интервале температур $500\text{—}1000^\circ \text{ С}$ происходит изменение вязкости на два порядка. Образование пористой корки — пемзообразование — на Земле обычно происходит в состоянии пиромаг-

¹ В неравновесном состоянии (пиромагма) вязкость расплава может резко падать до значения 0,01 пуаз (Ритман, 1964) за счет бурного процесса выхода газовой фазы, нарушающей структуру расплава.

4. Зависимость значения вязкости базальтов от температуры

I — оливиновый базальт;
II — андезитовидный базальт



мы, для которой характерно бурное газовыделение. М. П. Воларович и др. (1937) оценили экспериментально пределы вязкости, в которых возможно пемзообразование, и получили $\eta = 10^8 - 10^9$ пуаз.

Понятно, что когда охлаждающаяся лава быстро переходит эту температурную границу, должна образовываться пористая поверхность за счет резкого падения вязкости, вызванного газовыделением и кипением.

Образованию пемзы способствует уменьшение скорости подъема газовых пузырьков, вызванное увеличением вязкости лавы при ее охлаждении. На Луне охлаждение поверхности лавы должно происходить быстрее, чем на Земле. Даже если принять, что вязкость лавы на Земле и на Луне одинакова, скорость подъема пузырьков на Луне должна быть меньше вследствие уменьшения подъемной силы в 6 раз. Поэтому образование пористой структуры на Луне более вероятно. Кроме того, к процессам газовыделения здесь добавляется возможный процесс кипения лавы в объеме, также способствующий созданию пемзообразных структур.

Вязкость базальтового расплава зависит от соотношения его компонентов, поэтому в процессе охлаждения она может изменяться не только из-за понижения температуры, но и за счет изменения состава в результате испарения (кипения). Этот процесс на Луне должен играть большую роль. Ниже будет показано, что он обуславливает дополнительное увеличение вязкости в процессе охлаждения лавы.

Как известно, базальтовый расплав можно приближенно рассматривать как ионную жидкость (Рашип, 1965; Мчедлов-Петросян, 1965). Он содержит анионы типа $(Si_xO_y)_n^{z-}$ и $(R_xO_y)^{z-}$ ($R_x \sim Al^{3+}, Fe^{3+}$) и катионы $K^+, Na^+, Ca^{2+}, Mg^{2+}, Fe^{2+}$. Вязкость расплава определяется главным образом видом анионного комплекса, увеличиваясь при уменьшении отношения $O:Si$ от SiO_4^{4-} к SiO_2 . Наличие же тех или иных анионных комплексов определяется в свою очередь отношением катионов $Na^+ + K^+$ к $Mg^{2+} + Ca^{2+} + Fe^{2+}$. При уменьшении этого отношения вязкость увеличивается. Однако в общем случае многокомпонентного расплава зависимость вязкости от состава более сложная и описанные закономерности могут нарушаться. Как правило, присутствие SiO_2 и Al_2O_3 (реже MgO) повышает вязкость расплава, а наличие Na_2O и K_2O понижает ее. CaO при низких температурах повышает вязкость, при более высоких, наоборот, ее понижает. Однако окислы двухвалентных металлов вообще понижают вязкость

расплава значительно меньше, чем окислы щелочных. Все эти изменения вязкости в зависимости от состава расплава несравненно меньше, чем при изменении температуры, они составляют всего несколько процентов от исходной величины (ср. с рис. 4). Однако, как будет показано ниже, обе причины при охлаждении лавы вызывают изменение ее вязкости в одном направлении — в сторону увеличения.

В табл. 1 приведены значения температур плавления и кипения возможных компонент силикатных расплавов, а также упругости их насыщенного пара. При переходе от чистых веществ к гетерогенной системе константы этих веществ существенно меняются. (К сожалению, такие данные для базальтовых расплавов в литературе отсутствуют.) Можно лишь предположить, что соотношение констант чистых веществ при их переходе в гетерогенную систему сохранится, хотя абсолютные значения будут другими. Это значит, что в базальтовом расплаве Na_2O и K_2O , например, будут иметь меньшие температуры кипения и большие давления насыщенных паров, чем MgO , CaO и Fe_2O_3 . Значения же этих констант по сравнению с их значениями для чистых веществ изменятся в сторону приближения к средней величине.

Так как скорость испарения вещества при данной температуре пропорциональна величине упругости его насыщенного пара, то можно ожидать испарения в первую очередь K , Na , затем Ca , Mg , Al , Fe и в последнюю очередь Si и их соединений. Поэтому в результате испарения состав расплава должен изменяться в сторону уменьшения отношения $(\text{K} + \text{Na}) / (\text{Ca} + \text{Mg} + \text{Fe})$, что, вообще говоря, должно привести к увеличению вязкости расплава.

Изменение состава расплава (уход легколетучей компоненты) может, кроме того, привести к понижению его температуры и отсюда — к резкому увеличению вязкости, началу процесса кристаллизации при той же температуре или уже при небольшом ее понижении.

3. Для того чтобы выяснить, насколько рассматриваемые процессы существенны в количественном отношении, следует оценить вероятное количество испаряющегося вещества.

Количество вещества, уходящего из расплава в процессе объемного испарения (кипения), в вязкой среде регламентируется скоростью диффузии вещества к газовым пузырькам из объема. Эта скорость в свою очередь зависит от вязкости и температуры расплава.

Оценим количество вещества, испаряющегося с поверхности расплава и в его объеме, с учетом диффузии молекул к плоской поверхности и к поверхности газовых пузырьков в объеме до 30 м лавы под 1 см² поверхности (задачи 1 и 2).

Задача 1

Испарение с плоской поверхности расплава в вакуум и диффузия атомов к поверхности. Связанные с этими процессами потери тепловой энергии.

Уравнение диффузии

$$(11) \quad \frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2},$$

где D — коэффициент диффузии. Граничное условие: $D \frac{\partial n}{\partial x} = \alpha n$ при $x = 0$. Здесь n — концентрация молекул в приповерхностном слое, а α — коэффициент, который нуж-

но определить. Это условие выражает то обстоятельство, что число молекул, приходящих из расплава на единицу его поверхности за единицу времени $\left(D \frac{\partial n}{\partial x}\right)$, равно числу молекул, испаряющихся с единицы поверхности расплава за единицу времени (αn). Для нахождения α положим, что τ — среднее время жизни одной молекулы на поверхности расплава. Тогда $1/\tau$ — число вылетов поверхностной молекулы за единицу времени. Если обозначить толщину единичного поверхностного слоя, с которого происходит испарение, δ , то $(1/\tau)n\delta$ — число молекул, вылетающих с единицы поверхности расплава за единицу времени. Из граничного условия следует, что $(1/\tau)n\delta = \alpha n$,

$$\text{откуда } \alpha = \frac{\delta}{\tau}.$$

В условиях равновесия жидкости с насыщенным паром число молекул, испаряющихся с поверхности расплава, равно числу молекул, достигающих этой поверхности. Поэтому

$$(12) \quad \frac{1}{\tau} n_0 \delta = \frac{v_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4},$$

где C — средняя скорость молекул, равная

$$(13) \quad \sqrt{\frac{8kT}{\pi m}};$$

n_0 — равновесная концентрация молекул внутри расплава при отсутствии диффузии; $v_{\text{нас. пара}}$ — концентрация молекул насыщенного пара («4» получается за счет интегрирования по всем телесным углам).

Таким образом,

$$(14) \quad \alpha = \frac{\delta}{\tau} = \frac{v_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4 \cdot n_0} = \frac{P_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4kT \cdot n_0},$$

ибо $v_{\text{нас. пара}} = P/kT$.

Решим теперь уравнение диффузии

$$\frac{\partial n}{\partial t} = D \frac{\partial^2 n}{\partial x^2},$$

учитывая, что при $t_0 = 0$ $n = n_0$ для $0 \leq x \leq \infty$ (начальное условие); при $x = 0$

$D \frac{\partial n}{\partial x} = \alpha n$ (граничное условие)

$$\alpha = \frac{P_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4kT \cdot n_0}.$$

Обозначим $\alpha/D = h$; тогда

$$(15) \quad h = \frac{P_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4kT \cdot n_0 \cdot D}.$$

Решение уравнения диффузии при данных начальных и граничных условиях имеет вид

$$(16) \quad n = h \int_0^{\infty} \Phi[(x+z), t] e^{-hz} dz,$$

где

$$(17) \quad \Phi[(x+z)t] = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x+z}{2\sqrt{Dt}}} e^{-u^2} du,$$

откуда

$$(18) \quad n = \frac{2n_0}{\sqrt{\pi}} \int_0^{\frac{x}{2\sqrt{Dt}}} e^{-u^2} du + \frac{n_0}{\sqrt{\pi Dt}} e^{hx+h^2Dt} \int_0^{\infty} e^{-(x+z+2hDt)^2} dz.$$

При $x = 0$ получим

$$(19) \quad \frac{n}{n_0} = \frac{2}{\sqrt{\pi}} e^{h^2Dt} \int_{h\sqrt{Dt}}^{\infty} e^{-u^2} du.$$

Найдем концентрацию молекул на поверхности расплава по истечении времени t после начала испарения.

Разлагая полученный интеграл в ряд, мы можем остановиться на каком-либо члене и принять сумму оставленных членов приближением для функции, причем ошибка будет по абсолютной величине меньше, чем последний сохранный член. Выбрав t таким, что

$$(20) \quad \frac{n_0}{2\sqrt{\pi}(h\sqrt{Dt})^3} < \varepsilon,$$

где ε — абсолютная погрешность приближенной формулы, получим вместо (19) приближенную формулу в виде

$$(21) \quad \frac{n}{n_0} = \frac{1}{h\sqrt{\pi Dt}}$$

или

$$\frac{n}{n_0} = \frac{4kT \cdot n_0 \cdot D}{P_{\text{нас. пара}} \cdot C \sqrt{\pi Dt}},$$

откуда

$$(22) \quad n = \frac{4kT n_0^2}{P_{\text{нас. пара}} \cdot C} \sqrt{\frac{D}{\pi t}}.$$

Здесь n — концентрация молекул в единичном приповерхностном слое в момент времени t . Число молекул, испаряющихся с единицы поверхности расплава за единицу времени, соответственно равно

$$(23) \quad \alpha n = n_0 \sqrt{\frac{D}{\pi t}}.$$

Оценим время t , начиная с которого приближенные формулы (22) и (23) применимы с точностью, до 10%.

Для этого положим

$$(24) \quad \varepsilon = 0,1 n_0$$

и решим уравнение

$$(25) \quad \frac{n}{2 \sqrt{\pi} (h \sqrt{Dt})^3} = \varepsilon,$$

или

$$\frac{n_0}{2 \sqrt{\pi} (h \sqrt{Dt})^3} = 0,1 n_0,$$

откуда

$$(26) \quad t = \frac{1}{(0,2)^{2/3} \pi^{2/3} h^2 D},$$

где

$$h = \frac{P_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4kT \cdot n_0 \cdot D}.$$

В нашей задаче $n_0 = 10^{22} \text{ см}^{-3}$,

$$(27) \quad C = \sqrt{\frac{\pi kT}{8m}} = 1,6 \sqrt{\frac{RT}{\mu}},$$

т. е. 10^6 см/сек , если принять $T = 1500^\circ \text{ К}$, а $\mu = 30 \text{ г/моль}$;

$$(28) \quad D = \frac{kT}{\eta \delta},$$

где δ — расстояние между двумя соседними молекулами ($\approx 10^{-8} \text{ см}$), а η — коэффициент вязкости базальтового расплава. При $T = 1500^\circ \text{ К}$, $\eta \cong 200 \text{ пуаз}$ и $D \cong 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$ (максимальная скорость диффузии).

Время (26), начиная с которого приближенные формулы (22) и (23) применимы с точностью до 10%, зависит от

$$h = \frac{P_{\text{нас. пара}} \cdot C}{4kT \cdot n_0 \cdot D},$$

а h , при прочих равных условиях, определяется значением $P_{\text{нас. пара}}$.

Если принять $P_{\text{нас. пара}} = 0,01 \text{ атм} = 10^4 \text{ бар}$, то $h = 10^6 \text{ см}^{-1}$ и $t = 10^{-6} \text{ сек}$.

Если принять $P_{\text{нас. пара}} = 10 \text{ бар}$, то $h = 10^3 \text{ см}^{-1}$ и $t = 10 \text{ сек}$.

Полное число молекул, испарившихся с единицы поверхности расплава за время t^* ($0 \leq t \leq t^*$), равно

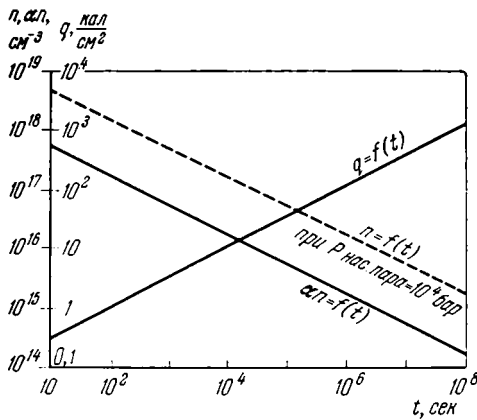
$$(29) \quad \int_0^{t^*} n_0 \sqrt{\frac{D}{\pi t}} \cdot dt = n_0 \sqrt{\frac{D}{\pi}} \int_0^{t^*} t^{-1/2} dt = 2n_0 \sqrt{\frac{Dt^*}{\pi}}.$$

Отсюда количество тепла, потерянного за время t^* с единицы поверхности расплава вследствие испарения, равно

$$(30) \quad q = 2n_0 \sqrt{\frac{Dt^*}{\pi}} \cdot \frac{\lambda}{N_0}.$$

Здесь λ — молярная скрытая теплота испарения с поверхности расплава, а N_0 — число Авогадро. Если принять $\lambda = 2 \cdot 10^4 \text{ кал/моль}$, то

$$(31) \quad q \cong 0,1 \sqrt{t^*} \text{ кал/см}^2.$$



5. Зависимости « n », « αn » и « q » от времени (см. табл. 2)

В табл. 2 приведены значения n и αn , рассчитанные по формулам (22) и (23) для t от 10 до 10^{10} сек, причем n рассчитано для двух значений давления насыщенного пара: 10^4 и 10 бар.

В последней графе таблицы даны значения q , подсчитанные по формуле (31). Соответствующие графики приведены на рис. 5.

Итак, тепло, потерянное вследствие испарения с поверхности расплава за 100 сек, как показал расчет, составляет лишь 1 кал/см^2 (см. табл. 2).

Количество тепла, потерянное единицей поверхности расплава вследствие излучения за 100 сек, равно $\approx 700 \text{ кал/см}^2$.

Таким образом, при рассмотренных условиях можно пренебречь потерей тепловой энергии из-за испарения с поверхности расплава в вакуум и диффузии молекул вещества к поверхности по сравнению с потерей вследствие излучения.

Таблица 2. Зависимость n , αn и q от времени

$t, \text{ сек}$	\sqrt{t}	$n = \frac{1,6 \cdot 10^{23}}{P_{\text{нас. пара}}} \cdot \frac{1}{\sqrt{t}}$		$\alpha n = \frac{1,9 \cdot 10^{18}}{\sqrt{t}}$	$q = 0,1 \sqrt{t^2} \text{ кал/см}^2$ $0 \leq t \leq t^*$
		$P_{\text{нас. пара}} = 10^4 \text{ бар}$	$P_{\text{нас. пара}} = 10 \text{ бар}$		
10	3,3	$5,0 \cdot 10^{18}$	$5,0 \cdot 10^{21}$	$5,7 \cdot 10^{17}$	0,3
10^2	10	$1,7 \cdot 10^{18}$	$1,7 \cdot 10^{21}$	$1,9 \cdot 10^{17}$	1
10^3	33	$5,0 \cdot 10^{17}$	$5,0 \cdot 10^{20}$	$5,7 \cdot 10^{16}$	3
10^4	10^2	$1,7 \cdot 10^{17}$	$1,7 \cdot 10^{20}$	$1,9 \cdot 10^{16}$	10
10^5	$3,3 \cdot 10^2$	$5 \cdot 10^{16}$	$5,0 \cdot 10^{19}$	$5,7 \cdot 10^{15}$	30
10^6	10^3	$1,7 \cdot 10^{16}$	$1,7 \cdot 10^{19}$	$1,9 \cdot 10^{15}$	100
10^7	$3,3 \cdot 10^3$	$5 \cdot 10^{15}$	$5 \cdot 10^{18}$	$5,7 \cdot 10^{14}$	300
10^8	10^4	$1,7 \cdot 10^{15}$	$1,7 \cdot 10^{18}$	$1,7 \cdot 10^{14}$	1000
10^9	$3,3 \cdot 10^4$	$5 \cdot 10^{14}$	$5 \cdot 10^{17}$	$5,7 \cdot 10^{13}$	3000
10^{10}	10^5	$1,7 \cdot 10^{14}$	$1,7 \cdot 10^{17}$	$1,7 \cdot 10^{13}$	10 000

Задача 2

Внутреннее испарение (кипение) и связанные с ним потери тепловой энергии.

1. Оценим время, в течение которого пар внутри пузырька становится насыщенным. $P_{\text{нас. пара}} = v_{\text{нас. пара}} kT$, откуда $v_{\text{нас. пара}} = P_{\text{нас. пара}}/kT$ ($v_{\text{нас. пара}}$ — концентрация молекул насыщенного пара внутри пузырька).

Рассмотрим три случая:

а) $P_{\text{нас. пара}} = 0,1 \text{ атм} = 10^5 \text{ бар}$, тогда $v_{\text{нас. пара}} = 5 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$;

б) $P_{\text{нас. пара}} = 0,01 \text{ атм} = 10^4 \text{ бар}$, $v_{\text{нас. пара}} = 5 \cdot 10^{16} \text{ см}^{-3}$;

в) $P_{\text{нас. пара}} = 10^{-5} \text{ атм} = 10 \text{ бар}$, $v_{\text{нас. пара}} = 5 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$.

Число молекул насыщенного пара внутри пузырька радиусом r равно

$$(32) \quad n' = v_{\text{нас. пара}} \frac{4}{3} \pi r^3.$$

Число молекул, испарившихся за время t с единицы поверхности расплава в пузырек (полость), равно

$$n'' = 2n_0 \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \text{ [см. (29)].}$$

Отсюда число молекул, испарившихся за время t внутрь пузырька с его граничной поверхности, равно

$$(33) \quad N = n'' S_{\text{пузырька}} = 2n_0 \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \cdot 4\pi r^2.$$

Для того чтобы пар в пузырьке по истечении времени t был насыщенным, необходимо, чтобы

$$v_{\text{нас. пара}} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3 = 2n_0 \sqrt{\frac{Dt}{\pi}} \cdot 4\pi r^2,$$

откуда

$$\frac{v_{\text{нас. пара}} \cdot r}{3} = 2n_0 \sqrt{\frac{D}{\pi}} \sqrt{t}$$

и

$$(34) \quad t = \frac{v_{\text{нас. пара}}^2 \cdot r^2 \cdot \pi}{36n_0^2 \cdot D}.$$

Примем $r = 0,1 \text{ см}$, а $D = 10^{-7} \text{ см}^2/\text{сек}$.

Тогда:

1) $t_1 \cong 2 \cdot 10^{-5} \text{ сек}$; 2) $t_2 \cong 2 \cdot 10^{-7} \text{ сек}$; 3) $t_3 \cong 2 \cdot 10^{-13} \text{ сек}$.

Приведенные расчеты показывают, что во всех случаях пар в пузырьке практически мгновенно становится насыщенным.

В наших рассуждениях мы не учитывали, что пузырек не пустой, а заполнен «заземленным» газом. Наличие газа увеличивает, конечно, время t , но даже если это время возрастает на 1—2 порядка, результат существенно не изменится.

Таким образом, можно принять без значительной погрешности, что пар внутри пузырька насыщенный.

2. Оценим теперь количество вещества, уносимое с единицы поверхности расплава за счет внутреннего испарения в пузырьки, которые в конце концов выходят через эту наружную поверхность.

Давление внутри пузырька равно:

$$(35) \quad P_{\text{газа}} + P_{\text{нас. пара}} = P_{\text{внешн.}} + 2\sigma/r_x.$$

Здесь $P_{\text{внешн.}} = mgx$,

где x — глубина слоя расплава по отношению к его поверхности; σ — коэффициент поверхностного натяжения [расплава]; r_x — радиус пузырька на глубине x ; $P_{\text{газа}}$ — давление «защемленного» газа внутри пузырька на глубине x .

Примем глубину слоя $x = 30$ м. $P_{\text{внешн.}}$ на этой глубине x — порядка 1 атм (10^6 бар).

В самый начальный момент испарения] можно пренебречь $P_{\text{нас. пара}}$ по сравнению с $P_{\text{газа}}$, откуда $P_{\text{газа}} = P_{\text{внешн.}} + 2\sigma/r_x$, где r_x — радиус пузырька на глубине x .

Из рис. 3 следует, что на глубине x испарение может происходить лишь в такие пузырьки, для которых $2\sigma/r_x \cong P_{\text{внешн.}}$.

Отсюда для $x = 30$ м и $\sigma = 400$ дн/см², $r_x = 2\sigma/mgx = 8 \cdot 10^{-4}$ см.

При подъеме радиусы пузырьков увеличиваются. При $x = 0$, $P_{\text{внешн.}} = mgx = 0$ давлением «защемленного» газа можно пренебречь по сравнению с давлением насыщенного пара внутри пузырька, и из формулы (35) следует, что $P_{\text{нас. пара}} = 2\sigma/r_0$, откуда, принимая $P_{\text{нас. пара}} \approx 10^6$ бар,] получаем значение радиуса пузырька на выходе $r_0 = 2\sigma/P_{\text{нас. пара}} = 8 \cdot 10^{-3}$ см. Отношение объемов пузырьков на выходе и в глубине соответственно, равно $r_x^3/r_0^3 = 10^3$.

На каждый 1 см³ базальтового расплава приходится $4 \cdot 10^{-2}$ см³ газовой фазы. В столбе лавы высотой 30 м и площадью 1 см² объем газа составляет $4 \cdot 10^{-2} \cdot 3 \cdot 10^3 = 120$ см³.

Как показано выше, этот объем в результате испарения внутрь пузырьков и их расширения увеличивается в 10^3 раз.

Отсюда полный объем выходящей газовой фазы равен $1,2 \cdot 10^6$ см³.

Подсчитаем теперь массу газовой фазы, вышедшей через единицу поверхности расплава за счет внутреннего испарения.

Из уравнения Клайперона — Менделеева следует, что

$$(36) \quad PV = \frac{m}{\mu} RT.$$

В нашем случае $P = P_{\text{нас. пара}} = 10^6$ бар; $T = 1500^\circ$ К; $V = 1,2 \cdot 10^6$ см³.

Тогда, зная, что $R = 8,315 \cdot 10^7$ эрг/моль град, получим

$$\frac{m}{\mu} = - \frac{PV}{RT} = 0,1 \text{ моль/см}^2.$$

Итак, общее количество тепла, уносимого с единицы поверхности расплава вследствие испарения вещества внутрь пузырьков,

$$q_1 = \frac{m}{\mu} \lambda,$$

где $\lambda = 20$ ккал/моль = $2 \cdot 10^4$ кал/моль; $m/\mu = 0,1$ моль/см².

Отсюда $q_1 = 2 \cdot 10^3$ кал/см².

Мы видим, что количество тепловой энергии, потерянной единицей поверхности расплава вследствие внутреннего испарения при полном выходе газовой фазы из слоя глубиной порядка 30 м, составляет $2 \cdot 10^3$ кал/см², что соизмеримо с потерей тепловой энергии за счет излучения (≈ 7 кал/см² сек).

При этом, как показано в задаче 1, потерей тепловой энергии из-за испарения только с поверхности расплава в вакуум можно пренебречь по сравнению с потерей вследствие излучения.

Рассмотренные задачи были решены при постоянном значении вязкости, температуры и коэффициента диффузии.

Однако вязкость очень сильно зависит от температуры, а с изменением вязкости существенно меняются скорость диффузии и скорость поднятия (выноса к поверхности) газовых пузырьков. Поэтому для обоснования предыдущих расчетов следует оценить соотношения скорости охлаждения лавы и скорости выноса пузырьков из расплава.

Для ориентировочной оценки процесса охлаждения лавового покрова на Луне рассмотрим основную массу лавы, находящуюся под верхним пористым слоем.

Мы принимаем характеристики верхнего пористого слоя по данным радиоастрономии. Будем считать, что толщина слоя 0,5 м, его коэффициент теплопроводности $k = 0,5 \cdot 10^{-5}$ кал/смсек град (Троицкий, 1965).

Оценим сначала время образования самой пористой корки, причем для простоты расчета будем учитывать только охлаждение за счет излучения. Пусть за время dt масса корки с теплоемкостью c охладится на dT градусов. Тогда $cmdT = aT^4dt$. Мы рассматриваем поток тепла с 1 см^2 поверхности, тогда $m = 50 \text{ см} \cdot 1 \text{ см}^2 \cdot 2 \text{ г/см}^3 = 100 \text{ г}$; $c = 0,2 \text{ кал/г} \cdot \text{град}$; $a = 1,37 \cdot 10^{-12} \text{ кал/см}^2\text{сек град}^4$ (приближенно считаем температуру всей массы m одинаковой).

Интегрирование дает следующее выражение для времени образования корки:

$$t = \frac{cm}{3a} \cdot \left(\frac{1}{T_1^3} - \frac{1}{T_0^3} \right),$$

где $T_0 = 1500^\circ \text{ К}$; $T_1 = 1100^\circ \text{ К}$.

Отсюда, подставляя все числовые значения, получим: $t \cong 30 \text{ мин}$. Учет охлаждения за счет других факторов еще уменьшит эту величину.

Итак, временем охлаждения пористой корки можно пренебречь.

Оценим время остывания излившейся на поверхность Луны лавы, находящейся под пористой коркой. Уравнение теплопроводности:

$$(37) \quad \frac{\partial T}{\partial t} = \kappa \frac{\partial^2 T}{\partial x^2},$$

десь $T(x, t)$ — температура ($^\circ \text{С}$), зависящая от расстояния от поверхности x и времени t ; κ — коэффициент температуропроводности вещества расплава; $\kappa = k/\rho c$, где k — коэффициент теплопроводности, ρ — плотность, c — удельная теплоемкость вещества лавы. Начальную температуру лавы считаем постоянной: $T(x, 0) = T_0$.

Так как поперечные размеры лавы обычно много больше ее толщины, для большинства точек можно не учитывать остывания с краев. Поэтому мы будем считать, что T зависит только от одной координаты, $T = T(x)$, $x \geq 0$.

Режим остывания определяется теплообменом расплава со средой на границе $x = 0$. Разница режимов теплообмена на Луне и на Земле легче всего выявляется, если задана величина теплового потока через поверхность $x = 0$. С достаточной степенью точности можно предположить, что величина теплового потока пропорциональна разности температур между поверхностью и окружающей ее средой. В этом случае поток равен $H(T - T_0)$, где T_0 — температура среды, T — температура на поверхности лавы, H — коэффициент пропорциональности.

Рассмотрим теперь конкретно граничные условия для интересующих нас случаев.

1. Остывание лавы на Земле. Теплообмен в основном обусловлен излучением и конвекцией. Если взять среднюю температуру $T_{\text{ср.}} = 800^\circ \text{С}$, коэффициент $H = 27,5 \cdot 10^{-5} \text{ кал/см}^2 \text{ сек, град}$, то поток

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = 27,5 \cdot 10^{-5} T \text{ кал/см}^2 \text{ сек.}$$

Переведем величину потока в единицы $\text{ккал/м}^2 \text{ час}$, тогда

$$k \frac{\partial T}{\partial x} = 10 T \text{ ккал/м}^2 \text{ час.}$$

Для коэффициента теплопроводности базальтовой лавы можно взять значение $k = 2 \text{ ккал/м час град}$ (Берч и др., 1949). Тогда $h = H/k = = 5(1/\text{м})$.

Значения параметров уравнения следующие:

$$h = 5 (1/\text{м}), \kappa = 3,6 \cdot 10^{-3} (\text{м}^2/\text{час}),$$

$$h \sqrt{\kappa} = 0,3 \cdot (1/\text{час}^{1/2}).$$

Общее решение уравнения теплопроводности с граничным условием

$$\frac{\partial T}{\partial x} = hT,$$

при $x = 0$ и с начальным условием $T = T_0$ при $t_0 = 0$ имеет вид (Карслоу, Егер, 1964)

$$(38) \quad \frac{T}{T_0} = \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) + \exp(hx + h^2\kappa t) \cdot \Phi^*\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + h\sqrt{\kappa t}\right).$$

Функции Φ и Φ^* затабулированы.

На рис. 6 приведено решение для точек поверхности ($x = 0$), где оно принимает более простой вид:

$$(39) \quad \frac{T_{\text{пов}}}{T_0} = e^{h^2\kappa t} \cdot \Phi^*(h\sqrt{\kappa t}).$$

2. Рассмотрим теперь остывание лавы на Луне под мало проводящей теплокоркой толщиной d . Пусть под коркой $x < 0$, на верхней ее границе $x = d$. Константы основной массы лавы — $k_1; \rho_1; c_1$, для вещества корки — k_2, ρ_2, c_2 . Имеем два уравнения теплопроводности:

$$(40) \quad \rho_1 c_1 \frac{\partial T}{\partial t} = k_1 \frac{\partial^2 T}{\partial x^2}, \quad x \leq 0,$$

$$(41) \quad \rho_2 c_2 \frac{\partial T'}{\partial t} = k_2 \frac{\partial^2 T'}{\partial x^2}, \quad 0 \leq x \leq d.$$

Условия на границе $x = 0$ имеют вид

$$(42) \quad T = T',$$

$$(43) \quad k_1 \frac{\partial T}{\partial x} = k_2 \frac{\partial T'}{\partial x},$$

на поверхности $x = d$

$$(44) \quad k_2 \frac{\partial T'}{\partial x} = aT^4.$$

В каждый момент времени t в пределах слоя малой толщины температуру можно считать установившейся. Уравнение (41) тогда упрощается:

$$\frac{\partial^2 T'}{\partial x^2} = 0, \text{ т. е. } T' = Ax + B.$$

Полагая $T' = T_1$ при $x = 0$; $T' = T_2$ при $x = d$, получаем

$$T' = T_1 + \frac{(T_2 - T_1)x}{d}.$$

Условие равенства потоков (43) принимает вид

$$k_1 \frac{\partial T}{\partial x} = k_2 \frac{T_2 - T_1}{d},$$

а при $x = d$ (на поверхности)

$$k_2 \frac{T_2 - T_1}{d} = aT^4.$$

На границе $x = 0$ $T = T_1$, т. е.

$$(45) \quad T + \frac{k_1 d}{k_2} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = T_2.$$

Пока температура лавы T на границе с коркой много больше, чем температура на поверхности корки $T \gg T_2$, условие (45) можно приближенно записать в виде

$$(46) \quad T + \frac{k_1 d}{k_2} \cdot \frac{\partial T}{\partial x} = 0.$$

Обозначим коэффициент $k_2/k_1 d$ через h .

Принимая, по литературным данным, из инфракрасных и радиоастрономических наблюдений Луны $k_1 = 0,5 \cdot 10^{-2}$ кал/см сек град; $k_2 = 0,5 \cdot 10^{-5}$ кал/см сек град; $d = 50$ см, получим $h = 2 \cdot 10^{-3}$ (1/м).

Итак, граничное условие

$$\frac{\partial T}{\partial x} = -hT$$

при $x = 0$.

Значения параметров: $h = 2 \cdot 10^{-3}$ (1/м); $\kappa = 3,6 \cdot 10^{-3}$ (м²/час);

$$h \sqrt{\kappa} = 1,2 \cdot 10^{-4} \text{ (1/час}^{1/2}\text{)}.$$

Общее решение имеет вид

$$(47) \quad \frac{T}{T_0} = \Phi\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}}\right) + e^{hx+h^2\kappa t} \cdot \Phi^*\left(\frac{x}{2\sqrt{\kappa t}} + h\sqrt{\kappa t}\right).$$

Для поверхности ($x = 0$)

$$(48) \quad \frac{T_{\text{пов}}}{T_0} = e^{h^2\kappa t} \cdot \Phi^*(h\sqrt{\kappa t}).$$

Вид этой кривой охлаждения при значениях параметров, взятых для Луны, приведен на рис. 6. Решение справедливо только в пределах времени t , для которых применимо выведенное граничное условие (46). Оценим это время. По истечении значительного времени после начала охлаждения лавы

$$\frac{T_{\text{пов}}}{T} \approx \frac{1}{h \sqrt{\pi \kappa t}}.$$

Отсюда

$$(49) \quad t = \left(\frac{T_0}{T_{\text{пов}}} \right)^2 \cdot \frac{1}{h^2 \pi \kappa}.$$

Пусть начальная температура лавы $T_0 = 1500^\circ \text{ К}$. Известно, что температура $\approx 100^\circ \text{ К}$ наблюдается в постоянно затененных местах поверхности Луны. Поэтому можно положить $T_{\text{пов}} > 100^\circ \text{ К}$. Тогда $t < 6 \cdot 10^5 \text{ лет}$. Следовательно, в этих пределах времени условия остывания и кристаллизации вещества под поверхностной коркой на Луне должны сильно отличаться от условий на поверхности Земли. Они скорее приближаются к условиям застывания интрузивных пород на Земле. Из рис. 6 видно, что скорость охлаждения лавы под коркой весьма мала. С глубиной кривая охлаждения лавы на Луне не меняется, но весь процесс охлаждения происходит с запаздыванием.

Сравним эти данные со скоростью поднятия пузырьков в расплаве. Исходим из соотношения

$$(50) \quad \frac{4}{3} \pi r^3 (\rho - \rho_0) g_1 = 6 \pi r \eta v,$$

где r — радиус пузырька; v — скорость его поднятия, ρ_0 — плотность пузырька; ρ — плотность лавы; g_1 — ускорение силы тяжести на Луне. Отсюда

$$v = \frac{2r^2 \rho g_1}{9\eta}.$$

При этом нас интересуют пузырьки радиусом $r \geq 10^{-3} \text{ см}$ и значения вязкости в пределах $10^2 - 10^3 \text{ пуаз}$ (см. ранее).

Сравнивая рис. 7 и рис. 6, можно сделать вывод, что пузырьки $r > 10^{-2} \text{ см}$ будут успевать подниматься на высоту 30 м при практически постоянной температуре расплава, т. е. вынос вещества с глубины в область, находящуюся под коркой, возможен.

Отсутствие разработанной термодинамической теории базальтовых расплавов не позволяет, однако, получить расчетным путем сколько-нибудь точных данных для описания процесса в целом.

Экспериментальные же исследования процесса охлаждения базальтовых расплавов в открытой системе с оценкой интенсивности процесса испарения (кипения) расплава в вакууме и при атмосферном давлении почти не проводились. Экспериментальная проверка особенностей рассмотренного выше процесса (образования лавового покрова в условиях Луны) связана с оценкой законности моделирования этого процесса в земных условиях, т. е. вопрос заключается в возможности создания на Земле физических условий, определяющих этот процесс. Главными являются следующие условия: наличие высокого вакуума и малая величина g .

Получение высокого вакуума представляет значительные технические трудности, но они практически вполне преодолимы.

Давление лунной атмосферы — порядка 10^{-13} тора. Современный технический вакуум, получаемый в нормальной лабораторной установке, будет не хуже, чем 10^{-5} тора. Сравнительно доступными средствами достигается давление 10^{-8} тора. Наилучшими средствами в криогенных камерах уже сейчас достигается вакуум 10^{-15} тора в объемах до $0,3 \text{ м}^3$ (Frank, 1965).

Однако в большинстве экспериментов достижение такого вакуума не требуется. Как указывалось выше, давление быстро нарастает с глубиной. Давление увеличивается от 10^{-13} до 10^{-5} тора уже в слое толщиной $4 \cdot 10^{-5} \text{ см} = 0,0004 \text{ мм}$ при плотности пород $\rho = 2 \text{ г/см}^3$. Поэтому изучение процессов вакуумного испарения, фракционирования, пенообразования и т. д. возможно при давлениях 10^{-5} тора с небольшой погрешностью.

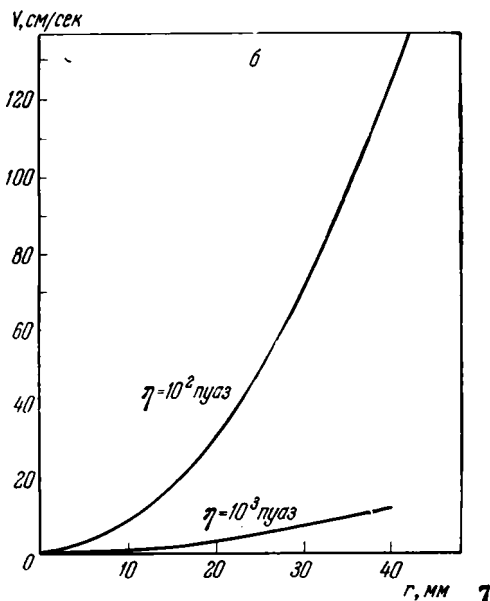
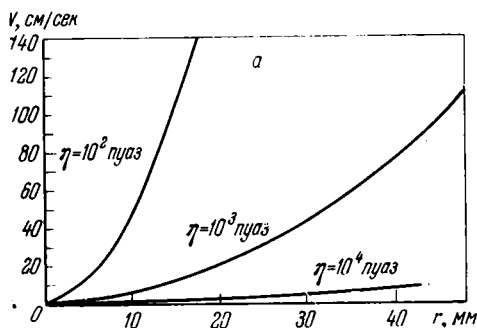
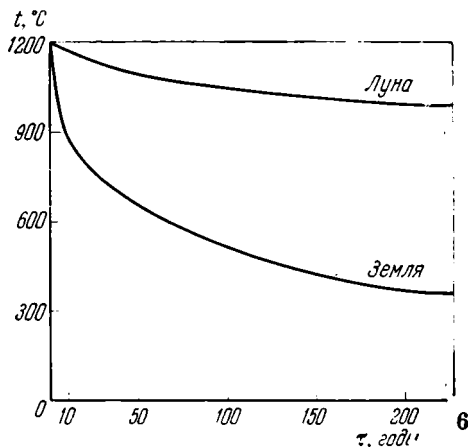
Однако следует иметь в виду, что космический вакуум существует в формировании самого тонкого слоя и в первую очередь при рассмотрении процессов, связанных со спеканием мелкодисперсной (пылевидной) структуры в монолитное вещество при сравнительно низких температурах. При более высоких температурах спекание будет хорошо моделироваться и в условиях технического вакуума.

Большое земное ускорение будет значительно облегчать моделирова-

6. Охлаждение лавы на поверхности Земли и под пористой коркой на Луне

7. Зависимость скорости подъема пузырьков от их радиуса при различной вязкости расплава

а — на Земле; б — на Луне



ние процессов, связанных с распределением тяжелых и тугоплавких частиц по высоте, здесь имеет смысл прибегнуть к увеличению g с помощью центрифуги для уменьшения высоты распределения до разумных лабораторных размеров. Приведение высоты к лунному ускорению представляет простую расчетную задачу.

В исключительных случаях представляется возможным проведение контрольных опытов с уменьшением g обычным способом, хотя бы и в течение непродолжительного времени.

Моделирование извержения лавы в вакуум можно осуществить, нагревая небольшой объем магмы в закрытой ампуле из тугоплавкого инертного материала (например, молибдена) и затем внезапно его открывая. Внешний вакуум в этом эксперименте может быть не очень велик, порядка сотых долей тора. Повышение внешнего давления в момент «извержения» определяется соотношением объема внешней камеры и объема ампулы, а также производительностью вакуумных насосов. Во всяком случае, обеспечение разности давлений в 10 тыс. раз вполне доступно в обычных установках.

Моделирование временных процессов возможно только в тех случаях, для которых имеется надежная связь между скоростью процесса и другим параметром, поддающимся регулировке. Например, диффузионные процессы можно значительно ускорить за счет увеличения температуры.

Таким образом, большинство процессов, происходящих при образовании лавового покрова на Луне, поддается моделированию в земных лабораторных установках.

К ним относятся: 1) извержение лавы в вакуум; 2) дегазация поверхности расплава; 3) моделирование градиента температур с глубиной в процессе охлаждения; 4) моделирование процесса испарения в широком интервале температур; 5) моделирование процесса образования поверхностной корки в условиях высокого вакуума и многие другие.

Основной трудностью при моделировании остается приближенность представлений о составе лунной поверхности.

Добар и др. (Dobar, 1965; Dobar a. oth., 1964) проводили работы по экспериментальному получению поверхностного слоя Луны. Высокопористый слой был получен при помещении предварительно расплавленной в атмосфере лавы под колокол с давлением до 10^{-8} тора. Авторы сравнивали свойства полученной поверхности с оптическими и теплофизическими свойствами поверхности Луны. По-видимому, не целесообразно внесение предварительно расплавленного материала в вакуумную систему с последующей откачкой. Небольшие размеры вакуумной камеры должны привести к резкому падению вакуума в момент «извержения». Представляется более разумным проводить подобные эксперименты в камере значительно большего размера с нагревом закрытой ампулы, помещенной в вакуумной камере.

Дж. Грин (1963) теоретически рассмотрел процессы вулканизма на Луне и на Земле. В более поздней работе (Green, 1965) он уделял большое внимание изменениям в процессе дифференциации вещества при изменении вязкости. Как температура, так и давление с глубиной растут; вязкость с увеличением температуры уменьшается, а с увеличением давления возрастает, но по-разному на Земле и на Луне.

В настоящей работе мы не касаемся глубинных процессов, поэтому подробно рассматривать работу Дж. Грина не будем.

В работе Б. Воннегут и др. (Vonnegut a. oth., 1966) приводятся результаты изучения химического состава конденсата (испаряющегося вещества, собранного на холодную поверхность).

Авторы получили данные, указывающие на примерно одинаковый химический состав конденсата в вакууме и атмосфере. Отмечается испарение К, Са, Fe, Si в атмосфере и К, Са, Fe в вакууме.

Нами исследовался химический состав конденсатов при нагревании базальта и гранита до температуры 1200° С в вакууме 10^{-5} тора (см. табл. 3).

Таблица 3. Перечень плавок исследуемых пород в вакууме

№ обр.	Название породы	Количество породы, г	Время плавл., час.	t плавл., °С	Количество испарившейся породы, г
1	Базальт	30	3	900	0,00
2	»	30	3	1000	0,30
3	»	30	3	1100	0,55
4	»	30	3	1200	0,65
5	Гранит	20	3	900	0,00
6	»	20	3	1000	0,10
7	»	20	3	1100	0,20
8	»	20	3	1200	0,35

Примечание. В таблице приведены усредненные данные по нескольким плавкам.

Результаты химического анализа приведены в табл. 4 в виде отношения процентного одержания элементов в конденсате к содержанию их в исходном образце. Как видно из табл. 4, в базальтах наблюдается селективный выход элементов: наибольшая потеря К и Na, существенно меньшая Fe, при незначительной потере остальных элементов. Однако, как показал химический анализ оставшегося расплава, не происходит полного выки-

Таблица 4. Относительный выход элементов в конденсат*

Элемент	Обр. 2	Обр. 4	Обр.4**	Обр. 4 ***	Обр. 4 ****	Обр. 7	Обр. 8
Si	0,06	0,67	0,61	0,05	0,04	0,36	0,17
Al	0,11	0,14	0,004	0,03	0,12	0,03	0,09
Fe	1,53	1,58	1,10	0,94	0,69	45,0	21,8
Mg	0,03	0,61	0,03	0,04	0,02	—	4,3
Ca	0,02	0,14	0,14	0,14	0,11	0,27	1,30
Na	10,7	11,0	11,5	0,6	7,3	1,58	7,5
K	39,0	—	42,0	52,0	67,0	5,6	8,1

* Номера образцов соответствуют номерам табл. 3. ** Нагрев в течение 5 час. *** Нагрев в течение 4 час. **** Нагрев в течение 3 час.

пания даже таких элементов, как К и Na. Это можно объяснить тем, что в течение опыта (3—6 час) не все образующиеся пузырьки успевали выйти на поверхность при данной вязкости расплава, либо тем, что образуются соединения, удерживающие некоторую часть этих элементов.

Обращает на себя внимание различие в составе конденсатов гранитов и базальтов: относительно большая потеря Fe и малая — К и Na в гранитах. Однако малое число плавков гранита в вакууме не позволяет сейчас быть уверенными в достаточной представительности данных по химическому составу их конденсатов. Остается невыясненным вопрос о степени объемности процесса выкипания. В этих направлениях работа будет продолжена.

Были также проведены эксперименты по получению конденсатов расплавов в атмосфере. При нагреве до 1200°C конденсат отсутствовал. Этот результат может быть объяснен не только полным отсутствием испарения в атмосфере, но также и явлениями, связанными со столкновениями вылетающих из расплава молекул с молекулами газов атмосферы, а также возникновением конвекционных потоков газа между расплавом ($t = 1200^{\circ}\text{C}$) и мишенью ($t = 180^{\circ}\text{C}$). Предполагается проведение опытов в атмосфере нейтрального газа с оценкой выхода элементов по химическому составу газа.

Таким образом, избирательное испарение в поверхностном слое должно быть причиной различия в минералогическом составе поверхностной корки и более глубоких частей лавовых покровов на Луне. Это обстоятельство следует учитывать при расшифровке радиоастрономических данных, а также при определении типа лунных пород по радиоактивности лунной поверхности, так как одним из основных источников излучения является радиоактивный изотоп калия, содержание которого в поверхностном слое должно быть меньше, чем в объеме.

На основании изложенного можно сделать следующие выводы.

1. Вероятность образования пористой корки на лавовых покровах на Луне больше, чем на Земле, и может распространяться на большие глубины.

2. Формирование микроструктуры подкоркового слоя происходит в режиме медленного охлаждения, позволяющего расплаву дегазироваться и приводящего к значительному уменьшению содержания аморфной фазы. Следовательно, на Луне при существовании большой мощности лавовых покровов можно ожидать нахождения в их нижних частях полнокристаллических изверженных пород.

3. Можно различать по крайней мере два слоя лавового покрова на Луне: слой, в котором кипение возможно, и слой, где оно невозможно; на границе между этими слоями следует ожидать наличия газовых полостей.

4. Большая вероятность изменения состава расплава при охлаждении на Луне может привести к минералообразованию, отличному от имеющего место на Земле¹.

¹ Особенности процессов минералообразования на Луне могут быть также обусловлены отсутствием атмосферы (кислорода), вызывающим сдвиг величины равновесного отношения $\text{FeO}/\text{Fe}_2\text{O}_3$ в сторону увеличения, вплоть до восстановления части окислов до металлического железа (Кеннеди 1950). Этот вопрос, однако, в данной работе не рассматривается.

Литература

- Берч Ф., Шерер Дж., Спайсер Г.**
1949. Справочник для геологов по физическим константам. М., ИЛ.
- Виноградов А. П.**
1967. Образование океана.— Изв. АН СССР, серия геол., № 4.
- Волярович М. П., Леонтьева А. А.**
1937. Исследование вязкости обсидианов в связи с вопросом генезиса пемзы.— Докл. АН СССР, 17, № 8.
- Грин Дж.**
1963. Геологические науки в применении к исследованиям Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Иодер Г. С., Тилли К. Э.**
1965. Происхождение базальтовых магм.— М., изд-во «Мир».
- Карслоу Г. К., Егер Д.**
1964. Теплопроводность твердых тел. М., изд-во «Наука».
- Кеннеди Дж.**
1950. Равновесие между летучими окислами железа.— В кн. «Вопросы физико-химии в минералогии и петрографии». М., ИЛ.
- Коаырев Н. А.**
1965. Вулканизм планет.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., изд. Геогр. об-ва СССР.
- Мчедлов-Петросян О. П.**
1965. Термодинамика силикатов. М., изд-во «Мир».
- Наседкин В. В.**
1962. Водосодержащие вулканические стекла кислого состава, их генезис и изменения. Автореф. канд. дисс. М.
- Рахин Г. А.**
1965. Минералообразование в основных и ультраосновных силикатных расплавах при неравновесных условиях кристаллизации. Автореф. докт. дисс. М.
- Ритман А.**
1964. Вулканы и их активность. М., изд-во «Мир».
- Тихонов А. К., Самарский А. А.**
1953. Уравнения математической физики. М., Гос. изд-во. технико-теоретической литературы.
- Троицкий В. С.**
1965. Состав и структура пород лунной поверхности.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., изд. Геогр. об-ва СССР.
- Френкель Я. И.**
1945. Кинетическая теория жидкостей. М., Изд-во АН СССР.
- Хабаков А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
- Эспе В.**
1962. Технология электровакuumных материалов, т. I. М., Госэнергоиздат.
- Dobar W. Z.**
1965. Behaviour of lava on the lunar surface.— Ann. N. Y., Acad. Sci., 123, art. 2.
- Dobar W. Z., Tiffany O. L., Gnsedinger J. P.**
1964. Simulated extrusive magma solidification in vacuum.— Icarus, 3.
- Frank L. B.**
1965. Production-type UHV system has 10^{-15} torr capability.— Res. Developm., 16, N 10.
- Green J.**
1965. Tidal and gravity effects intensifying lunar defluidization and volcanism.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 123, art. 2.
- Ranger VII. Technical Rept N 32-700 NASA. Pasadena, California Inst. Technol., 1965.**
- Vonnegut B., McConnell R., Allen R.**
1966. Evaporation of lava and its condensation from the vapour phase in terrestrial and lunar volcanism.— Nature, 209, N 5022.

Некоторые особенности мелких кратеров Луны

А. Л. Суханов

Существующий в селенологической литературе термин «кратер-лунка» (кратерочек, craterlet, small crater) нуждается в уточнении. Обычно так называют кратеры с диаметром порядка первых километров, и, таким образом, термину придается чисто «размерный» смысл, причем крайние, граничные значения размеров остаются неопределенными. При генетической однородности кратеров всех размеров такое употребление термина оправдано. Например, в случае одинакового метеоритного происхождения всех кратеров они должны иметь одинаковую форму и отличаться лишь размерами и относительным количеством. Так, распределение кратеров на графиках «диаметр — количество» повторяет распределение метеоритов по массам (Ranger VII, 1965) и, казалось бы, говорит о едином метеоритном происхождении всех кратеров.

Однако некоторые данные свидетельствуют о том, что по формам и особенностям распределения на поверхности Луны кратеры-лунки можно выделить из всего сообщества кратеров и что наряду с лунками ударного происхождения наблюдаются другие — определенно эндогенного происхождения. В этой работе рассматриваются особенности строения и главным образом распределения кратеров-лунок. В отличие от крупных кратеров с их плоскими днищами, центральными горками, террасированными склонами и четкими, зачастую полигональными валами, кратеры-лунки обладают плавными, округлыми очертаниями, с мягко вогнутым дном и низким размытым валом. Возникает вопрос — где же проводить границу между кратерами-лунками, с одной стороны, и крупными цирками и кратерами — с другой. Другими словами, начиная с каких диаметров в строении кратера появляются такие структуры, как центральные горки, террасированные склоны и др.

Изучение имеющихся материалов показывает, что диаметр кратеров с центральной горкой, как правило, не менее 7 км. Правда, встречаются, но как редкие исключения, и меньших размеров (так 3-километровый кратер с возвышением в центре виден на снимках Рейнджера VIII). Выпук-

лые образования, видимые в некоторых мелких лунках, скорее всего, являются изолированными глыбами. Плоские днища появляются у кратеров от 10—15 км в поперечнике. Но единичные примеры такого строения встречаются и у 6-километровых лунок (Дарне J, лунка между кратерами Парри и Бонплав). Признаки полигональности редко встречаются для диаметров меньше 5—7 км (Гортензий D, лунка восточней Фра Мауро). Наконец, наименьший кратер с двойным кольцевым валом, Март, имеет диаметр 6 км¹. К этому следует добавить, что поперечник лунок, объединенных в цепи или сидящих на куполах, не превышает 5—6 км, а обычно равен 2—4 км.

Таким образом, верхний предел кратеров-лунок приблизительно можно считать равным 5—7 км. Нижний предел менее ясен. Лунки сохраняют свою форму при уменьшении диаметра до наименьших, видимых на фотографиях автоматических станций. Можно только отметить, что по фотографиям Рейнджера IX с трещинами связаны лунки не менее 500—700 м в поперечнике, лунки меньших размеров не объединяются в цепочки. Цифра 300 м приводится американскими исследователями, считающими, что количество лунок с поперечником менее 300 м резко возрастает, как предполагается, за счет вторичных кратеров (Ranger VII, 1965). Какое-то значение имеет и диаметр 30 м (соответственно 5—10 м глубины), так как лунки с диаметром меньше 30 м редко окружены светлыми выбросами и ореолами (там же).

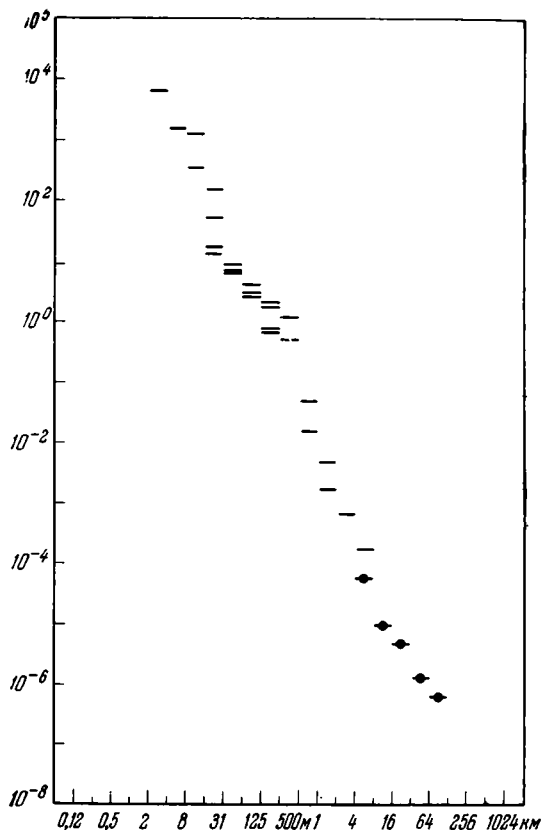
Если теперь вернуться к распределению кратеров по диаметрам (рис. 1) и рассмотреть этот график детальней, то окажется, что провести через данные значения плавную кривую можно лишь с известным приближением. Кривая должна образовывать слабые, но все же заметные изгибы на значениях диаметров в 15—30 м, 250—500 м и 5—10 км. Совпадение этих значений с теми, которые отмечены выше, по-видимому, не случайно. Таким образом, кратерами-лунками следует, по мнению автора, называть образования от 0,3—0,7 до 5—7 км в поперечнике.

Вероятно, при построении разобранного выше графика в подсчет вошли образования разного генезиса. Так, если считать все лунки метеоритными, то, исходя из количества метеоритов, выпадающих на единицу площади за определенное время, можно определить, какое время прошло с момента образования Моря Облаков (в районе падения Рейнджера VII). Оказывается, что это время составляет около 3,5 млрд. лет. Однако доморская история Луны разделяется по крайней мере на четыре этапа, каждый из которых по длительности сравним с периодом кратерообразования на поверхности морей. В таком случае возраст лунной поверхности будет приближаться к 15 млрд. лет, что мало правдоподобно.

Следовательно, необходимо искать различия между метеоритными и вулканическими кратерами-лунками. Если для крупных кратеров и цирков такие критерии можно видеть в их внутреннем строении и реже — в их взаимном расположении, то для простых однообразных кратеров-лунок в первую очередь надо искать закономерности в их распределении, что должно помочь выяснению генезиса этих образований.

1. Группировка лунок в определенных участках морей прежде всего привлекает внимание. Можно говорить о «зараженности» лунками неко-

¹ Редкие случаи двойных валов у 100—200-метровых лунок, вероятно, объясняются слоистостью субстрата.



1. Распределение количества после-морских кратеров в зависимости от их размеров

По вертикали — количество кратеров на 1 км². По горизонтали — диаметры кратеров (от 0,12 м до 1024 км). Кружки — данные наземных (телескопических) наблюдений, штрихи — данные Рейнджера VII

торых морских районов. Так, по фотографиям, полученным Рейнджером VII, и по картам, составленным на их основе, хорошо видно, что плотность лунок на днищах затопленных кратеров больше, чем в окружающих областях (Герике, Бонплан, Парри).

К. П. Станюкович и В. А. Бронштэн (Луна, 1960, стр. 305) пишут: «Исследование полузатопленных кратеров-фантомов, располагающихся на поверхности лунных морей, показало, что на валах этих кратеров находится более 45% мелких кратеров от общего их количества, приходящегося на моря. Между тем общая площадь кратеров-фантомов составляет менее 20% площади морей». По-видимому, формулировка неточна, поскольку мелкие кратеры располагаются не столько на валах, сколько на площадях, ограниченных валами, либо вне кратера — в непосредственной близости от него, на расстоянии 1—2 диаметров от центра. В противном случае непонятно, почему приводится процент площади кратеров-фантомов от площади морей, а не процент площади валов.

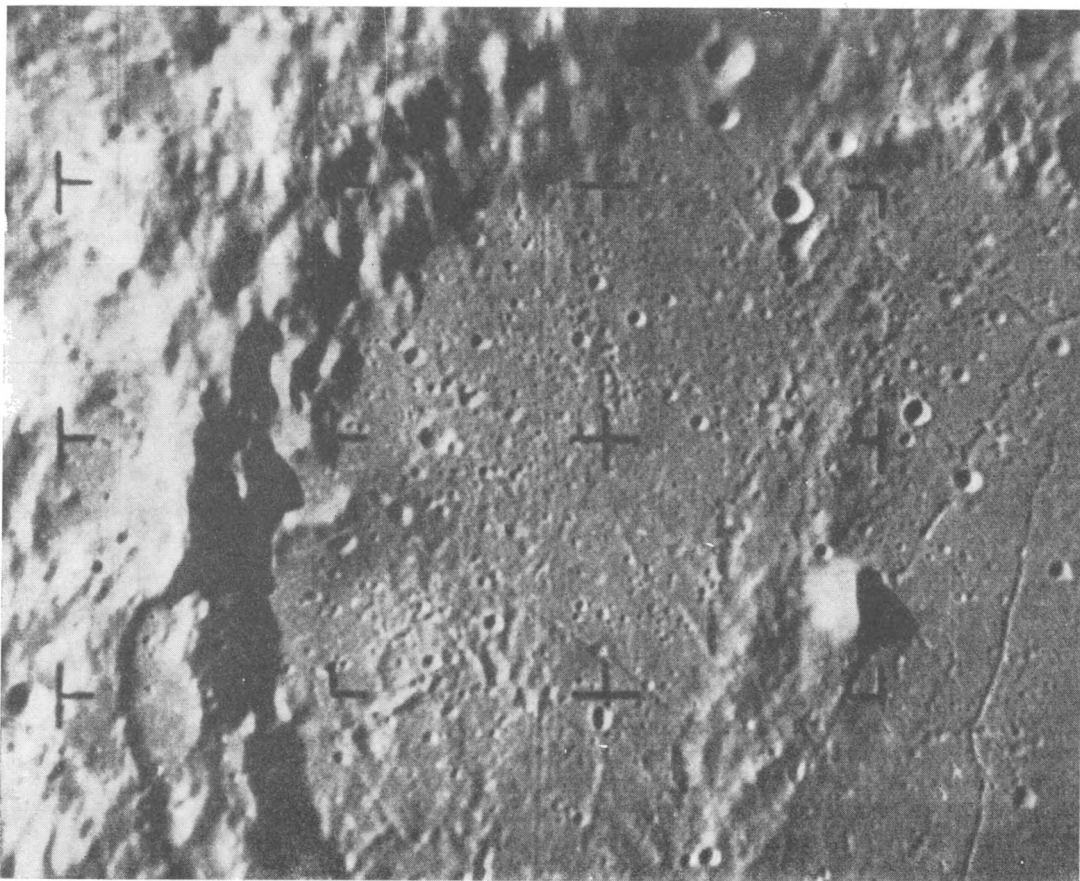
В некоторых случаях локализация кратеров-лунок еще более четкая. На фотографиях Рейнджера IX представлен кратер Альфонс с его широкими валами и центральным хребтом. Плоское темное дно Альфонса обильно покрыто лунками диаметром от нескольких сот метров до первых километров. На валах и центральном хребте кратера число таких лунок

явно меньше (рис. 2, 3). Уже одно это исключает вторичное (ударное) происхождение для значительной части представленных лунок, так как в этом случае они распределялись бы равномерно по всей площади или должны были преобладать на валах, и центральном хребте. Очевидно, что днище Альфонса моложе, чем его валы, так как оно не пересекается разрывами, деформирующими и валы и окружающую местность. Поэтому валы должны были дольше подвергаться метеоритной обработке и лунок на них должно быть больше. Картина же как раз обратная. Если же на валах непрерывно работают вулканические аппараты, засыпающие лунки пеплом и обломками, то почему они не засыпают прилегающие части дна цирка?

Некоторые лунки Альфонса окружены темным галло, которое следует признать вулканическими выбросами типа пепла. Кроме того, часто кратеры-лунки в пределах Альфонса сидят на мелких трещинах, либо образуют линейные цепочки, сливаясь своими краями. Эти цепочки очень напоминают аналогичные образования в земных вулканических областях:

2. Распределение лунок на дне кратера Альфонс, на его валах и центральном хребте

Фотография Рейнджера IX. Расстояние от центральной горки до вала 60 км



линейные группы мелких вулканов Исландии (Ритман, 1964) или же цепи кратеров прорыва (Пийц, 1956). Некоторые лунки имеют характерную форму провальных кратеров (Ranger VIII, IX, 1966). Известно, что кратер Альфонс и поныне обнаруживает вулканическую деятельность; кроме Н. А. Козырева красное пятно возле центральной горки отмечалось в разное время рядом наблюдателей (Моог, 1965). Можно, следовательно, достаточно уверенно говорить об эндогенном происхождении большинства лунок Альфонса.

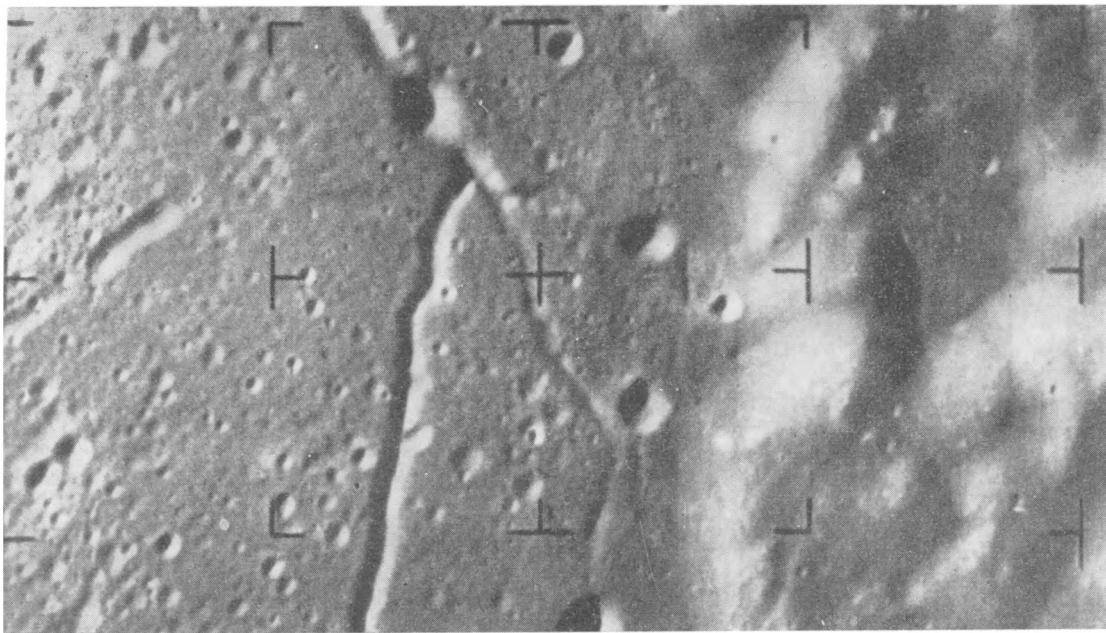
На некоторых фотографиях Лунар Орбитер I видно, что в морях количество лунок диаметром 50—200 м гораздо больше, чем на прилегающих материках (Roman, 1966). Опять-таки материка древнее морей и должны нести больше лунок метеоритного происхождения. Кроме того, моря подразделяются на площади с разной плотностью лунок.

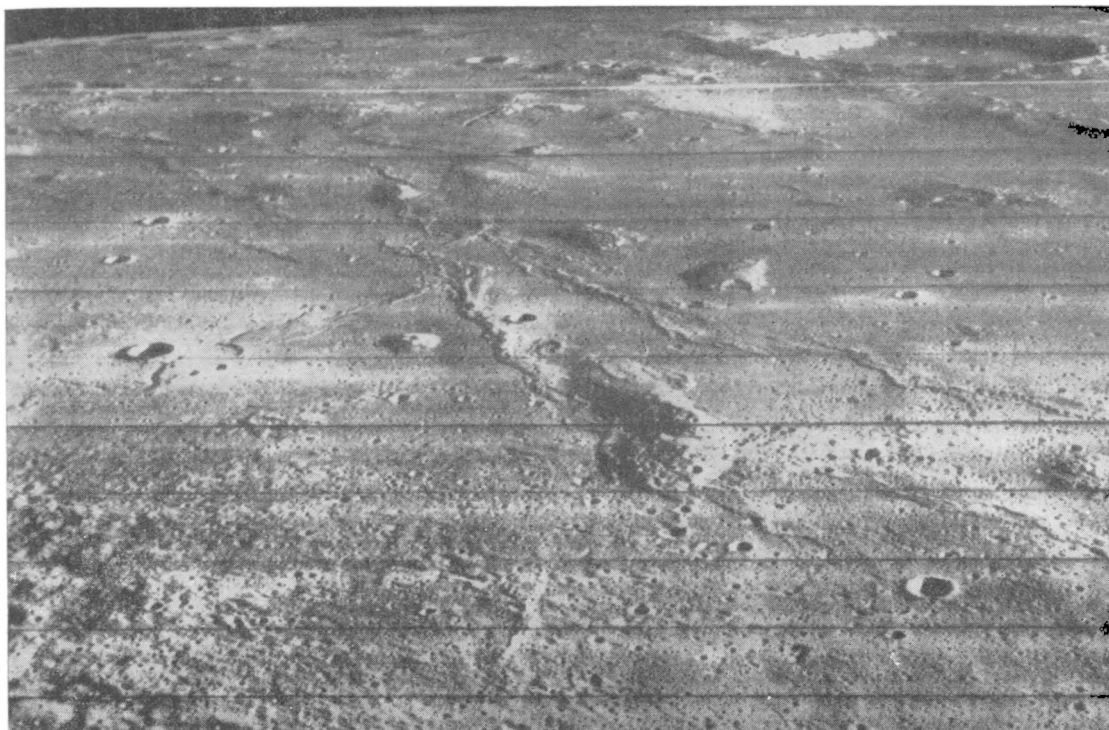
Далее, на распространенных в морях (и только в морях) плоских широких куполах и поднятиях лунки встречаются гораздо чаще, чем вне пределов куполов. Так, на 10-километровых круглых куполах единичные лунки по 1—3 км сидят обычно в центре поднятия (рис. 4). Возле Коперника расположена целая группа таких куполов, встречаются они в Море Спокойствия. Вадутия меньших размеров («тумулусы») с лунками на вершине дешифрируются на снимках Рейнджеров (Ranger VIII, IX, 1966).

Наконец, известно, что поверхность морей неоднородна: одни места ярче, другие темнее, иногда с четкими границами между зонами разной

3. Вал кратера Альфонс в сравнении с его днищем

На дне справа видна борозда, состоящая из слившихся краями лунок, поперечником около 0,5 км



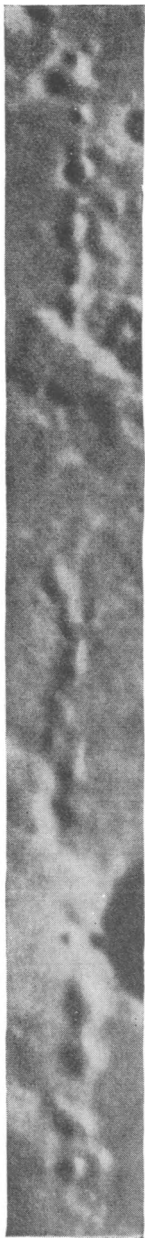


4. Купола с лунками в районе кратера Марий
Фотография Лунар Орбитер 11

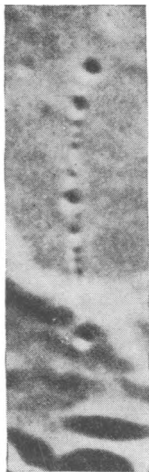
яркости. С увеличением разрешающей способности фотографий светлые пятна в морях распадаются, как правило, на группы разнокалиберных лунок, обычно окруженных венцами светлого материала. Это позволяет интерпретировать некоторые светлые области других морей как сгущения лунок. Так, в Море Влажности намечаются осветленные участки в виде слегка изогнутых полос, делящих всю впадину на полигональные поля; на этих полосах местами располагаются кратеры-лунки. Можно думать, что эти полосы обязаны своим возникновением сериям сближенных лунок, расположенных вдоль зон трещиноватости.

В Море Ясности центральная его часть осветлена и четко отделяется от темной периферии. Осветление вызвано массой светлых точек, которые, вероятно, также являются лунками. Собственно, видны не сами лунки, а светлые выбросы вокруг них. Во всяком случае, пока нет другого удовлетворительного объяснения этого эффекта. Причина связи лунок с четко ограниченной центральной областью неясна, но об этом пока можно высказывать только предположения.

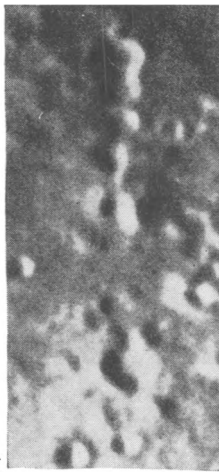
2. Цепочки лунок и закономерности их распределения являются одним из интереснейших вопросов лунной морфологии. Давно установлено, что кратеры-лунки расположены местами одна за другой на трещинах. При детальном изучении крупномасштабных фотографий выясняется, что многие



a



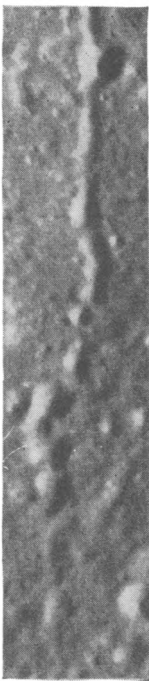
б



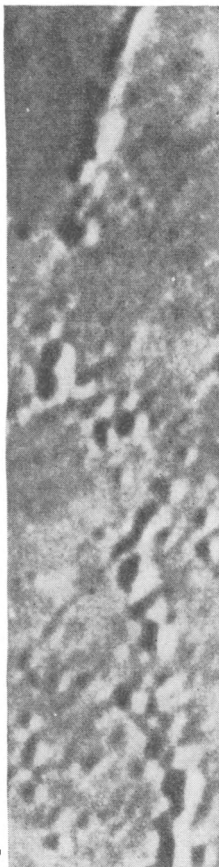
з



е



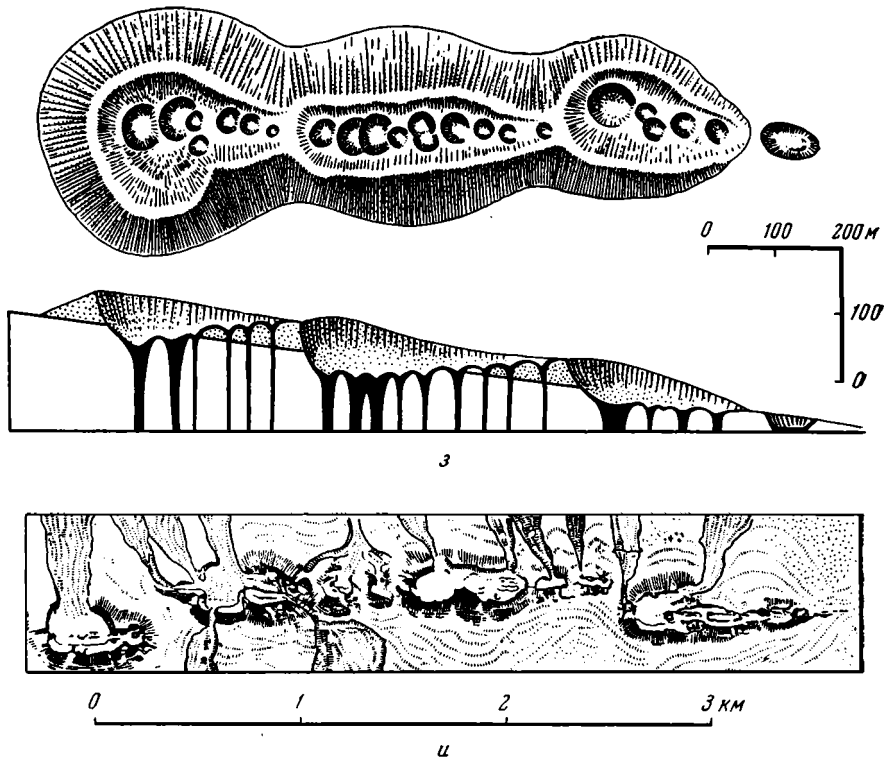
в



д



ж



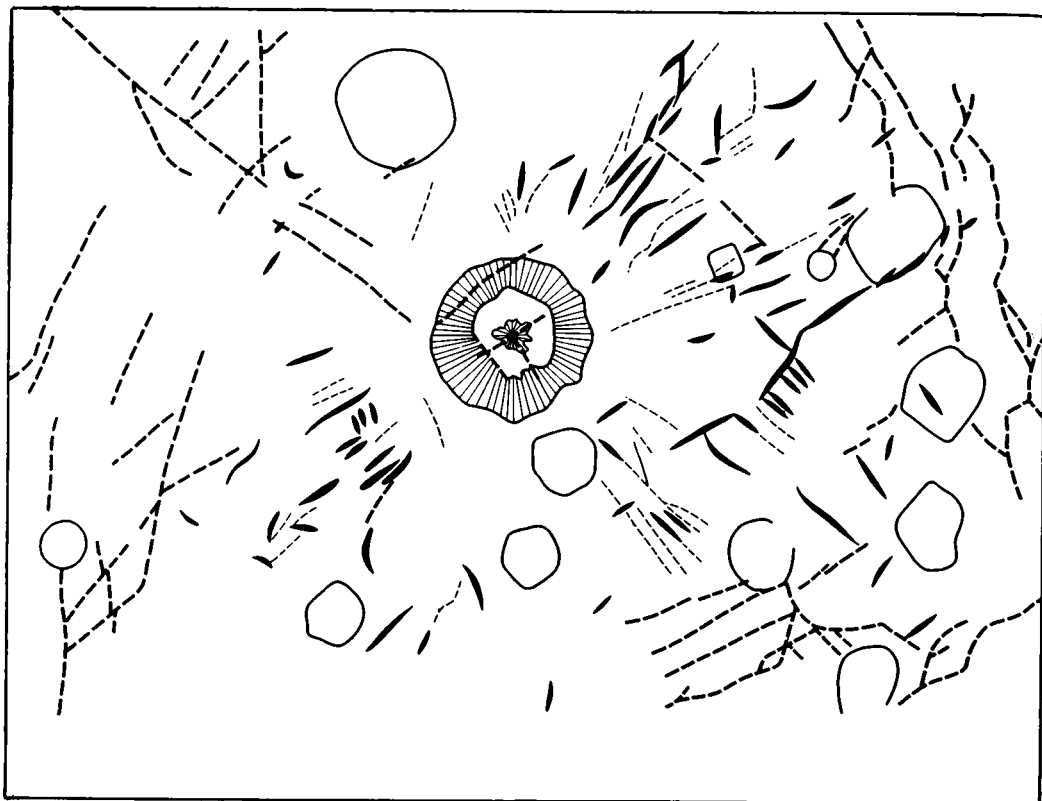
5. Цепи кратеров-лунок на Луне и на Земле

a — б — фотографии поверхности Луны при разных увеличениях (Kuiper *a. oth.*, 1960);

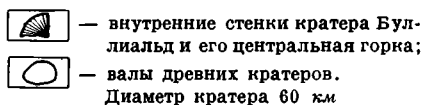
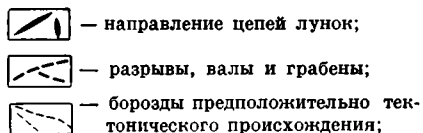
е, ж — участки топографических карт Луны (Lunar chart, 1963);

з — цепь эксплозивных кратеров на склоне Ключевой сопки, по Б. И. Пийпу (1956);

и — цепочка кратеров в Исландии, по А. Ритману (1964)



6. Кратер Буллиальд и его окрестности



участки крупных разломов имеют морфологию рва с вогнутым дном и неровными, волнистыми бортами. В плане край такого рва как бы разбит на серию сочлененных полудуг. Иногда совершенно четко видно, что эти полудуги являются краями лунок, которые настолько слились между собой, что образуют единый ров.

Но часто лунки располагаются в цепочку, не связываясь сколько-нибудь различной трещиной (рис. 5). Например, около двух десятков лунок диаметром 1—3 км располагается по слегка изогнутой линии в кратере Деви. Длина цепочки больше 50 км (см. рис. 5, б). В восточной части Птолемея семь километровых лунок образуют прямую цепь в 15 км длиной. Таких примеров очень много. Автором подсчитано количество таких цепей для четырех листов лунной карты масштаба 1 : 1 000 000 (листы LAC-59, 76, 77, 78). Листы выбраны с таким расчетом, чтобы избежать близости

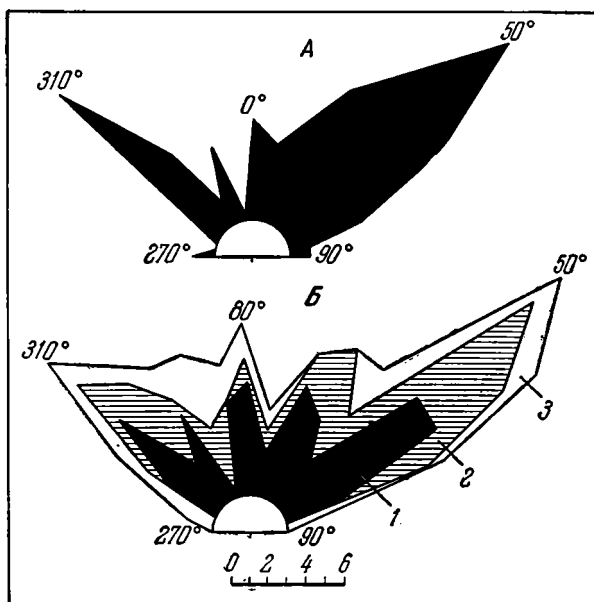
молодых цирков коперниковского типа, так как последние окружены цепями лунок пока еще неясного происхождения. В пределах указанных четырех листов морские области занимают 40%, а материковые — 60% от всей площади. На поверхности морей и заливов насчитывается 47 цепей кратеров-лунок, а для материков их число равно 45, т. е. в пересчете на единицу площади в морях содержится в 1,5 раза больше цепочек, чем на материке. Если же считать, что темные днища крупных цирков на материке также сложены морским материалом, то площадь морских образований увеличивается за счет этого и будет равна площади материковых; возрастет также и число цепей на морских образованиях, а относительная доля цепей лунок станет еще больше для морей. В этом случае на темных плоских областях морского материала насчитывается 62 цепочки лунок, а на светлых гористых участках материка — 30, т. е. вдвое меньше. Отсюда, по-видимому, можно сделать вывод, что в морях содержится больше активных трещин, которые, будучи перекрыты морским материалом, проявляются на поверхности в виде цепей; то же относится и к днищам цирков. Кроме того, имеются случаи, когда на продолжении разрыва в море вместо трещины наблюдается цепочка лунок.

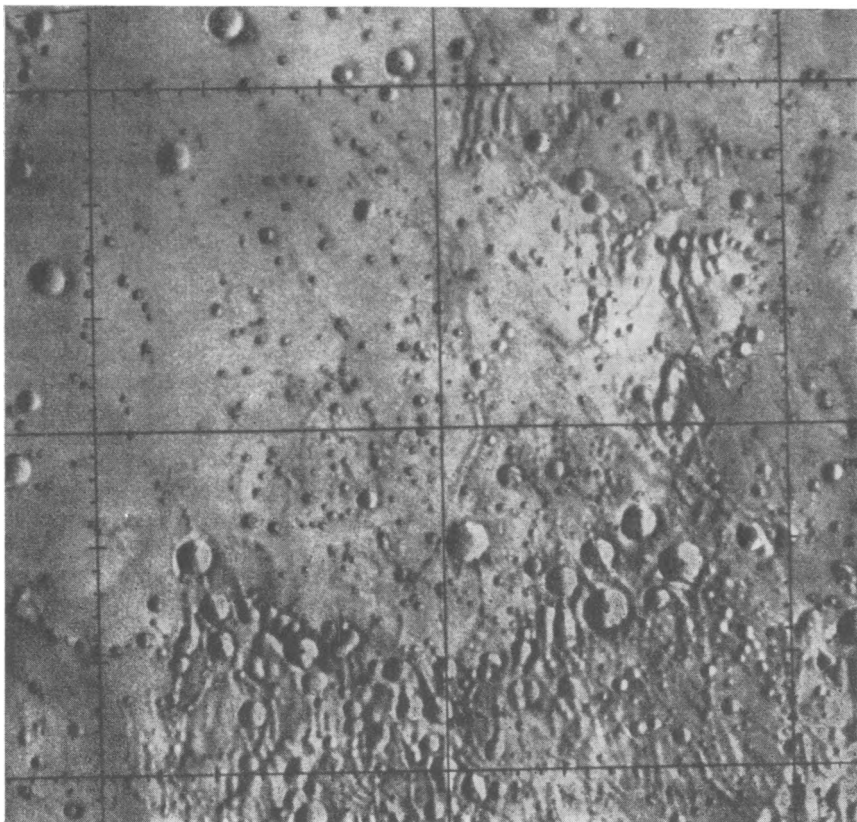
Что же касается кратеров коперниковского типа, то здесь видно, что местность вокруг главного кратера покрыта лунками — и единичными, и сгруппированными в грозди и цепи. На первый взгляд, они расположены совершенно хаотично, что дает основания считать их ударными. Но распространение такого заключения на все лунки вокруг молодых кратеров вызывает сомнения, и вот почему. Цепи лунок вокруг кратера Буллиальд (Море Облаков) ориентированы, за редкими исключениями, на северо-запад (с максимумом на 50° , если север принять за 0°) и северо-восток (максимум на 40°). Меньший максимум приходится на субмеридиональные

7. Преобладающие направления структур в районе кратера Буллиальд

- А — ориентировка цепей лунок;
- Б — ориентировка разрывов и валов (1), тектонических борозд (2) и сторон полигональных кратеров (3).

Каждое деление масштаба соответствует одному элементу



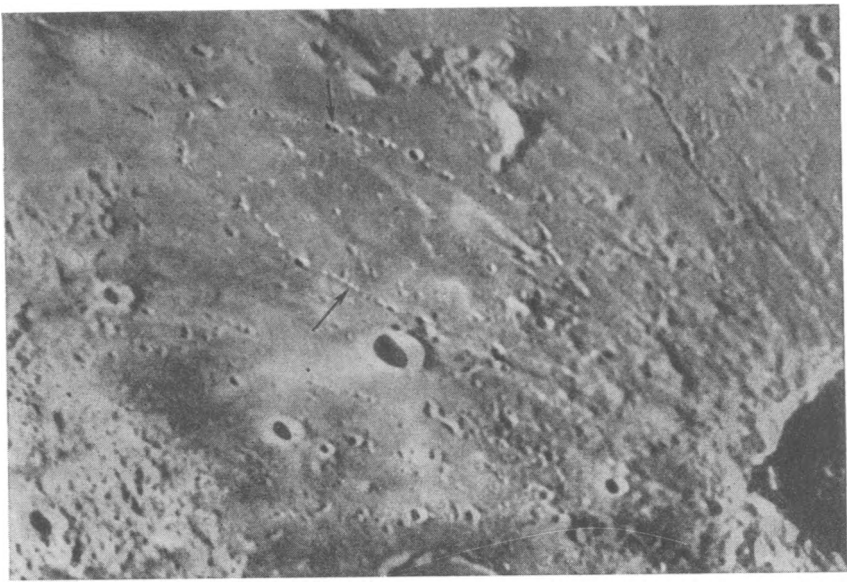


8. Полумесяц, состоящий из лунок

Поперечник полумесяца около 10 км. Карта составлена НАСА по материалам Рейнджера VII

цепи. По этим же направлениям протягиваются разрывы, трещины, валы и другие тектонические образования на прилегающей местности, причем видно, что с приближением к Буллиальду разрывы перекрываются выбросами и сменяются цепями лунок той же ориентировки. В этих же направлениях расположены стороны нескольких полигональных первичных кратеров, перекрытых выбросами (рис. 6, 7). Многие авторы, например Дж. Филдер (Fielder, 1963), считают северо-западное и северо-восточное направления преобладающими для сетки лунных разломов, и в таком случае совпадение с ними структур вокруг Буллиальда нельзя объяснить экзогенными факторами.

Кстати, равномерное и радиальное к главному кратеру расположение кратеров-лунок нарушается не только для их цепей. Б. Вернер (Wagner, 1962) указывает, что ориентировка удлиненных лунок вокруг Коперника не всегда совпадает с радиальной. В сфере выбросов Коперника лежит затопленный цирк Стадий, контуры которого образованы и реликтами валов, и дуговидно сгруппированными лунками.



9. Кольцо лунок на поверхности моря рядом с кратером Аристотель
 Поперечник кольца больше 100 км

Любопытны также грозди лунок, рассеянные на поверхности морей и считающиеся обычно ударными (вторичными). Они действительно похожи на грозди выбоин, образующихся при выбросе обломков из крупного кратера. Но в то время, как одни из этих групп дают лишь слабые ореолы выброшенного материала, другие группы лежат в головах светлых лучей в сотни километров длиной. При этом, хотя лучи направлены в одну сторону, сами лунки сохраняют свою правильную круглую форму. Либо эти грозди и лучи образовались в результате выпадения некоего комето-подобного хвоста обломков, либо лунки являются жерлами вулканических каналов, лежащих наклонно и дающих направленные выбросы. И то и другое предположение пока нельзя доказать, но второе находит себе множество аналогов на Земле.

3. Связь кратеров-фантомов с лунками. Само понятие кратера-фантома (ghost crater) несколько неопределенно. В обычном представлении фантомы образуются остатками гребней глубоко погруженных цирков. Но у В. В. Шаронова (1952) встречается другое понимание кратера-фантома, а именно: так названы кольцевые полосы осветленного материала в морях, не имеющие собственного рельефа. Возможно, что такое представление создано из-за несовершенства фотографий или из-за неблагоприятных условий наблюдения, когда не различался мелкий рельеф. Однако при проверке этого предположения по фотографиям атласа Кейпера (Kuiper a. oth., 1960) оказалось, что кратеры-фантомы в понимании В. В. Шаронова все же существуют.

Например, на листах атласа СЗ-а и СЗ-с в южной части Моря Ясности видно светлое прерывистое кольцо диаметром 25—30 км. В центре кольца — белесое пятно. При косом освещении, когда все неровности этого

участка становятся заметнее, кольцо с центральным пятном, наоборот, исчезает. Другими словами, при смене освещения кольцо ведет себя как лучевые системы, а не как останцы доморского рельефа.

На листах E2-а и E2-с к северо-западу от Залива Радуги располагается аналогичное светлое кольцо с центральным пятном; на кольце видны всего два маленьких бугра, которые сохраняются при косом освещении, когда все кольцо исчезает.

Такие примеры единичны, но даже один такой случай требовал бы объяснения. Происхождение этих образований остается загадкой. В. В. Шаронов предложил два варианта объяснения для них. Первое — разнос светлой пыли по гладкой поверхности моря от центра взрыва — теперь отпадает, поскольку мы знаем, что поверхность моря далеко не гладкая. Второе объяснение — ассимиляция лавой вещества вала погребенного кратера. Но это объяснение не находит аналогий на Земле. Известные нам лавы не ассимилируют при излиянии подстилающего вещества, а только обжигают его.

Возможно, подобные светлые кольца имеют что-то общее со следующими образованиями. Одно из них располагается в Море Облаков. Здесь по снимкам Рейнджера VII дешифрируется дуга, представляющая собой часть 10-километрового круга (полумесяц примерно в $\frac{2}{3}$ окружности). Дуга эта состоит из лунок диаметром 0,5—1 км и меньше (рис. 8). Они могли возникнуть как вулканическим путем, так и ударным. Но для лунок ударного происхождения характерны слегка вытянутая форма и асимметричные валы: край лунки, лежащий на продолжении траектории ударяющего тела, имеет высокий насыпной вал, а противоположный край почти лишен гребня (Roberts, 1964). В описываемой дуге все лунки (за редкими исключениями) весьма симметричны и в плане, и в разрезе. Кроме того, поле внутри дуги заметно светлее окружающих территорий. Расположение единичных удлинённых кратеров-лунок явно не связано с осветлением внутри дуги — все они тяготеют к меридиональному направлению. Одновременно такая ориентировка говорит против ударного, «набросного» происхождения этого полумесяца, так как его «рога» направлены на северо-запад, в то время как подобные петли выброин обычно открыты либо к источнику выброса, либо от него.

Сходная форма, но большего диаметра видна к северо-западу от Аристора, на расстоянии двух его диаметров от края кратера: замкнутое кольцо, состоящее из мелких холмов и лунок, объединённых в цепочку. В центре кольца виден почти целиком погруженный цирк (рис. 9). Следы этого кольца видны на листе C1 атласа Кейпера. К образованиям этого типа можно отнести упоминавшийся цирк Стадий.

Для всех таких образований, т. е. кратеров-фантомов без гребня, и для колец, состоящих из лунок, можно предложить только одно более или менее правдоподобное объяснение, а именно: лунки образуются над кольцевыми трещинами древних кратеров, перекрытых морским материалом, так же как цепи лунок образуются над разрывами, перекрытыми выбросами или морским материалом.

Итак, в распределении кратеров-лунок можно заметить следующие особенности: во-первых, лунки тяготеют к морским областям, особенно — к днищам цирков, залитых морским материалом; во-вторых, лунки связаны с трещинами, которые иногда закономерно ориентированы (радиально к крупным циркам либо концентрически); в-третьих, часть лунок связана с положительными структурами морей — холмами, куполами, вздутиями.

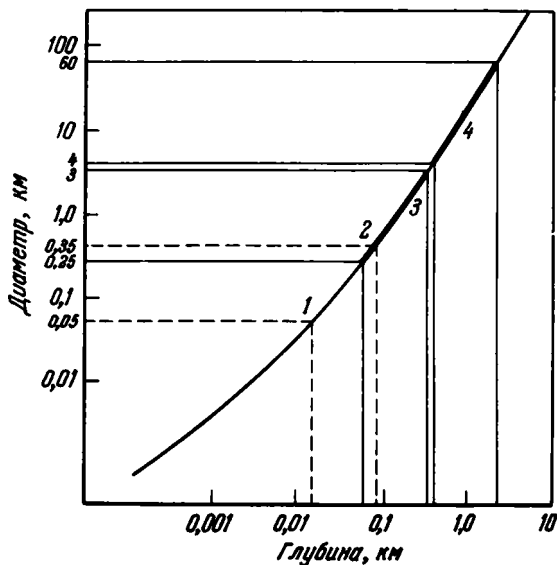
Таким образом, для части лунок их эндогенное происхождение, очевидно, не вызывает сомнений. Но сам механизм их образования пока неясен. Можно предположить, что самые мелкие из них созданы газовыми взрывами. На земных лавовых полях газозрывные воронки имеют диаметры от сантиметров до нескольких метров (Влодавец, 1944). В. И. Славин (1964) сообщает о воронках такого типа по 10—15 м в поперечнике и 2—5 м глубины, расположенных на мощном лавовом потоке. Если лунные моря сложены лавами, то эти лавы при излиянии должны были содержать большие количества воды и газов, иначе они не растеклись бы на такие большие расстояния. Поэтому воронки, образованные лопнувшими газовыми пузырями, не только вероятны, но и обязательно должны присутствовать на морях.

При этом в условиях Луны мы сталкиваемся с рядом факторов, последствия которых пока трудно оценить. Во-первых, на Луне нуклеация (образование пузырей в расплаве) из-за меньшей силы тяжести охватывает объем пород, в 6 раз больший, чем на Земле (Грин, 1963). Так же, как и в лавовых озерах земных вулканов, эти пузыри поднимаются к поверхности и сливаются между собой. При этом большие пузыри всплывают быстрее, догоняя меньшие, захватывают их и еще больше увеличивают скорость поднятия. Когда такой пузырь или лента газа проходит столб расплава, вшестеро больший, чем на Земле, он имеет и гораздо больший объем, что влечет за собой усиленный взрыв при достижении поверхности.

Второй фактор — образование легкой корки на лунных лавовых потоках. Известно, что поверхностный слой Луны обладает малой теплопроводностью, небольшой плотностью, характеризуется сильной изрытостью и, как следствие этого, должен иметь высокую пористость (Кротиков, Троицкий, 1963; Барабашов, 1960). Граница между этим пористым и нижележащим плотным слоем достаточно четкая и лежит на глубине нескольких метров (по разным данным, от 2—5 до 20 м). Как показали опыты плавок в вакууме, пористый слой, скорее всего, представляет собой своеобразную каменную пену на поверхности лавы, что-то вроде кружевного шлака или очень легкой пемзы (Dobar, 1965).

Неизвестно, сколь быстро образуется этот слой, застывающий в первую очередь; но четкое разграничение с нижележащими породами указывает на то, что после его формирования проходит какое-то время, пока не затвердеет вся излившаяся порода. Это время может быть больше, если шлаковая корка плохо проницаема, или меньше, если нижележащий расплав может охлаждаться путем испарения через трещины в корке. Следы дренажных каналов, обнаруженные на Луне (Ranger VIII, IX, 1966), как будто указывают на долгое застывание основного тела потока. Так или иначе, шлаковая корка мощностью в несколько метров экранирует расплав, замедляет его остывание и способствует его раскристаллизации. Результатом кристаллизационной дифференциации явятся вторичное вскипание и высвобождение дополнительных порций газа, которые будут взламывать корку и образовывать новые лунки. Надо помнить, что мощность лавовых покровов на Луне гораздо больше, чем на Земле, это получается по данным дешифровки фотоснимков (Ranger VII, 1965).

Учитывая все сказанное, можно предположить, что лунки «пузырькового» происхождения достигают величины многих метров. Весьма вероятно, что именно с этим и связано заметное увеличение числа лунок на графике (см. рис. 1) в интервале от 15—30 м и менее. Надо отметить, что при составлении графика не учитывались те лунки, которые составители счи-



10. Связь глубины и диаметра взрывных образований

Размеры воронок для Земли (точка 1) и для Луны (точка 2) при одинаковой силе взрыва;

3 — размеры мааров;

4 — размеры лунных кратеров, соответствующих по силе взрыва маарам

тали вторичными, возникшими при падении вулканических бомб. Ориентировочные расчеты показывают, что за их счет перегиб на графике будет еще заметнее. Глубина 15—30-метровых лунок составляет 5—10 м и будет соответствовать мощности затвердевшего «пенного» покрова на лаве. Выше упоминалось, что у тех лунок, глубина которых меньше 8—10 м, редки светлые выбросы. Это подтверждает предположение о шлаковой структуре верхних 5—10 м лунных лав и, очевидно, более плотном строении их на глубине.

Происхождение километровых лунок таким механизмом объяснить нельзя. Но если часть сантиметровых и метровых лунок действительно является следами лопнувших пузырей, то какое-то число километровых лунок может быть результатом взрывов газовых очагов, находящихся на большей глубине, под мощными слоями затвердевших потоков. Собственно, их можно рассматривать как вулканы одноактного действия, у которых подводящий канал перекрыт застывшей лавой.

Здесь необходимо учесть еще одно следствие пониженной силы тяжести, а именно: взрыв газового пузыря одинакового объема и давления происходит на Земле и на Луне также различно. Дж. Грин (1963) справедливо отмечает, что столб пород, выброшенных при таком «равноценном» взрыве, на Луне будет вшестеро большим из-за меньшего удельного веса пород (конечно, при условии, что сопротивление взрыву создается только весом пород и сцепление их в расчет не принимается). Соответственно увеличивается и диаметр взрывной воронки. Пользуясь кривой Болдуина, можно приблизительно подсчитать, каким диаметрам для Луны будут соответствовать земные вулканы одноактного действия. В целях простоты сделаем два допущения.

1. Связность пород кровли, как уже сказано, в расчет не принимается, так как пока ее трудно учесть. С одной стороны, силы сцепления вшестеро большей толщи пород должны уменьшить глубину взрыва; с другой сто-

роны, вулканические взрывы никогда не происходят при совершенно однородной кровле — старая трещиноватость и вновь образующиеся разрывы сильно понижают прочность всей массы породы, но насколько — неизвестно.

2. Взрыв происходит на наиболее эффективной глубине, т. е. исключаются как приповерхностные взрывы, дающие преувеличенный диаметр воронки по сравнению с ее глубиной, так и слишком глубокие взрывы, производящие либо камуфлет (т. е. взрыв, не выходящий на поверхность), либо узкий и глубокий кратер. Приповерхностные и переуглубленные взрывы в природе, очевидно, являются скорее исключением, чем правилом, а камуфлеты вообще вряд ли возможны. Газовый пузырь, в отличие от заряда динамита, не может взорваться, пока сопротивление кровли превосходит давление в газовой полости. Трудно также представить, чтобы у поверхности спокойно существовала такая газовая полость с большим давлением, чем это необходимо для выброса пород кровли. Взрыв произойдет где-то на средней глубине, как раз тогда, когда давление газа уравняется с сопротивлением пород или несколько превысит его.

Приняв эти допущения, возьмем какой-либо пример земного кратера и определим, какой средней глубине по кривой Болдуина он соответствует. Увеличив для Луны эту глубину в 6 раз, решим обратную задачу и найдем, какому диаметру отвечает эта новая глубина.

Первый пример взят у Б. И. Пийпа (1956). Здесь описана цепь так называемых кратеров прорыва на склоне Ключевской сопки. Каждая воронка образована единичным взрывом поднявшегося с глубины газа. Эта цепочка очень напоминает аналогичные лунные образования, но поперечник воронок — порядка 50 м. Прделав соответствующие построения, находим, что взрыв той же силы в условиях Луны даст воронки диаметром около 350 м (рис. 10).

Другой пример. Кратерные воронки моногенных вулканов Европы возникли каждая в результате одного крупного газового выброса (Горшков, Якушева, 1957). Диаметр их указывается в пределах 2500—3000 м. Те же самые взрывы на Луне должны произвести гигантские кратеры — от 4 до 50—60 км в поперечнике.

И. И. Белостоцкий (1963) описывает кратерные воронки на базальтовом поле в Туве. Эти воронки располагаются вдоль тектонических линий и имеют форму «пологих блюдцевидных впадин» или «чашевидную». Диаметр их составляет в среднем 250—700 м, глубина от 25—30 до 80 м, причем глубина явно занижена, так как днища закрыты водой, осыпями, наносами и т. д. При том же способе образования подобные воронки на Луне достигли бы величины нескольких километров в диаметре.

В этих же интервалах величин колеблются кратеры «луночного» облика на лавовых полях Исландии (Thorarinsson, 1953).

Таким образом, диаметры кратеров-лунок от 300—700 м до 5—7 км для Луны не так уж и велики. Интересно следующее обстоятельство. Глубина этих лунок колеблется от нескольких десятков метров до 500—700 м, а мощности морских покровов — зачастую величины того же порядка, что и глубина лунок, т. е. от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Иными словами, днища кратеров-лунок лежат тогда в основании лавовых покровов.

В тех местах, где можно судить о породах этого долавового комплекса, там несомненно, что они так же пронизаны разрывами, подводными каналами и т. д., как и прилежащие материка. Не исключено, что

центры некоторых взрывов лежат как раз на границе погребенного рельефа, в подошве покровов, там, где подводящие каналы упираются в эффузивы. Это хорошо видно в местах, где морские лавы тонким слоем перекрывают материк; на материке видно множество разрывов, тогда как в море разрывы сменяются частыми лунками.

Многое здесь еще неясно, и описанный механизм, разумеется, только один из возможных. Во всяком случае, ударных кратеров-лунок на поверхности нашего спутника вряд ли так уж много, как это считается сейчас.

Литература

- Барабашов Н. П.**
1960. Альbedo и цвет лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Белостоцкий И. И.**
1963. Вулканы гор Кара-Тайга (Сой-Тайга) в северо-восточной Туве.— Труды Лабор. палеовулканол. Казах. ун-та, вып. 1.
- Влодавец В. И.**
1944. Классификация отрицательных форм вулканического рельефа.— Изв. АН СССР, серия геол., № 5.
- Горшков Г. П., Якушева А. Ф.**
1957. Общая геология. М., Изд-во МГУ.
- Грин Дж.**
1963. Геологические науки в применении к исследованиям Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Каттерфельд Г. Н.**
1965. Типы, возраст и генезис кольцевых структур Луны.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.
- Кротиков В. Д., Троицкий В. С.**
1963. Обнаружение потока тепла из недр Луны.— Астроном. ж., 40, № 6.
- Пийп Б. И.**
1956. Ключевская [сопка] и ее извержения.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 11.
- Ритман А.**
1964. Вулканы и их деятельность. М., изд-во «Мир».
- Славин В. И.**
1964. Новейшие извержения вулканов Агунг и Батур на острове Бали.— В кн. «Проблемы вулканизма». Петропавловск-Камчатский, Дальневост. книжн. изд-во.
- Станюкович К. П., Бронштэн В. А.**
1960. Роль внешних космических факторов в эволюции Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Хабаков А. В.**
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шаронов В. В.**
1952. К вопросу о природе кратеров-фантомов.— Науч. бюлл. ЛГУ, № 30.
- Штейнберг Г. С.**
1965. О неприменимости соотношения Болдуина для определения причин возникновения лунных кратеров.— Докл. АН СССР, 165, № 1.
- Alter D.**
1965. The faint ray system.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 123, art. 2.
- Dobar W. I.**
1965. Behaviour of lava on the lunar surface.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 123, art. 2.
- Fielder G.**
1963. Lunar tectonic.— Quart. J. Geol. Soc. London, 119, N 1.
- Firsoff V. A.**
1961. Moon atlas. London.

Kuiper G. P. a. Oth.

1960. Photographic lunar atlas. Chicago.

Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1960—1964.

Miyamoto S.

1964. Morphological aspects of the lunar crust.— *Icarus*, 3, N 5—6.

Moor P.

1965. An evaluation of the reported lunar changes.— *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 123, art. 2.

Quaide W. L., Gault D. M., Schmidt R. A.

1965. Gravitative effects on lunar impact structures.— *Ann. N. Y. Acad. Sci.*, 123, art. 2.

Ranger VII. Technical Rept N 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1965.

Ranger VIII and IX. Technical Rept N 32-800, Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1966.

Roberts W. A.

1964. Secondary craters.— *Icarus*, 3, N 4.

Rowan L. S.

1966. Orbiter observations of the lunar surface.— In: «The physics of the Moon». Amer Astronaut. Soc. Washington.

Steinberg G. S.

1965. Comparative morphology of lunar craters and cirques and some volcanic formations in Kamchatka.— *Trans. Lunar Geol. Field Conf. Portland, August 1965.*

Thorarinsson S.

1953. The crater groups in Iceland.— *Bull. volcanol.*, ser. 2, 14, N 5.

Warner B.

1962. Stresses in the surface of the Moon.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 71.

Неравномерное распределение кольцевых структур Луны по их диаметрам

*П. В. Флоренский, Е. И. Забелин,
С. В. Мочалов, Ю. Г. Пименов*

Типичные формы лунного рельефа — кольцевые или близкие к ним структуры — очень разнообразны по величине, несмотря на внешнее сходство. Наибольшие различимые простым глазом темные округлые впадины лунных морей имеют диаметр до полутора тысяч километров; самые меньшие из известных — лунки и ямки диаметром в метры или десятки сантиметров. Несмотря на такой широкий диапазон размеров, их сходство принимается иногда за свидетельство единства их происхождения. Так, А. Вегенер (1923) полагал, что нет отличия между морями и самыми мелкими кратерами, различимыми в телескоп, и все они образованы ударами метеоритов. В качестве доказательства этого положения он привел размеры кольцевых морей и крупных кратеров и цирков, между которыми, по его материалам, не было разрыва.

Безусловно, именно таким образом — анализируя достаточный статистический материал, можно создать классификацию объекта. Например, при разработке классификации песчаников по размерам обломков было показано, что типы их, будучи нанесены на графики, не распределяются равномерно, а дискретно группируются в одних участках графика и почти отсутствуют в других (Флоренский, Лапинская, 1951). Так же, т. е. дискретно, распределяются и геоморфологические структуры на поверхности Земли (Лукашевич, 1908, 1909, 1911; Пиотровский, 1959, 1964; Кайе, Трикар, 1959). Это явление свидетельствует о том, что в природе существуют устойчивые и неустойчивые сочетания явлений и процессов. Можно думать, что все это отражает дискретность свойств геологического пространства. Именно такую задачу — найти дискретность или неравномерность в распределении кольцевых структур Луны для создания их естественной морфометрической классификации — и поставили перед собой авторы.

Наиболее удобно и легко определять соотношение диаметра кольцевых структур и их количества на единицу поверхности, а отсюда — часть поверхности, занимаемую кольцевыми структурами разного диаметра.

Преимуществами этих величин являются возможность массовых подсчетов и простота замеров, гарантирующие объективность результатов.

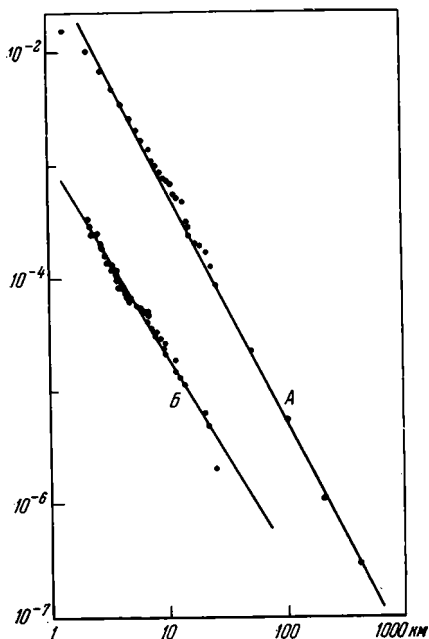
Распределению кольцевых структур Луны посвящено более 70 работ, неполный перечень которых мы сочли нужным привести в библиографических целях. П. Фаут (Faut, 1907), автор одного из самых ранних исследований, установил, что количество кратеров возрастает по гиперболе по мере уменьшения их размеров. Анализируя его материалы, Т. Л. Макдональд (Mac Donald, 1931a, b) вывел формулу этой зависимости, показав, что она является степенной. Ж. Юнг (Young, 1931, 1933) выяснил, что количество кратеров крупнее 10 км обратно пропорционально квадрату их диаметра, а А. Пальм и Р. Г. Штром (Palm, Strom, 1963) установили это и для более мелких кратеров (рис. 1). Особенно важны работы Р. Б. Болдуина (Baldwin, 1949, 1964, 1965), который рассчитал связь размеров кратеров ударного происхождения с энергией образующего их удара и частотой их встречаемости. Изучены также закономерности распределения кратеров по поверхности Луны (Goodacre, 1936; Boneff, 1956, 1957; Arthur, 1950, 1954; Sadil, 1954; Opik, 1960; Kreiter, 1960; Mc Gillem, Miller, 1962; Dodd, Salisbury, Smalley, 1963; Fielder, 1965, и др.).

Закономерности распределения кратеров, во-первых, по поверхности и, во-вторых, по диаметрам использовались для доказательств экзогенной — метеоритной гипотезы их происхождения (Вегенер, 1923; Opik, 1960; Станюкович и Бронштэн, 1960; Shoemaker, 1962; Gault, 1966; Shoemaker a. oth., 1966, и др.). Одним из аргументов в пользу метеоритной гипотезы авторы этих работ считали равномерность возрастания количества кратеров по мере уменьшения их диаметров, а отклонения относили за счет случайности (Markus, 1964, 1966).

Сторонники эндогенных гипотез связывают образование большинства кольцевых структур Луны с извержениями магмы и тектоническими движениями (Хабакков, 1949, 1960). Они указывали на неравномерность и явную тектоническую обусловленность распределения кратеров на поверхности Луны, справедливо считая их важным аргументом в пользу развиваемых ими представлений (Boneff, 1956, 1957; Бонев, 1963, 1965; Sadil, 1954; Dodd, Salisbury, Smalley, 1963; Шемякин, 1965; Каттерфельд, 1965; Simpson, 1966, и др.).

Распределение кратеров по относительным возрастам проанализировал В. К. Хартман (Hartmann, 1964). Он показал, что если крупные кратеры разных возрастов встречаются примерно одинаково часто, то количество мелких кратеров уменьшается с увеличением их возраста. Это явление он связывал с незначительным действием эродирующих лунную поверхность процессов, меняющим распределение лишь мелких структур.

Не принесли решения вопросов о происхождении кольцевых форм Луны и крупномасштабные фотографии, снятые советскими и американскими космическими аппаратами: более мелкие, чем кратеры, кольцевые структуры — лунки, воронки, ямки и т. д. своей морфологией скорее свидетельствуют об их ударном происхождении. Эту особенность сторонники метеоритной гипотезы распространили и на более крупные формы — вплоть до морей. Статистика кольцевых структур, выявленных на фотографиях Рейнджер VII, VIII, IX, приведена во многих, в основном американских, работах последних трех лет: Baldwin, 1964, 1965; Brinkman, 1966; Cameron, 1965; Collins, 1965, 1966; Collins, Smith, 1966; Cross, 1966; Gault, Quaide, Oberbeck, 1966; Hartmann, 1966; Miller, 1965; O'Keefe, 1965; Rennilson a. oth., 1966; Shoemaker, 1965; Shoemaker a. oth., 1966, и др. (рис. 2)



1. Распределение количества кратеров в зависимости от их диаметров по телескопическим наблюдениям

А — по Р. Б. Болдуину (Baldwin, 1964) и

Б — по Р. Т. Доду и др. (Dodd, Salisbury, Smalley, 1963)

По вертикали — количество кратеров на 1 км^2 , по горизонтали — диаметры кратеров, км

Нам кажется, что существование различных, порой непримеримых взглядов на образование кольцевых структур Луны не случайно: может быть, оно свидетельствует о разном происхождении структур разного типа. Окончательное решение этих противоречий дадут непосредственные исследования и детальный морфологический анализ, хотя чрезмерно решительные аналогии структур Луны и Земли легко могут привести к недоразумениям. Как дополнение к морфологическим наблюдениям для создания классификации кольцевых структур Луны необходимы статистические исследования. Авторами были произведены подсчеты количества кольцевых форм различных диаметров (результаты приводятся в таблице). Использовались разномасштабные карты и фотографии, на каждой из которых видны кратеры определенного интервала диаметров.

Распределение и размеры морей рассчитаны по «Фотокарте видимого полушария Луны» (1967) и «Глобусу Луны» (1964), при этом мы брали средние диаметры каждой структуры.

Распределение и размеры различных в телескоп кратеров взяты из каталогов Аризонского университета (Arthur a. oth., 1963—1966) и картотеки Астрономического института им. П. К. Штернберга. Крупные кратеры учтены по всему видимому диску, а мелкие — лишь на морской поверхности его центральной части.

Распределение и размеры кольцевых структур от 3 км до 1 м на поверхности лунных морей подсчитаны по снимкам и картам Рейнджера VII (1967) и проверены по снимкам Рейнджера VIII и IX.

Распределение и размеры кольцевых структур менее 1 м подсчитаны по материалам Луны-9 (Первые панорамы..., 1965) и дополнены материалами Луны-13, Рейнджера IX, Сервейера. Всего учтено свыше 4000 кольцевых структур, сведенных в таблицу.

Таблица Количество и плотность кольцевых структур

Диаметр, км	I		II	
	N	n	N	n
0,000108	5	111 000	—	—
0,000118	4	89 000	—	—
0,000130	5	111 000	—	—
0,000142	5	111 000	—	—
0,000153	4	89 000	—	—
0,000165	6	136 000	—	—
0,000185	4	89 000	—	—
0,000200	5	111 000	—	—
0,000216	4	89 000	—	—
0,000235	3	66 500	—	—
0,000260	0	0	—	—
0,000285	3	66 500	—	—
0,000306	2	44 500	—	—
0,000330	2	44 500	4	1 100
0,000370	2	44 500	1	270
0,000400	0	0	3	830
0,000432	3	66 500	1	270
0,000470	2	44 500	30	8 320
0,000520	1	22 200	13	3 600
0,000570	2	44 500	3	832
0,000612	0	0	11	3 050
0,00067	0	0	40	11 100
0,00073	3	66 500	20	5 570
0,00081	0	0	15	4 190
0,00086	1	22 200	26	7 220

Диаметр, км	I		II		III	
	N	n	N	n	N	n
0,00095	3	66 500	21	5 840	—	—
0,00105	1	22 200	6	1 660	—	—
0,00113	0	0	20	5 570	—	—
0,00122	1	22 200	15	4 190	—	—
0,00135	2	44 500	27	7 500	—	—
0,00145	1	22 200	7	2 000	3	38
0,00163	1	22 200	2	557	1	13
0,00173	1	22 200	16	4 440	5	64
0,00190	1	22 200	5	1 390	14	178
0,00210	0	0	5	1 390	0	0
0,00225	—	—	0	0	3	38
0,00244	—	—	7	1 995	10	126
0,00270	—	—	2	557	2	28
0,00290	—	—	5	1 390	17	230
0,00325	—	—	1	270	8	102
0,00346	—	—	2	557	6	77
0,00380	—	—	0	0	28	360
0,00420	—	—	2	557	6	77
0,00450	—	—	1	270	10	126
0,00488	—	—	2	557	31	399
0,00535	—	—	0	0	16	215
0,00575	—	—	1	270	27	349
0,00645	—	—	1	270	3	38
0,00692	—	—	0	0	13	163
0,00750	—	—	0	0	12	152

Таблица (продолжение)

Диаметр, мм	III		IV	
	N	n	N	n
0,00825	4	51	—	—
0,00895	4	51	—	—
0,00976	9	115	21	2,56
0,0107	5	64	24	2,92
0,0117	0	0	41	5,00
0,0129	0	0	42	5,13
0,0138	0	0	85	10,40
0,0150	2	28,5	63	7,67
0,0165	2	28,5	36	4,38
0,0179	1	12,6	57	6,49
0,0196	0	0	36	4,38
0,0213	1	12,6	57	6,49
0,0233	3	38	12	1,47
0,0254	1	12,6	11	1,35
0,0277	1	12,6	17	2,07
0,0301	0	0	6	0,73
0,0329	0	0	5	0,61
0,0359	0	0	5	0,61
0,0392	—	—	14	1,71
0,0427	—	—	6	0,73
0,0466	—	—	6	0,73
0,0508	—	—	14	1,71
0,0554	—	—	9	1,09
0,0602	—	—	4	0,49

Диаметр, мм	IV		V	
	N	n	N	n
0,0658	8	0,98	—	—
0,0718	3	0,365	—	—
0,0783	3	0,365	—	—
0,0853	7	0,850	—	—
0,0931	3	0,365	—	—
0,102	2	0,240	—	—
0,110	2	0,150	—	—
0,121	7	0,526	—	—
0,131	7	0,526	—	—
0,143	0	0	—	—
0,156	2	0,15	—	—
0,170	1	0,075	—	—
0,186	5	0,376	—	—
0,203	3	0,226	27	0,058
0,221	4	0,300	55	0,134
0,241	4	0,300	29	0,071
0,263	2	0,15	20	0,049
0,287	2	0,15	34	0,082
0,312	2	0,15	23	0,056
0,341	0	0	35	0,085
0,372	0	0	36	0,088
0,406	—	—	17	0,041
0,443	—	—	17	0,041
0,482	—	—	15	0,036
0,526	—	—	10	0,024

Таблица (продолжение)

Диаметр, мм	V		VI		VII	
	N	n	N	n	N	n
0,574	6	0,014	129	0,0027	—	—
0,625	4	0,009	43	0,0010	—	—
0,682	5	0,012	142	0,0030	—	—
0,745	4	0,09	287	0,0061	—	—
0,813	1	0,002	69	0,0014	—	—
0,885	3	0,007	266	0,0056	—	—
0,965	1	0,002	51	0,0011	—	—
1,05	2	0,005	41	0,00086	—	—
1,15	—	—	26	0,00055	—	—
1,25	—	—	42	0,000882	—	—
1,37	—	—	34	0,000749	—	—
1,50	—	—	48	0,00109	—	—
1,63	—	—	19	0,00040	—	—
1,77	—	—	21	0,00045	—	—
1,93	—	—	32	0,000676	2	0,000009
2,12	—	—	3	0,000063	5	0,000022
2,31	—	—	4	0,000084	12	0,000054
2,50	—	—	13	0,000272	22	0,00001
2,73	—	—	5	0,000105	19	0,000086
2,97	—	—	3	0,000063	60	0,000027
3,24	—	—	3	0,000063	73	0,000033
3,53	—	—	0	0	146	0,000066
3,87	—	—	4	0,000084	90	0,000041
4,24	—	—	1	0,000021	53	0,000024
4,61	—	—	1	0,000021	67	0,0000301

Диаметр, мм	VI		VII	
	N	n	N	n
5,00	3	0,000063	43	0,000019
5,45	1	0,0000213	34	0,000015
5,94	0	0	25	0,0000112
6,46	2	0,000049	36	0,0000162
7,06	0	0	37	0,0000168
7,70	1	0,0000213	13	0,0000058
8,41	—	—	23	0,0000104
9,18	—	—	20	0,000009
10,00	—	—	19	0,0000086
10,90	—	—	14	0,0000063
11,90	—	—	14	0,0000063
13,00	—	—	14	0,0000063
14,10	—	—	6	0,0000027
15,40	—	—	9	0,0000040
16,90	—	—	7	0,0000032
18,40	—	—	6	0,0000027
20,00	—	—	8	0,0000036
21,80	—	—	10	0,0000045
23,80	—	—	9	0,0000040
25,00	—	—	7	0,0000032
28,30	—	—	8	0,0000036
30,80	—	—	7	0,0000032
33,60	—	—	7	0,0000013
36,60	—	—	3	0,0000013

Таблица (продолжение)

Диаметр, мм	VII		VIII		IX	
	N	n	N	n	N	n
40,0						
43,6	5	0,0000023	29	0,00000135	—	—
47,6	7	0,0000033	38	0,00000200	—	—
51,9	2	0,0000009	33	0,00000173	—	—
56,6	4	0,0000018	38	0,00000200	—	—
61,6	4	0,0000018	22	0,00000116	—	—
67,2	4	0,0000018	35	0,00000184	—	—
73,4	1	0,0000004	25	0,00000131	—	—
80,0	0	0	27	0,00000142	—	—
87,2	2	0,0000009	36	0,00000189	—	—
95,1	2	0,0000009	28	0,00000147	—	—
104	0	0	17	0,00000089	—	—
113	1	0,0000004	21	0,00000111	—	—
124	—	—	22	0,00000116	—	—
135	—	—	9	0,00000047	—	—
147	—	—	14	0,00000074	—	—
160	—	—	5	0,00000026	2	0,00000011
174	—	—	6	0,00000032	0	0
190	—	—	4	0,00000021	0	0
209	—	—	2	0,00000011	0	0
227	—	—	2	0,00000011	5	0,00000026
247	—	—	3	0,00000016	1	0,00000005
269	—	—	—	—	1	0,00000005
294	—	—	1	0,00000005	3	0,00000016
320	—	—	1	0,00000005	1	0,00000005
	—	—	—	—	1	0,00000005

Диаметр, мм	IX	
	N	n
349	1	0,00000005
380	3	0,00000016
415	0	0
453	1	0,00000005
494	1	0,00000005
539	0	0
588	2	0,00000011
640	0	0
698	0	0
730	0	0
830	1	0,00000005
906	0	0
988	0	0
1 080	0	0
1 180	1	0,00000002
1 260	0	0
1 400	0	0
1 520	0	0
1 660	1	0,00000002
1 810		

Средние диаметры кольцевых морей

	Диаметр, км		Диаметр, км
Зона морей (Океан Бурь, моря Дождей, Холода, Ясности, Спокойствия, Облаков, Влажности)	2850	Море Кризисов (?)	420
Океан Бурь с прилежащими морями	1740	Море Нектара	410
Море Дождей	1150	Море Южное (?)	410
Море Спокойствия	990	Море Влажности	360
Центральная часть Моря Дождей	900	Море Познанное	350
Северное кольцо Моря Дождей	810	Море Смита	300
Море Ясности	620	Залив Радуги	290
Залив Росы	590	Море Паров	270
Море Изобилия, центральная часть (?)	550	Море Волн	230
Море Ясности	450	Залив Зноя	225
Море Облаков (?)	430	Море Краевое	225
		Море Гумбольдта	200
		Море Пены	160
		Озеро Смерти	160

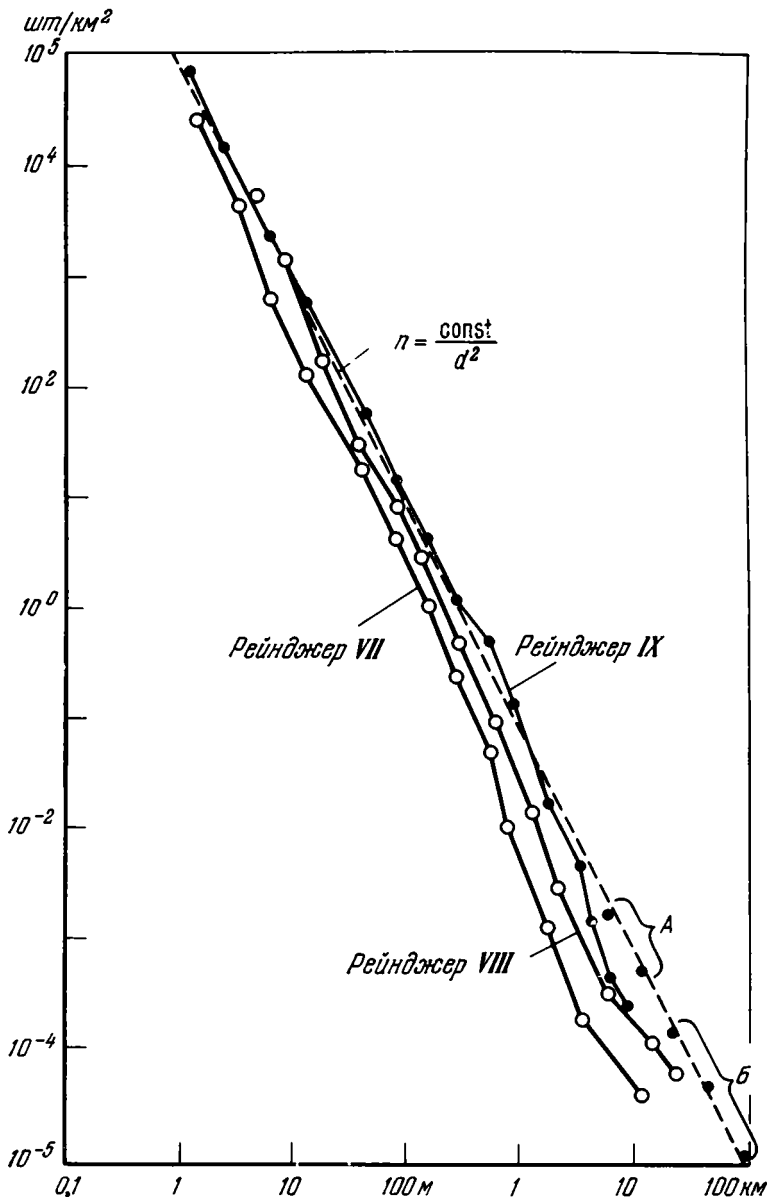
Так как связь количества кратеров и их размеров степенная, то графики построены в билогарифмическом масштабе. Все кольцевые структуры объединены в группы с логарифмически равноотстоящим (равномерным) интервалом группирования, и рассчитан среднелогарифмический диаметр структур (d) для каждого интервала группирования, по формуле

$$(1) \quad \lg d = \frac{\lg d_n - \lg d_{n+1}}{2},$$

где $\lg d_n$ и $\lg d_{n+1}$ — границы интервала группирования.

Примечание к таблице

- I — Луна-9 (Первые панорамы..., 1966), масштаб 1 : 40, площадь 0,000045 км²;
- II — Рейнджер VII, карта 5, 2 врезки, масштаб 1 : 350, площадь 0,0036 км²;
- III — Рейнджер VII, карта 5, масштаб 1 : 1 000, площадь 0,0789 км²;
- IV — Рейнджер VII, карта 4, масштаб 1 : 10 000, площадь 8,227 км², для кратеров более 110 м — 13,35 км²;
- V — Рейнджер VII, карта 3, масштаб 1 : 100 000, площадь 713,15 км²;
- VI — Рейнджер VII, карта 2, масштаб 1 : 500 000, площадь 47 500 км²;
- VII — Каталоги (Arthur a. oth., 1963 — 1966) на морях центральной части видимого диска, площадь 2 220 000 км²;
- VIII — цирки и кратеры по всему видимому диску, площадь 19 000 000 км²;
- IX — структуры типа морей, диаметром менее 1000 км, по всему видимому диску, площадь 19 000 000 км² и структуры более 1000 км по всей поверхности Луны, площадь 38 000 000 км².
- Буквами обозначено: N — количество кольцевых структур на данном участке, n — их количество на 1 км².



2. Распределение количества кольцевых структур в зависимости от их диаметра по Ю. М. Шумэкеру (Shoemaker, 1966)

А — по А. Пальму и Р. Ж. Штрому (Palm, Strom, 1963) и

Б — по Ж. Юнгу (Young, 1933).

По вертикали — количество кратеров на 1 км², по горизонтали — диаметр кратеров

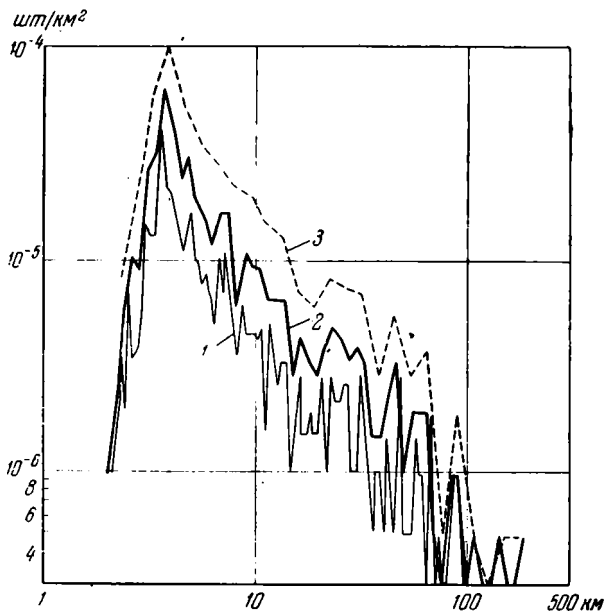
Если почти все авторы предшествовавших работ брали весьма большой интервал группирования (равный $lg 2$), позволявший получать достоверные результаты на малом объеме материала, то мы благодаря большому количеству измеренных структур могли уменьшить этот интервал группирования в несколько раз. На рис. 3 показаны распределения телескопических форм в центральной части лунного диска, построенные по каталогам (Arthur a. oth., 1963—1966) с интервалом группирования $1/16 lg 2$; $1/8 lg 2$ и $1/4 lg 2$. На каждой кривой хорошо видно, что общая тенденция — увеличение количества кольцевых структур с уменьшением диаметра — осложнена рядом деталей, поиски и анализ которых и являлись задачей исследования: конечно, эти детали лучше заметны при минимальном интервале группирования. Хотя крупных, видимых в телескоп кратеров было проанализировано много, мелких кольцевых структур проанализировано недостаточно, и все дальнейшие работы проводились при большей надежности лишь с интервалом группирования $1/8 lg 2$. Тем не менее эта величина в 8 раз меньше, чем в опубликованных работах.

Количество кольцевых структур с выбранным интервалом группирования $1/8 lg 2$ подсчитано для отдельных участков лунной поверхности разного масштаба (таблица, рис. 4). Для того чтобы распределение различных по диаметру кольцевых структур на разных по площади участках можно было бы сопоставлять, пересчитано количество их на $1 км^2$. Эта величина, предложенная Р. Б. Болдуином (Baldwin, 1949), отражает вероятность присутствия структур на единицу поверхности и удобна для вычисления суммарной площади, занимаемой структурами.

Построенные графики связи количества кольцевых структур и их диаметра (рис. 5) в первом приближении мало отличаются от графиков, построенных другими исследователями. Однако кривую распределения можно, несомненно, разделить на две части: левая, крутая, отражает распределение кольцевых структур диаметром от 200 км до 10 см, а правая, пологая, соответствует распределению морей. Сходный двучленный характер имеет график распределения частиц при первых стадиях дробления, который проанализирован математически (Филиппов, 1961). Это совпадение, может быть, не случайно и отражает сходство процессов дробления и структурообразования на поверхности планеты, что, возможно, даст путь к аналитическому решению этой задачи.

Правая, почти горизонтальная часть кривой отражает распределение структур первого типа — морей и океанов. Эти обширные области, легко различимые в телескоп и даже простым глазом, отличаются ровным дном, видимо заполненным в результате грандиозных трещинных излияний эффузивами основного состава. Края их обычно очерчиваются береговой кордильерой с крутым уступом в сторону моря, образованным системами дугообразных разломов. Часто структуры этого типа соприкасаются и накладываются, и тогда край их образован серией дуг, как это, например, наблюдается в северной части Моря Дождей. Если допустить, что величина структуры в какой-то мере отражает глубину ее заложения, то, по-видимому, образование гигантских морских проседаний и заполнение их базальтом связаны с самыми глубокими и самыми крупными магматическими очагами Луны или слоем типа астеносферы Земли.

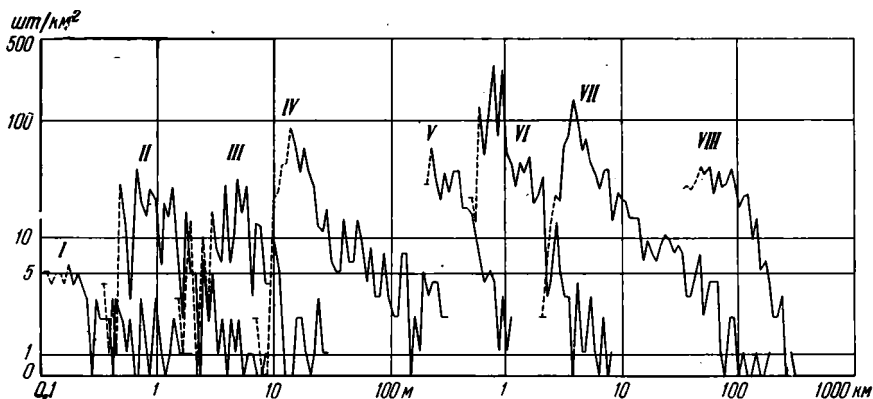
Левая, крутая, часть графика, которая отражает распределение кольцевых структур менее 200 км, имеет принципиально иной характер. В первом приближении она может быть аппроксимирована наклонной. Если n — количество структур данного интервала группирования на



3. Распределение количества кратеров в морях центральной части видимого диска Луны в зависимости от диаметров подсчитанных с разным интервалом группирования

По вертикали — количество кратеров на 1 км², по горизонтали — диаметры кратеров.

Интервалы группирования кривых: 1 — $1/16 \lg 2$; 2 — $1/8 \lg 2$; 3 — $1/4 \lg 2$

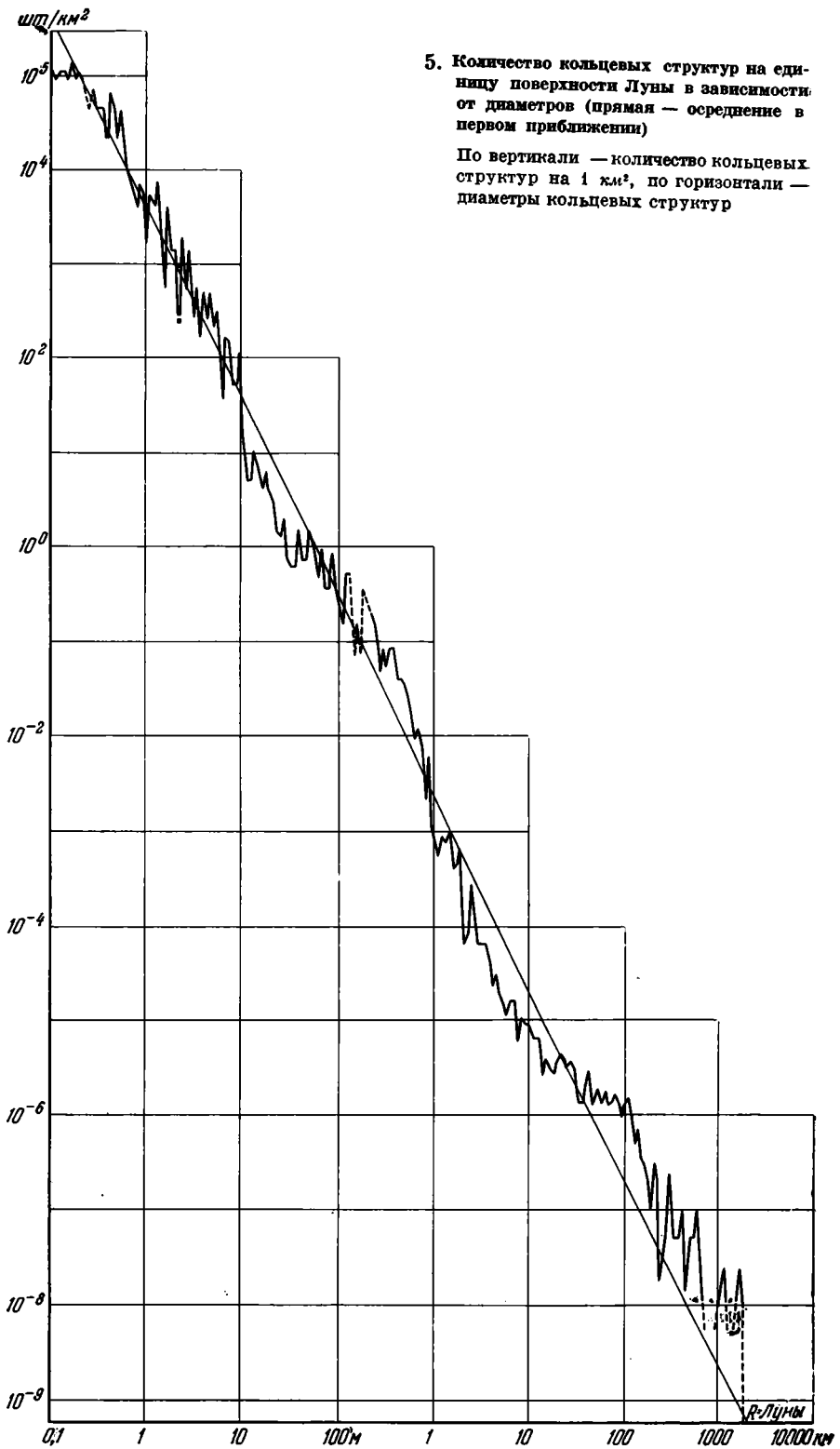


4. Количество кольцевых структур разных диаметров для отдельных участков лунной поверхности (неодинаковой площади) по различным материалам

I — Луна-9;

II—VI — Рейнджер-VII;

VII, VIII — каталоги кратеров (см. таблицу)



1 км^2 , R — радиус Луны (1740 км), $4\pi R^2$ — площадь Луны, d — средне-логарифмический диаметр данного интервала группирования, то при логарифмически равномерном группировании связь количества кольцевых структур и их диаметра будет описываться формулой

$$(2) \quad \lg n \cdot 4\pi R^2 = -2 (\lg d - \lg R) - \lg 30 = \lg \frac{R^2}{d^2} - 1,5.$$

Отсюда количество кольцевых структур данного интервала группирования на 1 км^2

$$(3) \quad n = \frac{R^2}{30 \cdot d^2 \cdot 4\pi R^2} = \frac{1}{377 \cdot d^2}.$$

Естественно, что n возрастает в случае увеличения интервала группирования. Из формул (2, 3) следует, что при равномерном логарифмическом группировании количество кольцевых структур на Луне обратно пропорционально квадрату их диаметра. Эту закономерность впервые вывел для телескопических кратеров Ж. Юнг (Young, 1933, 1940); А. Пальм и Р. Г. Штром (Palm and Strom, 1963) получили ее для кратеров более 1 км, а Е. М. Шумэкер (Shoemaker a. oth., 1966), Р. Ж. Коллинз и Б. Г. Смит (Collins, Smith, 1966) и другие по снимкам Рейнджеров вывели ее для мелких лунок.

Следует заметить, что распределение повторяемости землетрясений по энергии и магнитуде (Gutenberg, Richter, 1954; Ризниченко и др., 1960) и распределение космической материи по массе (Dubin, Mc Cracken, 1962) сходны с распределением кратеров по диаметрам. Поэтому сходство распределений эндогенных (энергия землетрясений) и экзогенных (масса метеоритов) процессов с распределением кольцевых структур в первом приближении не позволяет судить о генезисе последних. Наоборот, этот факт указывает на внешнее сходство по крайней мере всех трех процессов, а скорее всего, — на единство распределения природных явлений.

Если площадь (s), занимаемая одним кратером диаметра d , равна

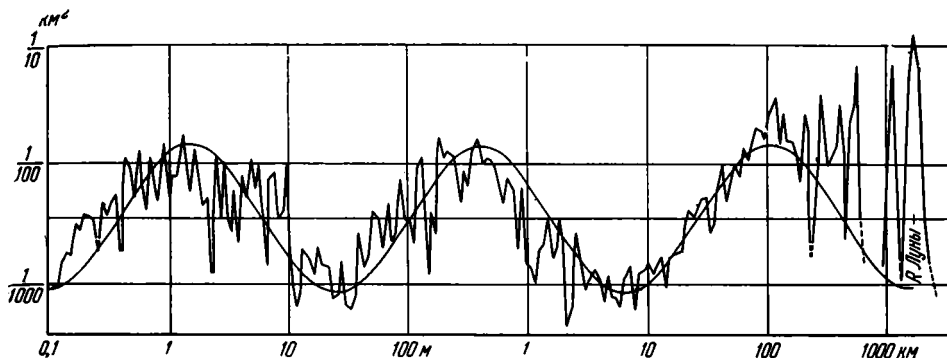
$$(4) \quad s = \frac{\pi d^2}{4},$$

то суммарная площадь (S), занимаемая всеми кратерами взятого интервала группирования ($1/8 \lg 2$), на 1 км^2 будет

$$(5) \quad S = n \cdot s = \frac{1}{120 \cdot \pi d^2} \cdot \frac{\pi d^2}{4} = \frac{1}{480} = 0,0021 \text{ км}^2 = \text{const.}$$

Таким образом, при равномерном логарифмическом интервале группирования в первом приближении, допускающем справедливость формул (4, 5), суммарная площадь, занимаемая кольцевыми структурами в пределах одного интервала группирования, постоянна и составляет 0,21 % морской поверхности. Интересно, что суммарная масса метеоритов с постоянным логарифмическим интервалом группирования тоже как будто постоянна (Dubin, Mc Cracken, 1962).

Однако при более детальном анализе выясняется, что в действительности распределение кольцевых структур не совсем соответствует рассчитанной



6. Отклонения распределения кольцевых структур от усредненной прямой графика рис. 5 (косинусоида — осреднение во втором приближении)

По вертикали — суммарная площадь кратеров данного диаметра, приходящихся на 1 км^2 , по горизонтали — диаметры кратеров

прямой. Если построить график отклонений от нее реальных значений частоты кратеров (n') (рис. 6, 7), то в первую очередь выделяются кольцевые лунные моря — структуры диаметром более 200 км . Распределение же структур диаметром менее 200 км имеет периодический характер и довольно хорошо описывается косинусоидой, период которой (T) равен $8 \lg 2$, а амплитуда (A) близка $2 \lg 2$:

$$(6) \quad \lg n' = A \cdot \cos \left[\frac{2\pi}{T} (\lg R - \lg d) + \varphi \right] = -0,6 \cos \left(\frac{\pi}{1,2} \lg \frac{R}{d} \right)$$

или

$$(7) \quad n' = 10^{-0,6 \cos \left(\frac{\pi}{1,2} \lg \frac{R}{d} \right)}.$$

Реальная кривая несколько отличается от подобранной симметричной косинусоиды: по-видимому, точнее описывать распределение будет асимметричная косинусоида с более пологим левым и более крутым правым склонами. Это видно на графике отклонений от косинусоиды (рис. 8) для структур диаметром приблизительно 1 км и 2 м .

Суммарная площадь, занимаемая кольцевыми структурами для каждого интервала группирования, была бы постоянна, если бы их распределение отвечало только формулам (2) и (3). Но отклонения их количеств, описанные формулами (6) и (7), также являются и отклонениями площади, занимаемыми кольцевыми структурами. Поэтому во втором приближении суммарная площадь, занимаемая кольцевыми структурами на 1 км^2 , будет

$$(8) \quad \lg S \cdot S' = \lg 0,0021 - 0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \lg \frac{R}{d} \right]$$

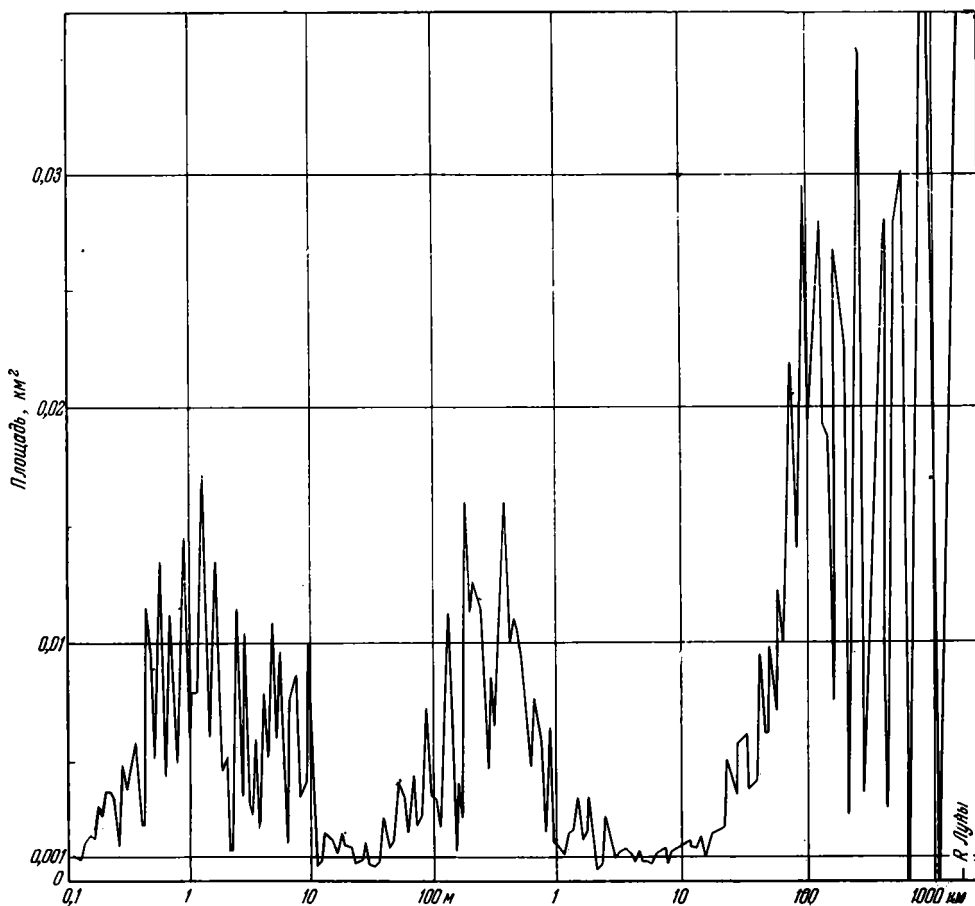
или

$$(9) \quad S \cdot S' = 0,0021 \cdot 10^{-0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \cdot \lg \frac{R}{d} \right]}.$$

На рис. 6 и особенно на рис. 7, где по вертикали отложена площадь, занимаемая кольцевыми структурами в нормальном масштабе, хорошо видно, что существуют устойчивые, характерные размеры структур,

которые широко распространены; особенно четко выражены их размеры, соответствующие минимумам косинусоиды. Сравнивая фотографии поверхности лунных морей разных масштабов, например серии снимков Рейнджер VII, VIII и IX, также легко заметить несколько разных типов распространения кольцевых структур: на снимках одного масштаба кольцевые структуры определенных интервалов группирования занимают лишь небольшую часть — десятки доли процента, а на снимках другого масштаба кольцевые структуры уже иных величин занимают гораздо большую часть территории — до единиц процентов. Похожие по распространенности кратеров разные интервалы группирования соответствуют сходным по фазе участкам косинусоиды.

Размеры структур, соответствующие максимумам косинусоиды, по-видимому, типичны для поверхности Луны и поэтому их целесообразно положить в основу классификации структур Луны. Естественно думать, что такая классификация будет отражать их генезис. Таким образом, среди



7. Суммарная площадь, занимаемая кольцевыми структурами различных диаметров на 1 км². Вертикальный масштаб нормальный

По вертикали — суммарная площадь, приходящаяся на 1 км²; по горизонтали — диаметры кратеров

структур диаметром менее 200 км выделены три класса, соответствующих трем максимумам косинусоиды: 1-й класс — кратеров, 2-й класс — лунок и 3-й класс — воронок и ямок. Ниже мы попытаемся обосновать реальность существования выделенных классов с геологических позиций.

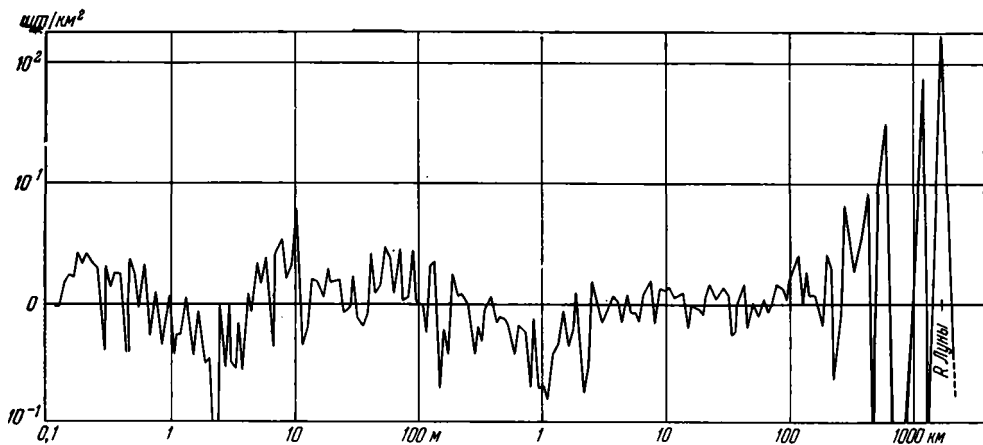
1-й класс — цирков и кратеров — объединяет видимые в телескоп структуры диаметром от 200 до 6,5 км. Наиболее распространены кратеры от 200 до 60 км, занимающие свыше 1 % морской поверхности для каждого интервала группирования, в отличие от меньших кратеров, занимающих до 0,1 % морской поверхности. Кратеры имеют четко выраженный кольцевой гребень и глубокую центральную впадину, нередко заполненную, особенно у древних кратеров, проникшими из морских районов породами. Кратеры обычно окружены выбросами, а у молодых структур — системой расходящихся лучей. Выбросы образованы при взрывах, сопровождавших образование цирков и кратеров. По-видимому, эти структуры есть результат извержения магмы и проседания участка поверхности. Если допустить, что размеры вулкано-тектонических структур связаны с размерами очагов, то можно думать, что кратеры, являющиеся, как и моря, вулкано-тектоническими структурами, связаны с более локальными магматическими очагами, расположенными в иных тектонических зонах, чем региональные магматические очаги, с которыми связано образование морей.

2-й класс — лунки — по определению А. В. Хабакова (1949), охватывает кольцевые структуры диаметром менее 5 км. Д. У. Дж. Артур (Arthur, 1954) также выделил в особую группу телескопические структуры менее 17 км. Мы относим к классу лунок кольцевые структуры от 6,5 км до 30 м; наиболее распространены формы диаметром от 700 до 280 м, занимающие 1 % морской поверхности для каждого интервала группирования. Лунки характеризуются обычно отсутствием или малым объемом выброшенного вещества и малозаметным проседанием относительно окружающей местности. Возможно, лунки являются небольшими вулканами, часть которых имеет, несомненно, паразитический характер, а другие — как бы трассируют линии разломов; лунки могут быть также результатом разовых извержений, а возможно, возникли при обрушении пород над подводными каналами и пустотами. Вероятно, часть лунок образовалась при ударе метеоритов и вулканических бомб, выброшенных при извержениях.

3-й класс — воронок и ямок, описанных по панорамам Луна-9 и 13 (Первые панорамы..., 1965) и по последним снимкам Рейнджера IX (1966). К ним относятся структуры диаметром от 30 м до 10 см; наиболее характерны структуры от 2 м до 20 см. Это структуры разного облика, различающиеся формами (конус, полусфера и т. д.) и крутизной склонов. Кроме ударных ямок, которые, наверное, наиболее распространены, возможны ямки, возникающие при обрушении вещества над небольшими пузырями, пустотами или подводными каналами. Вероятно, эти структуры связаны с верхним, наиболее рыхлым, из слоев — коркой; мощность ее тогда колеблется в пределах до 10—20 м. Она определена в 3—10 м радиофизическими методами (Троицкий, 1965). Может быть, по частоте и диаметру структур 3-го класса в разных участках можно судить о толщине этого слоя.

После аппроксимирования распределения по косинусоиде, т. е. со второй степенью приближения, график приобретает вид ломаной (рис. 8), на которой кроме обсуждавшихся отклонений видны более мелкие колебания распределения кольцевых структур.

Отклонения в распределении напоминают случайные: подобные колебания могут быть найдены и в чередовании слоев осадочных пород и, напро-



8. Отклонения распределения кольцевых структур по диаметрам от косинусоиды (осреднение в третьем приближении)

По вертикали — отклонения в шт/км², по горизонтали — диаметры

тив, в цифрах телефонного справочника (Zeller, 1964). Для подтверждения периодичности, а не случайности необходимы дополнительные данные. В данном случае колебания были детально проанализированы для структур типа морей и для телескопических кратеров: в этой области они статически обоснованны; для более мелких структур требуются дополнительные материалы и точные измерения.

По-видимому, именно эту неравномерность в распределении кратеров заметил Г. Г. Тюрк (1924), отметивший, что особенно много кратеров диаметром 25—35 км и, наоборот, очень мало — 40—50 км. Ж. Юнг (Young, 1940), рассматривая гистограмму размеров кратеров, отметил незаконномерное повышение их количества для диаметров 21, 32, 40 и 56 км. С его наблюдением согласился и Ф. Джильберт (Gilbert, 1961). М. М. Шемякин (1965), изучая цепочки кратеров, показал, что в этих образованиях, которые он справедливо приурочивает к кольцевым разломам, наблюдается строгое соответствие расстояний между центрами кратеров, а также между диаметрами кратеров в составе одной цепочки, которое отвечает геометрической прогрессии с коэффициентом $\sqrt{2}$ (Шемякин, 1965). Сходную зависимость высоты конуса вулкана от его положения в вулканической дуге показал для Земли В. Г. Кузнецов (1965). Анализ кривой распределения кольцевых форм с третьим приближением позволяет считать несомненным существование цикличности с периодом $\frac{1}{2} \lg 2$ для морей и кратеров и возможным для структур 2-го и 3-го классов. Эта цикличность отклонений количества кольцевых структур от косинусоиды (6) и (8) — (n^*), а также отклонения в занимаемой ими площади — (S^*) могут быть описаны новой косинусоидой, период которой (T) равен $\frac{1}{2} \lg 2$, а амплитуда (A) близка к $\lg 2$:

$$(10) \quad \lg n^* = A \cos \left[\frac{2\pi}{T} (\lg R - \lg d) + \varphi \right] = 0,3 \cos \left(\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d} \right)$$

или

$$(11) \quad n'' = 10^{0,3 \cos\left(\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d}\right)}.$$

Размер наиболее распространенных, устойчивых кольцевых структур будет

$$(12) \quad d_{\max} = \frac{R}{(\sqrt{2})^k},$$

где k — простые целые числа (1, 2, 3...) — порядок диаметров кольцевых структур, а R — радиус Луны.

Кольцевых структур, отвечающих формуле (12), не только больше, но они более четко выражены морфологически: моря очерчены кордильерами, а кратеры — высоким валом. Промежуточные по размерам структуры имеют расплывчатые очертания, берега их «подтоплены», как, например, у морей Влажности и Южного, или они состоят из нескольких соприкасающихся кольцевых форм, как моря Изобилия и Спокойствия. Сказанное справедливо не только для молодых, но и для древних структур. Таким образом, можно говорить об устойчивости структур, соответствующих периодичности, выраженной не только формулами (6) и (7), но и формулами (10) и (11).

Укажем примеры морей и талассоидов на обеих сторонах Луны, типичных по размерам для ее поверхности и отвечающих периодичности (10, 11).

1. $\frac{R}{(\sqrt{2})^0}$ (1740 км) — Океан Бурь с окрестностями.
2. $\frac{R}{(\sqrt{2})^1}$ (1260—1180 км) — Море Дождей (1150 км) и Море Нектара в алтайское время (около 1200 км, по А. В. Хабакову, 1949).
3. $\frac{R}{(\sqrt{2})^2}$ (906—830 км) — внутреннее кольцо Моря Дождей, ограниченное внутренней кордильерой.
4. $\frac{R}{(\sqrt{2})^3}$ (640—588 км) — Море Ясности и Залив Росы.
5. $\frac{R}{(\sqrt{2})^4}$ (453—415 км) — моря Кризисов, Нектара и Облаков, талассоиды Королев и Чебышев.
6. $\frac{R}{(\sqrt{2})^5}$ (320—294 км) — моря Познанное, Смига, Залив Радуги, кратер Бэйа.
7. $\frac{R}{(\sqrt{2})^6}$ (227—209 км) — моря Воли, Гумбольдта, Краевое, Залив Зноя, внутреннее кольцо талассоида Королев, кратеры Галлуа, Жансен, Клавий, Цандер, Шиккард.
8. $\frac{R}{(\sqrt{2})^7}$ (160—147 км) — Море Пены, Озеро Смерти, кратеры Деларвэ, Лагранж, Маджини, Лонгомонтан, Лоренц, Мендель, Хоммель, Шиллер, Эддингтон.
9. $\frac{R}{(\sqrt{2})^8}$ (113—104 км) — кратеры Бальмер, Казатти, Катарина, Ксенофон, Ложенталь, Метон, Оронций, Паскаль, Пиаци, Питат, Платон, Пурбах, Регимонтан, Рентген, Рексольд, Римап, Сокробоско, Саут, Скотт, Филиппс, Шейнер.

Сейчас не совсем ясна причина такой периодичности в распределении кратеров. В. В. Пиотровский (1959, 1963), под влиянием исследований которого и была поставлена настоящая работа, установил сходную дискретность распространения структур на поверхности Земли. Он пишет (1964, стр. 291), что рельеф Земли формируется под действием различных, в основном периодических, колебаний, пропорциональных размерам Земли и связанных с ее физическими свойствами. При изучении этих колебаний, «волн», особое внимание следует обратить на возможное их суммирование и явления резонанса. Он считает, что «общий морфометрический ряд форм рельефа и тектонических структурных форм является цифровым выражением общей закономерности, прослеживающейся в природе, выраженной в малых и больших формах рельефа и в тектонических структурах экзогенного и эндогенного происхождения» (стр. 291). Можно добавить, что мощность сейсмических колебаний, распространяющихся при землетрясении, меняется неравномерно по мере изменения их частоты; периодичность чередования мощных и маломощных частот постоянна для разных землетрясений и определяется собственными колебаниями планеты (Пресс, 1967). Так, что Земля при землетрясении ведет себя подобно настроенному звучащему телу.

Выводы и заключения

Таким образом, статистический анализ распределения молодых кольцевых структур позволяет высказать некоторые предположения о строении Луны и ее поверхности.

1. Количество кольцевых структур на единицу морской поверхности зависит от радиуса планеты и квадрата диаметра структуры; оно описывается уравнением, состоящим из трех членов, каждый из которых выражает последовательную степень приближения:

$$(13) \lg n + \lg n' + \lg n'' = 2 \lg \frac{R}{d} - 1,5 - 4\pi R^2 - 0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \cdot \lg \frac{R}{d} \right] + 0,3 \cos \left[\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d} \right]$$

или

$$(14) n \cdot n' \cdot n'' = \frac{10^{-0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \cdot \lg \frac{R}{d} \right] + 0,3 \cos \left[\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d} \right]}}{377 d^2}.$$

2. Часть площади (в процентах или долях поверхности), занимаемая кольцевыми структурами определенного диаметра, в первом приближении постоянна для каждого интервала группирования, с тремя приближениями она описывается формулой:

$$(15) \lg S + \lg S' + \lg S'' = \lg 0,0021 - 0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \cdot \lg \frac{R}{d} \right] + 0,3 \cos \left[\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d} \right]$$

или

$$(16) S \cdot S' \cdot S'' = 0,0021 \cdot 10^{-0,6 \cos \left[\frac{\pi}{1,2} \cdot \lg \frac{R}{d} \right] + 0,3 \cos \left[\frac{\pi}{0,075} \cdot \lg \frac{R}{d} \right]}.$$

3. Из распределения кольцевых структур в первом приближении хорошо видна разница морей и более мелких кольцевых структур. Левая часть кривой свидетельствует об убывании количества структур обратно пропорционально квадрату их диаметра. Она сходна с кривой распределения космической материи по массе, с одной стороны, и землетрясений по энергии — с другой.

4. Распределение кольцевых структур во втором приближении периодично и описывается косинусоидой с периодом $8 \lg 2 = \lg 256$. Ее анализ позволяет разделить кольцевые структуры от 200 км до 10 см на три класса.

5. Существование морей и трех классов более мелких кольцевых структур позволяет предполагать существование четырех геологических уровней в строении лунной коры, отвечающих, вероятно, слоям с различными физическими свойствами. Это предположение, видимо, следует учитывать при создании сейсмических и гравитационных моделей Луны.

6. Особенности распределения кольцевых структур в третьем приближении описываются косинусоидой с длиной волны, равной $\frac{1}{2} \lg 2$. По-видимому, они связаны с особенностями возникновения и роста структур разных размеров и с законами возникновения и распространения собственных колебаний планеты. Эта периодичность весьма вероятна для распределения морей и телескопических кратеров.

Приведенные материалы показывают эффективность морфометрических исследований и их статистической обработки и намечают круг вопросов, подлежащих дальнейшему разрешению. В первую очередь должны быть проведены, с одной стороны, анализ распределения молодых кольцевых структур на различных по строению и по возрасту участках и, с другой стороны, сравнительный анализ молодых и древних кольцевых структур. Особое направление составляет сравнение распределения кольцевых структур Луны с их распределением на Земле и Марсе.

При обработке материала помимо авторов подсчеты производили студенты, члены петрографического кружка Московского института нефтехимической и газовой промышленности им. И. М. Губкина: И. В. Зимина, В. К. Кленова, Е. Л. Курбала, Н. А. Матвеева, Г. А. Поликина, Е. С. Серебрякова. Результаты работы неоднократно обсуждались с В. В. Пиотровским (МИИГАиК), К. П. Флоренским (Институт геохимии АН СССР), Я. Я. Каганом (Институт горного дела), Ю. П. Псковским (ГАИШ). Им всем мы глубоко признательны.

Литература

Бонев Н.

1963. О вулканизме на Луне. — В кн. «Новое о Луне». М. — Л., Изд-во АН СССР.

1965. О происхождении лунных кратеров. — В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.

Вегенер А.

1923. Происхождение Луны и ее кратеров. М., Госиздат.

Глобус Луны масштаба 1 : 13 600 000. М., 1964.

Кайе А., Трикар Ж.

1959. Проблемы классификации геоморфологических явлений. — В кн. «Вопросы климатической и структурной геоморфологии». М., ИЛ.

- Каттерфельд Г. Н.**
1965. Типы, возраст и генезис структур Луны.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.
- Куанецов В. Г.**
1965. О некоторых аналогиях в размещении лунных кратеров и земных вулканов.— Бюлл. ВАГО, № 36.
- Лукашевич И. Д.**
1908, 1909, 1911. Неорганическая жизнь Земли, ч. 1—3. СПб.
Первые панорамы лунной поверхности. М., изд-во «Наука», 1965.
- Плотровский В. В.**
1959. К вопросу о создании общей классификации форм рельефа литосферы. М., Изд. МИИГАиК.
1963. Использование морфометрии для изучения рельефа Земли.— В кн. «Земля во вселенной». М., изд-во «Мысль».
- Пресс Ф.**
1967. Собственные колебания Земли.— Земля и вселенная, № 3.
- Ризниченко Ю. В., Бунэ В. И. и др.**
1960. Методы детального изучения сейсмичности.— Труды Ин-та физ. Земли АН СССР, № 9.
- Станюкович К. П., Бронштэн В. А.**
1960. Роль внешних космических факторов в эволюции Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Троицкий В. С.**
1965. Состав и структура пород лунной поверхности.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.
- Тюрк Г. Г.**
1924. Статистика кольцевых форм лунной поверхности. Русский астроном ж., 1, вып. 3—4.
- Филиппов А. Ф.**
1961. О распределении размеров частиц при дроблении.— В кн. «Теория вероятности и ее применение», вып. 3. М., Изд-во АН СССР.
- Флоренский В. П., Лапинская Т. А.**
1951. О некоторых вопросах теории осадкообразования.— В кн. «К вопросу о состоянии науки об осадочных породах». М., Изд-во АН СССР.
- Фотокарта видимого полушария Луны.** М. 1 : 5 000 000. Научный руководитель Ю. Н. Липский. М., изд-во «Наука», 1967.
- Хабаров А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шемакин М. М.**
1965. Геометрические закономерности в цепочках некоторых лунных кратеров.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.
- Arthur D. W. G.**
1950. Lunar crater chains.— J. Brit. Astron. Assoc., 60, N 3.
1954. The distribution of lunar craters.— J. Brit. Astron. Assoc., 64, N 3.
- Arthur D. W. G., Agnieray A. P., Horvath R. H. a. oth.**
1963. The system of lunar craters, quadrant 1.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 2, pt 3, N 30.
1964. The system of lunar craters, quadrant 2.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 3, pt 1, N 40.
1965. The system of lunar craters, quadrant 3.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 4, pt 1, N 50.
- Arthur D. W. G., Pellicoro R. H., Wood C. A.**
1966. The system of lunar craters, quadrant 4.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 5, pt 1, N 70.
- Baldwin R. B.**
1949. The face of the Moon. Chicago, Univ. Chicago Press.
1964. Lunar craters counts.— Astron. J., 69.
1965. A fundamental survey of the Moon. N. Y.
- Boneff N.**
1956. La distribution des cratères lunaires en rapport à leur origine. (Influence probable de la terre).— Annuaire Univ. Sofia, fac. sci. phys. et math., 49, pt 2.
1957. La distribution des cratères lunaires en rapport à leur origine. Un argument nouveau contre l'hypothèse météoritique.— Annuaire Univ. Sofia, fac. sci. phys. et math., 50, pt 1.

- Brinkman R. T.**
1966. Lunar craters distribution from the Ranger VII photographs.— *J. Geophys. Res.*, 71.
- Cameron A. G. W.**
1965. Planetary structure. Chap. 19.— In: «Introduction to space science», N. Y., Gordon a. Breach Sci. Publ.
- Collins R. J.**
1965. Erosion on the lunar surface by meteor impact. Report of the Tycho Study Group. Univ. Minnesota. Minneapolis.
1966. A model for the size distribution of lunar rocks. Report of the Tycho Study Group. Univ. Minnesota. Minneapolis.
- Collins R. J., Smith B. G.**
1966. Craters statistics and erosion.— In «The physics of the Moon». Washington.
- Copeland J.**
1966. On the two-layer model of the lunar surface.— *Astrophys. J.*, 146, N 1.
- Cross C. A.**
1966. The size distribution of lunar craters.— *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 134, N 3.
- Divoky D.**
1966. The equivalence of mass and energy scaling of craters dimensions: comment on a paper by A. J. Chabai.— *J. Geophys. Res.*, 71, N 10.
- Dodd R. T., Salisbury J. W., Smalley V. G.**
1963. Crater frequency and the interpretation of lunar history.— *Icarus*, 2.
- Dubin M., Mc Cracken C. W.**
1962. Measurements of distributions of interplanetary dust.— *Astron. J.*, 67, N 5.
- Fauth P.**
1907. The Moon in modern astronomy. London.
- Fielder G.**
1965. Distribution of craters on the lunar surface.— *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 129.
- Gilbert F.**
1961. Structure of the Moon's surface. Oxford — London — N. Y. — Paris. Pergamon Press.
- Gault D. E., Quaide W. L., Oberbeck V. R.**
1966. Interpreting Ranger photographs from impact cratering studies.— *IAU-NASA Symposium*, Baltimore, April 1965.
- Goodacre W.**
1936. The measurement of the diameters of 459 lunar craters.— *Mem. Brit. Astron. Assoc.*, 32, pt 2.
- Gutenberg B., Richter C. F.**
1954. Seismicity of the Earth and associated phenomena. Princeton, Univ. Press.
- Hartmann W. K.**
1964. On the distribution of lunar crater diameters.— *Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona*, 2, N 38.
1966. Early lunar cratering.— *Icarus*, 5, N 4.
- Kreiter T. J.**
1960. Dating lunar surface by features by using craters frequencies.— *Publ. Astron. Soc. Pacif.*, 72.
- Lenham A. P.**
1964. The distribution of lunar craters.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 74.
- Lunar chart. Ranger VII. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force, 1964.
- Mac Donald T. L.**
1931a. Studies in lunar statistics.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 41.
1931b. The number and area of lunar objects.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 41.
- Mc Gillem C. D., Miller B. P.**
1962. Lunar surface roughness from craters statistics.— *J. Geophys. Res.*, 67.
- Marcus A.**
1964, 1966. A stochastic model of formation and survival of lunar craters.— *Icarus*, 1964, pt 1, N 3; 1966, pt 2—4, N 5.
- Miller B. P.**
1965. Distribution of small lunar craters based on Ranger VII photographs.— *J. Geophys. Res.*, 70.
- Moore P.**
1966. Interlocking lunar craters.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 76, N 4.

- O'Keefe J. A.**
 1965. The Moon, chap. 17.— In: «Introduction to space science». N. Y., Gordon and Breach Sci. Publ.
- Opik E. G.**
 1960. The lunar surface as an impact counter.— *Monthly Notices Roy. Astron. Soc.*, 120.
- Palm A., Strom R. G.**
 1963. The craters in the lunar walled plain Ptolomaeus.— *Planet. Space Sci.*, 11.
- Rennilson G. G., Dragg J. L., Morris E. C. a. oth.**
 1966. Lunar surface topography. Surveyor 1 mission rept, pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol.
- Sadil J.**
 1954. Měcis.— *Říše hvězd*, 35, N 5.
- Shoemaker E. M.**
 1962. Interpretation of lunar craters.— In: «Physics and Astronomy of the Moon». Z. Kopal (Ed.). N. Y., Acad. Press.
- Shoemaker E. M.**
 1965. Preliminary analysis of the fine structure of the lunar surface in Mare Cognitum. Ranger VII, Technical Rept N 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol.
- Shoemaker E. M. a. oth.**
 1966. Progress in the analysis of the fine structure and geology of the lunar surface from the Ranger VIII and IX photographs. Ranger VIII and IX, Technical Rept N 32-800, Pt. 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol.
- Simpson J.**
 1966. Evidence for the volcanic origin of lunar and martian craters.— *Earth and Planet. Sci. Letters*, 1, N 3.
- Young J.**
 1931. Note on the diameter of lunar craters.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 41.
 1933. Preliminary report of a statistical investigation of the diameters of lunar craters.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 43.
 1940. Statistical investigation of the diameters and distribution of lunar craters.— *J. Brit. Astron. Assoc.*, 50.
- Zeller Ed. J.**
 1964. Cycles and psychology.— *Bull. State Geol. Surv. Kansas*, N 169/2. Peř. P. H., 1967, N 7, N 2A113.

Сравнение форм лунного рельефа с земными вулканическими образованиями

В. Г. Трифонов

Происхождение форм лунного рельефа разные авторы связывают либо с космическими, либо с эндогенными процессами. В последние годы все более утверждается мнение, что на поверхность Луны действуют обе группы процессов. Обоснование особенностей и происхождения рельефа Луны в результате падений космических тел разного размера приводится А. Вегенером, Г. Юри, К. П. Станюковичем и В. А. Бронштэном. Особенно подробно теория метеоритного кратерообразования рассмотрена Р. Б. Болдуэном (Baldwin, 1965). Серьезные доказательства вулканического происхождения многих форм лунного рельефа содержатся в работах А. В. Хабакова, К. фон-Бюлова, Дж. Е. Сперра.

По имеющимся данным наземных наблюдений, измерений и фотографий, полученных космическими аппаратами, лунный грунт в массе своей состоит из сильно пористых силикатных пород, скорее всего, основного, а местами, может быть, ультраосновного состава (Виноградов и др., 1966) и в целом обнаруживает наибольшую сходимость характеристик с земными вулканогенными породами. Для сравнения с формами рельефа Луны представляется полезным систематически рассмотреть земные вулканические постройки, отмечая особенно подробно те структуры и их элементы, которые морфологически сходны с лунными¹.

Кратеры, кальдеры, вулкано-тектонические депрессии

Основываясь на многочисленных описаниях и классификациях современных вулканических структур (Беммелен, 1957; Влодавец, 1947; Дэли, 1936; Knebel, 1907; Reck u. and., 1936; Tanakadate, 1930; Williams, 1941), их можно разделить прежде всего на положительные и отрицатель-

¹ Автор приносит благодарность В. В. Коптевой, консультировавшей его по вопросам систематики земных вулканических построек.

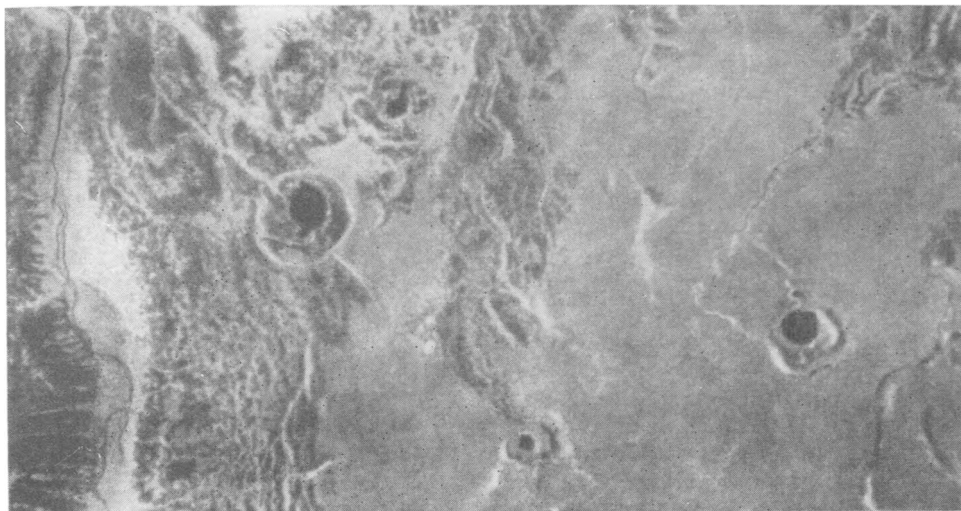
ные формы. К положительным образованиям относятся щитовые вулканы, стратовулканы, пепловые и шлаковые конуса, лавовые потоки и покровы, дайки, конуса вязкой магмы, экструзивные купола, куполообразные и удлиненные поднятия над скрытыми магматическими телами разной формы. Основные группы отрицательных вулканических форм — вулканические каналы, кратеры, кальдеры и вулканско-тектонические депрессии.

Кратеры — сравнительно небольшие воронки диаметром до 1 км, образующиеся на конце вулканического канала в результате его расширения при извержении. Кратеры обычно сопровождают положительные вулканические формы, т. е. возникают при подъеме уровня магмы в очаге. В. И. Влодавец (1947) классифицирует кратеры на одиночные, двойные, цепочкообразные, групповые и гнездовые (кратер в кратере). По расположению на вулканическом аппарате различаются центральные и боковые (в том числе паразитические) кратеры. К кратерам морфологически и генетически близки сравнительно редко встречающиеся эксплозивные кальдеры (Williams, 1941). Они крупнее кратеров и появляются на вулканических аппаратах в результате особенно крупных эксплозий. При одиночной эксплозии может возникнуть маар (рис. 1), воронка диаметром до 2 км без большого вала вокруг нее.

В отличие от кратеров, кальдеры представляют собой пассивные формы оседания или обрушения, возникающие при понижении уровня и давления магмы в очаге после извержения или в результате изменения формы и объема магмы без ее выхода на поверхность. Х. Вильямс (Williams, 1941) считает наиболее распространенными кальдеры типа Кракатау и типа Килауэа. В первом типе (кальдеры обрушения, по В. И. Влодавцу, 1947) образование депрессии следует за повторяющимися и обычно кратковременными мощными эксплозиями с обильным выделением газов, пемзы и пепла из центрального жерла или группы жерл; обрушение происходит по коническим трещинам вследствие эксплозивного удаления материала из магматического очага. Во втором типе понижение уровня магмы в очаге и провал вулканической постройки происходят вследствие быстрого излияния лав из трещин на краях конуса или внедрения магмы в виде даек и силлов. В. И. Влодавец (1947) выделяет как особенно распространенный тип кальдеры оседания, возникающие при огромном извержении газов и пемзы, сопровождавшемся излияниями лав преимущественно кислого состава. Более редкими образованиями Х. Вильямс считает кальдеры типа Катмаи, образующиеся при участии ассимиляции пород вулканического аппарата, типа Глен Ко с обрушением по цилиндрическим разломам, скрытовулканического типа, созданные подземными эксплозиями, и разные типы кальдер, возникающие вследствие изменения формы и объема магматического тела на глубине.

Главными факторами кальдерообразования, по мнению Х. Вильямса, являются: 1) мощность и механические свойства пород кровли магматического очага; 2) форма и размеры очага; 3) скорость выделения магматического материала и его объема, что в значительной мере определяется составом, механическими и термодинамическими свойствами магмы, соотношениями очага с зоной ее генерации.

К кальдерам по способу образования близки «конка» (Tanakadate, 1930) — удлиненная, частью ступенчатая, частью пологая овальная или подковообразная впадина рядом с вулканическими аппаратами или между ними — и «вулканический прогиб» (Влодавец, 1947) — пологая впадина сходных очертаний. В обоих типах структур проседание происходит по-



1. Маары в долине р. Еловки, Центральная Камчатка (Святловский, 1959)

степенно вслед за многократными извержениями на краях проседающего участка.

Крупные кальдерообразные депрессии до 50 км в поперечнике были впервые выделены А. Штюбелем (Stübel, 1901, 1903), который считал их естественным концом жизни отдельного магматического очага. Крупные депрессии, названные вулкано-тектоническими, описал Р. В. ван Бемелен (1957, 1963) в районе Борисанского хребта на Суматре. Наибольшей среди них является депрессия озера Тоба размерами 100 км × 30 км и глубиной до 450 м. Ее проседание последовало за мощными извержениями газов и рыхлого риолитового материала, происходившими на месте депрессии и по ее обрамлению. Изометричные и овальные вулкано-тектонические депрессии от 15 до 60 км в поперечнике развиты на Северном острове Новой Зеландии (Healy, 1964) и на Камчатке (Эрлих, 1966а). Они ограничены системами сбросов амплитудой до 500 м.

Разные типы вулканических построек во многих случаях отражают не столько особенности питающего очага, сколько разные стадии развития вулканического центра. По мнению Э. Н. Эрлиха (1966а, б), крупные кальдеры и вулкано-тектонические депрессии Камчатки часто развиваются в вершинной части щитовых вулканов и щитоподобных вулкано-тектонических возвышенностей с периклинальным растеканием лав, хотя иногда располагаются и на невулканических породах фундамента. «Обычные» кальдеры чаще всего представляют собой результат обрушения или оседания стратовулканов. При многократном обрушении кальдеры и вулкано-тектонические депрессии нередко оказываются ограниченными несколькими концентрическими уступами.

Развитие вулканического центра приводит к осложнению кальдеры (Святловский, 1959; Святловский, Эрлих, 1964; Горшков, 1967). В одних случаях внутри кальдеры возникает молодой стратовулкан с кратером на вершине (рис. 2, 3, см. рис. 11 в «Объяснительной записке...» А. Л. Суханова), новая

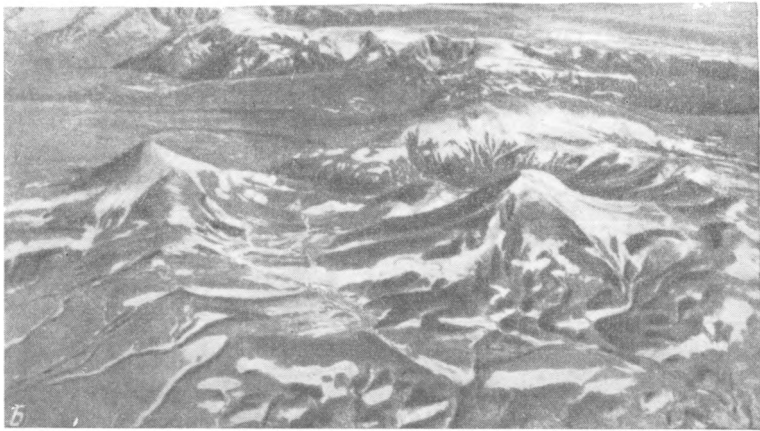
кальдера или экструзивный купол; на радиальных и концентрических трещинах такой постройки образуются паразитические вулканы, шлаковые конуса или их ряды. В других случаях новообразованные стратовулканы, купола и трубки взрыва имеют кольцевое расположение вдоль края кальдеры. Вулкано-тектонические депрессии Новой Зеландии и Камчатки осложнены значительными группами вулканических аппаратов: стратовулканов, кальдер, шлаковых конусов, экструзивных куполов. По данным Э. Н. Эрлиха (1966а), они могут образовывать ряды, которые иногда подчиняются системе региональных нарушений (вулканы депрессии Карымского района, приуроченные к разломам грабен-синклинали, в которой находится депрессия), но чаще контролируются структурой самой депрессии (группа вулканов Большого Семячика, район Толбачиков, Ичинский район).

Крупные кальдеры и вулкано-тектонические депрессии выделены и в древних вулканических областях (Авдеев, 1965; Арапов, 1964; Коптева, 1964, 1966, 1968; Федоров, 1965). Для сравнения с лунными кратерами особенно интересны Огузтауская и Чубарайгырская позднепалеозойские депрессии в Северо-Балхашском синклинии Центрального Казахстана.

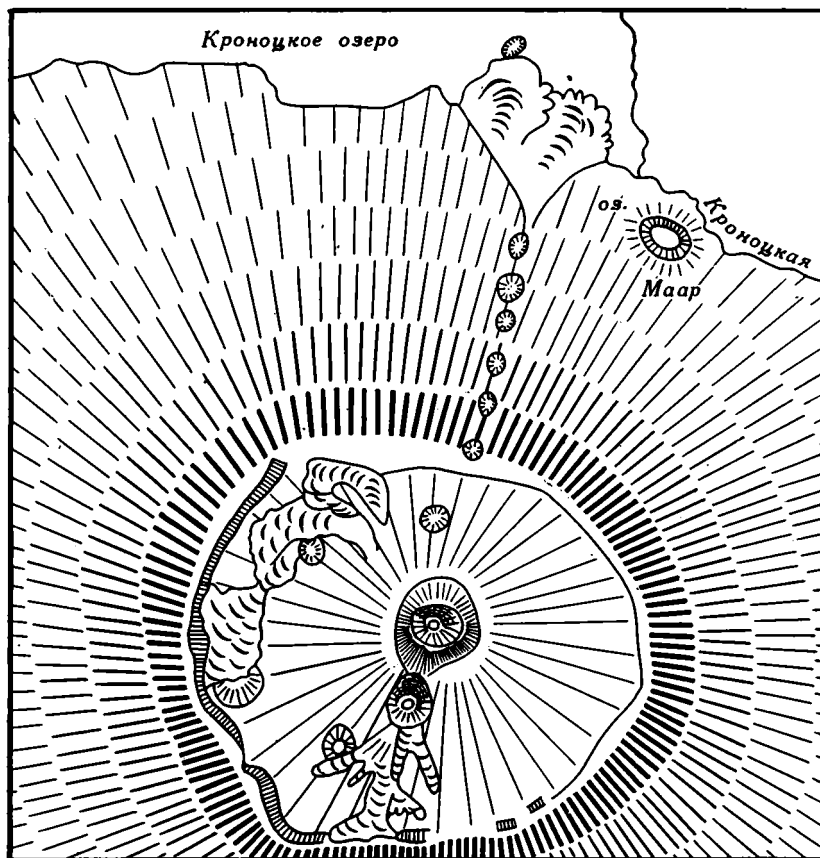
Огузтауская вулкано-тектоническая депрессия (Коптева, 1968) несколько удлинена в меридиональном направлении (до 30 км). Различаются три главных структурных элемента депрессии (рис. 4): овальная кальдера 8 км × 9 км, окружающий ее вал и периферическая часть. Кальдера и периферическая часть депрессии выполнены вулканогенными породами липаритового состава (туфы, туфобрекчии и игнимбриты). На кольцевом валу кальдеры местами выходят отложения того же возраста, но чаще — более древние андезитовые порфириты. Вал представляет собой кольцевую наклонную флексуру с крутым соединяющим крылом и весьма пологим верхним. На валу и в соседней с ним части кальдеры по кольцевым трещинам расположены дайки, субвулканические и интрузивные тела кислых магматических пород. Внутри кальдеры есть и радиальные дайки. Крупное (3 км × 4 км) овальное субвулканическое тело трахилипарит-порфира прорывает восточную часть кальдеры. Оседание кальдеры имеет амплитуду 500 м и происходило постепенно на поздних стадиях развития вулканического центра.

Расположенная западнее Чубарайгырская вулкано-тектоническая депрессия (Коптева, 1964, 1966) выполнена толщами пород кислого и среднего состава и окружена полукольцом гипабиссальных гранитных тел. В центре ее находится угловатая кальдера, где мощности вулканических продуктов намного больше, чем в периферической части депрессии. Вал кальдеры так же асимметричен, как и вал Огузтауской кальдеры. Рвушие субвулканические тела занимают половину площади депрессии в современном эрозионном срезе¹. Больше всего рвущих тел на ограничении кальдеры и внутри нее. Деятельность Чубарайгырского вулкана была сложной. На одних этапах происходили мощные извержения из единого центра, на других функционировали небольшие жерловины и трещины на краях кальдеры и внутри нее. Основное отличие Чубарайгырской кальдеры от Огузтауской — большая роль региональных разломов, определивших очертания кальдеры, ее внутреннее строение, и служивших проводящими каналами для магматического материала.

¹ Большое участие субвулканических тел в образовании вулканической постройки отмечено и для некоторых современных вулканических центров (Ритман, 1964). Силлы, в частности, занимают в некоторых стратовулканах до 20% объема постройки.

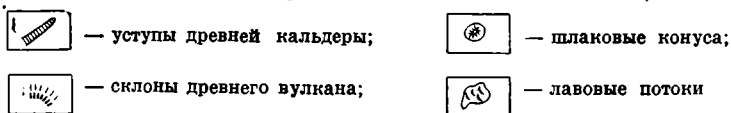


2. Вулканические постройки внутри кальдер Южной Камчатки (Святловский, 1959)
- А — кальдера Ксудач ($d = 7$ км) с кратером Штюбеля ($d = 1,5$ км) посередине;
 - Б — кальдера Призрак ($d = 4$ км) с вулканом Келля посередине



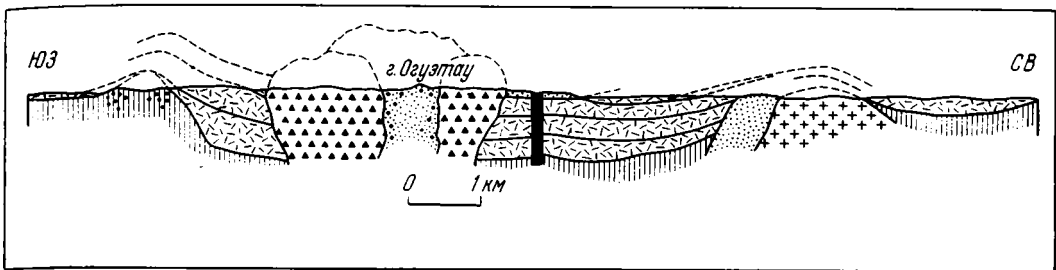
0 1 2 3 4 5 км

3. Схема морфологии вулкана Крашенинникова на Южной Камчатке (Святловский, 1959)

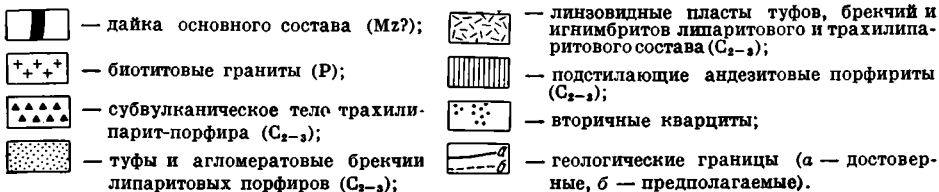


Многие лунные кратеры простого профиля сопоставимы с воронками взрыва. Но, как было показано (см. «Объяснительную записку...» В. Г. Трифонова), не все кратеры простого профиля могут быть объяснены только взрывом, поскольку кратеры близких диаметров нередко имеют разную глубину и разную степень вогнутости днищ. Так или иначе взрывные явления, по-видимому, участвовали в создании многих таких кратеров.

Вероятно, значительная часть кратеров простого профиля создана взрывами от падения метеоритов. Однако, как справедливо отметил Г. С. Штейнберг (Steinberg, 1965), часть взрывов могла иметь и вулканическое происхождение, подобное, например, взрывам, образующим земные маары (см. рис. 1).



4. Геологический разрез через позднепалеозойскую Огузтаускую депрессию в Центральном Казахстане (Коптева, 1968)



Вертикальный масштаб больше горизонтального в 1,5 раза

Некоторые группы упорядоченно расположенных кратеров аналогичны земным вулканическим постройкам. Так, кратеры Аридей и Аридей А похожи на изображенные на рис. 5 двоянные кратеры Гегамского нагорья Армении. Цепочки мелких лунных кратеров также весьма сходны с цепочками земных вулканических кратеров (рис. 6).

Вторичными продуктами земного вулканизма являются воронки от падения тяжелых вулканических бомб в рыхлые породы и так называемые блюдца (Влодавец, 1947). Последние образованы лопнувшими газовыми пузырями, которые выделялись из застывающих лавовых потоков. Диаметры тех и других «впадин» обычно не превышают 2 м. Подобные образования могут быть и на Луне. К вторичным воронкам, возможно, относятся некоторые мелкие кратеры на полях выбросов Эратосфена, Архимеда, Риттера и Сабина и многих других крупных цирков. По мнению Дж. П. Кейпера (Kuiper a. oth., 1966), некоторые одиночные неправильно овальные депрессии лунных морей могут быть аналогами специфических депрессий на базальтовых лавовых потоках; они возникли в результате обрушения кровли потока при продолжающемся движении лавы внутри него

Как отмечали Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1944), А. В. Хабаков (1949), Дж. Грин (1963), Г. С. Штейнберг (Steinberg, 1965), многие детали сложнопостроенных лунных цирков сходны с элементами структуры земных кальдер и вулcano-тектонических депрессий. К их числу относятся террасовидные ступени на склонах и днищах цирков. Короткие дуговые уступы и ограниченные ими площадки на крутых внутренних склонах кратеров могут быть образованы оползнями и обвалами (Rowan, 1966). Таковы, по-видимому, небольшие террасовидные площадки в цирке Плиний. Наряду с ними отмечаются ступени и уступы, которые опоясывают днища кратеров протяженными дугами или почти полными кольцами, сохраняя примерно



5. Шлаковый конус с двойным кратером, восточная часть Гегамского нагорья Армении (Святловский, 1959)

одинаковый гипсометрический уровень. В цирках Араго, Росс, Манилий и некоторых других эти террасы находятся на одном гипсометрическом уровне с окружающей цирк местностью. Иногда они могут быть истолкованы как бровки, образовавшиеся при кратерообразующем взрыве на границе воронки и насыпного вала. Может быть, некоторые кольцевые ступени, расположенные ниже окружающей кратер местности, имеют такое же взрывное происхождение и возникли по границе полого лежащих слоев разной прочности.

Нужно, однако, оговориться, что для ряда крупных цирков (Агриппа, Манилий) такое объяснение террас едва ли приемлемо, так как другие черты строения противоречат взрывному происхождению. Последнее маловероятно и при наличии нескольких протяженных террасообразующих уступов на внутренних склонах (Эратосфен, Коперник, Триснеккер). В цирке Риттер кольцевые уступы не расположены концентрически, а постепенно смещаются к южному краю днища. Скорее всего, многие протяженные террасы и уступы в крупных цирках возникли вследствие неоднократного проседания днища, как и в земных кальдерах. Цепочки кратеров вдоль кольцевых и дуговых разрывов на валу Архимеда напоминают жерловины, трубки взрыва и кратеры по краям кальдер.

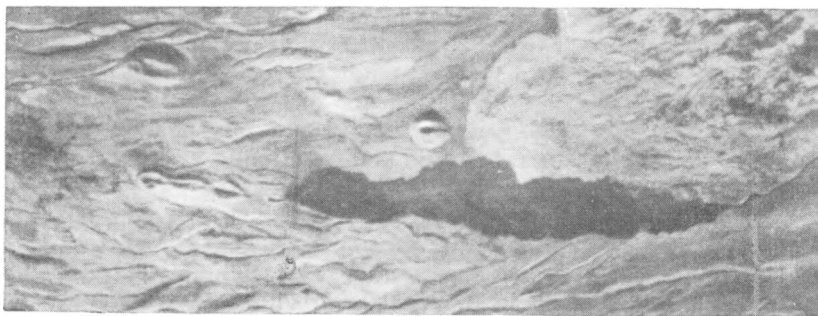
Наличие центрального поднятия само по себе не является критерием вулканической природы лунного цирка (Baldwin, 1965; Станюкович, Бронштэн, 1960). Однако вероятность вулканического происхождения возрастает при нескольких поднятиях, при асимметричном расположении центральных пиков и валов, при соответствии их формы и ориентировки направлениям разрывов. В ряде случаев центральные возвышенности имеют маленькие кратеры на вершинах (Эратосфен, Триснеккер, Коперник) и сходны с вулканами внутри кальдер (см. рис. 2, 3) и вулканотектонических депрессий. Большой, но неглубокий кратер на юго-восточном краю центральной горки Плиния, возможно, представляет собой лунную кальдеру, наложенную на стратовулкан, подобно тому как на Камчатке кальдера Карымского вулкана наложена на вулкан Двор (Влодавец, 1947), причем и тот и другой находятся внутри вулканотектонической депрессии диаметром $50 \text{ км} \times 60 \text{ км}$ (Эрлих, 1966а). Интересно, что упомянутый кратер в центре Плиния обладает отчетливой лучевой системой, тогда как лучи самого Плиния едва различимы. Во многих случаях горка или группа горок в центре большого цирка не имеет заметных

вершинных кратеров. Может быть, некоторые из них, как предполагает А. В. Хабаков (1949), окажутся экструзивными куполами.

У ряда молодых крупных цирков (Автолик, Архимед, Эратосфен, Манилий) кольцевой вал четко отделяется от окружающего поля кратерных выбросов. Последнему свойственна «струйчатость», отражающая радиальную трещиноватость или направление выброса обломков и излияния лав. Вдоль нее нередко расположены цепочки мелких кратеров. Для вала такие образования менее характерны, а иногда и совсем отсутствуют. Вал выглядит гораздо более монолитным, хотя нередко нарушен трещинами (главным образом концентрическими), сидящими вдоль них кратерами и цепочками кратеров. В описанных выше древних кальдерах Северного Прибалхашья окружающий вал образован не столько нагромождением продуктов извержений, сколько внедрением субвулканических тел и изгибом слоев при оседании кальдеры. Возможно, такое же сложное происхождение имеют и валы многих крупных лунных цирков. Валы кратеров простого профиля, по-видимому, состоят целиком из выброшенного материала (см. «Объяснительную записку...» А. Л. Суханова).

М. Леви и П. Пуизе (Loewy et Puiseux, 1896—1906; Puiseux, 1908), а вслед за ними Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1944, 1945) считали, что на месте лунных морей и цирков первоначально возникали крупные куполовидные вздутия; последующие обрушения центральных частей куполов приводили к образованию круговых впадин. А. В. Хабаков (1960) описал в равнинных участках лунных морей кольцевые структуры оседания без следов предшествующего куполовидного вздутия. Земные кальдеры обычно развиваются на положительных вулканических постройках. Вулкано-тектонические депрессии Камчатки, как отмечает Э. Н. Эрлих (1966б), могут возникать и на лавовых щитах, и непосредственно на довулканическом субстрате. Изучение морфологии лунных цирков и их сравнение с современными и древними вулкано-тектоническими депрессиями Земли показывают, что в большинстве случаев развитие лунных кратеров сложного профиля было длительным, причем проседание днища и рост кольцевого вала могли происходить в значительной мере одновременно.

При многочисленных чертах сходства сложных лунных кратеров с земными кальдерами и вулкано-тектоническими депрессиями обращают вни-



6. Цепь кратеров «Юбилейного прорыва», извержение 1945 г. вдоль трещины, радиальной к главной вершине Ключевского вулкана Центральной Камчатки (Пийп, 1956; Святловский, 1959)

Виден темный лавовый поток, излившийся из нижнего кратера

мание два существенных отличия. Первое заключается в больших размерах сопоставляемых форм. Поперечники описанных разными авторами земных кальдер обычно не превышают 10 км, а изометричных вулканотектонических депрессий измеряются первыми десятками километров, лишь в единичных случаях достигая 50—60 км. Поперечники сложнопостроенных лунных цирков обычно составляют 20—30 км, ряд цирков имеет диаметр 50—90 км, а некоторые допроцелляриевые кольцевые горы — свыше 200 км. По-видимому, указанное различие в значительной мере связано с тем, что крупные кольцевые структуры Земли, особенно древние, пока не распознаны¹, так как они сильно изменены последующими процессами и погребены под чехлом осадочных пород. Однако отчасти оно может определяться спецификой лунных условий, прежде всего — меньшей силой тяжести.

Второе отличие состоит в следующем. Подошва вулканического комплекса, выполняющего земную кальдеру или вулканотектоническую депрессию, как и лунного цирка, находится ниже окружающей местности; однако рельеф поверхности круговых вулканических впадин на Земле и на Луне разный.

Уступы земных кальдер обычно меньше высоты положительных вулканических построек, на которых они развиты. Молодые вулканы внутри кальдер обычно поднимаются выше уровня местности, на которой находится кальдеросодержащая постройка, и нередко выше бровки кальдеры. Крупные вулканические аппараты в вулканотектонической депрессии, как правило, возвышаются над краевыми уступами депрессии. На Луне днища цирков, «не залитые» морскими комплексами, за единичными исключениями опущены ниже окружающей местности. Центральные горки и валы почти никогда не достигают ее уровня, а тем более высоты кратерного вала.

Области ареального вулканизма Земли и лунные моря

Ареальный вулканизм на Земле, вероятно, имеет во многих случаях мантийное питание. В ряде современных и древних вулканических областей он проявляется лишь на отдельных стадиях развития вулканизма. Есть, однако, вулканические области, целиком или почти целиком сформированные процессами ареального вулканизма. Это области платобазальтовой, или трапшовой, формации. Здесь рыхлый материал и кислые продукты вулканизма имеют весьма ограниченный объем. Эффузивные разности базальтов изливались из мелких центров, а чаще по трещинам, большая часть которых функционировала один раз. Поэтому крупные вулканические постройки мало характерны.

Подобный тип извержений присущ и другим областям ареального вулканизма. Так, основные лавы Гегамского нагорья Армении в значительной мере изливались из мелких лавовых вулканов кратковременного действия. Большая часть вулканов и шлаковых конусов приурочена к суб-

¹ В последние годы делаются попытки сопоставить с лунными цирками крупнейшие древние кольцевые структуры Австралии, Африки, Канадского щита (Firsoff, 1963; Авдеев, 1965). Они сильно эродированы и представлены сейчас магматическими комплексами. Диаметры некоторых таких структур превышают 100 км.;

меридиональным разрывам. Такие же особенности отмечает Э. Н. Эрлих (1965) для зон ареального вулканизма Камчатки.

А. Ритман (1964) определяет среднюю мощность отдельных лавовых потоков платобазальтов в 5—15 м¹. Многократное наложение отдельных потоков, перемежающихся силлами, создает обширные базальтовые покровы мощностью до 2—3 км. Их первичное залегание горизонтально или характеризуется очень слабым наклоном. Площади (км²), занимаемые покровами платобазальтов, весьма велики (Ритман, 1964):

Бразильские платобазальты, район Параны (Т ₃ —J)	750 000
Карру-базальты Южной Африки (Т ₃ —J)	≥50 000
Базальты Декана на суше (Cr—Pg)	650 000
То же, с частью, опустившейся в море (Cr—Pg)	1 000 000
Базальты рек Колумбия и Снейк (N—Q)	400 000

Крупнейшая область развития платобазальтовой формации выделена А. Ритманом (1964) под названием Тулейского района. Он охватывает север Шотландии и Ирландии, Исландию, Шпицберген, некоторые острова Северной Атлантики и часть Гренландии. В Исландии ареальный базальтовый вулканизм продолжается до сих пор.

В описываемых областях базальтового вулканизма есть и более крупные вулканические постройки — лавовые щитовые вулканы. В Исландии их высота обычно не более 100 м, но иногда достигает 1000 м. Поперечник основания примерно в 20 раз больше высоты. Верхние части склонов (7—8°) круче нижних (3—6°). На вершине щита обычно расположены кратер или группа кратеров от 100 до 2000 м в поперечнике. Они имеют форму плоских котлов, иногда окруженных низкими валами сварных шлаков.

По-видимому, с платобазальтовым вулканизмом континентов некоторыми чертами сходен крайне плохо изученный подводный вулканизм океанов. Хорошо известны гигантские щитовые вулканы Гавайи. Падение склонов этих вулканов 4—6°. На их почти плоских вершинных плато находятся крутостенные кратеры до нескольких километров в поперечнике. Отмечены радиальные трещины. В строении вулканов принимают участие не только эффузивы, но и дайки, силлы, лакколиты.

Для платобазальтов не характерны обрушения и оседания типа крупных кальдер и вулкано-тектонических депрессий. В ряде случаев платобазальты слагают огромные плоские впадины, возникновение которых можно гипотетически считать компенсационным и связывать его с истощением глубинного питающего магматического бассейна. Подобные опускания характерны не только для платобазальтов, но и для других типов ареального вулканизма. Примером может служить палеозойская вулканическая область Северного Прибалхашья (Трифонов, 1967), где в намюрско-среднекаменноугольное время имели место площадные излияния андезитовых лав и извержения андезито-дацитовых рыхлых и лавовых продуктов. Излияния и извержения, по-видимому, происходили главным образом из трещин и мелких вулканических центров. На отдельных участках можно предполагать существование крупных щитовых вулканов (Кош-

¹ По данным Н. А. Вембана (1950), отдельные лавовые потоки деканских платобазальтов имеют мощность от нескольких метров до 40 м (в среднем 15—20 м).

кин, 1963). В процессе извержений произошло общее сравнительно небольшое и, вероятно, компенсационное опускание вулканической области относительно соседних территорий. С середины среднего карбона до начала перми на той же территории вулканизм стал более кислым. Общее опускание практически прекратилось. Продолжали проседать лишь вулканотектонические депрессии, приуроченные к крупным вулканическим центрам. Такие центры возникали то в одной, то в другой части вулканической области, и соответственно проседание охватывало разные участки (Щерба, 1966; Трифионов, 1967).

Представляется весьма вероятным, что мощные и протяженные линзы пород современных лунных морей, перекрывающие формы более древнего рельефа и имеющие выровненную поверхность, являются аналогами покровов платобазальтов и, возможно, подводных излияний океанов. Формы, сходные с отдельными потоками, местами удается дешифровать на крупномасштабных телескопических фотографиях Луны (Kuiper, 1965; Whitaker, 1965). Можно полагать, что излияния лав лунных морей происходили из вулканических трещин, реже — из мелких лавовых вулканов центрального типа, почти не образующих вулканических построек, различных в телескоп. Дж. П. Кейпер (Kuiper a. oth., 1966) предполагает, что следами трещинных лавовых излияний являются цепочки неправильноовальных депрессий морской поверхности. Некоторые весьма мелкие лунные кратеры на поверхности морей, окруженные почти незаметными валами и широкими полями самых темных послепроцелляриевых морских пород (см. район кратера Янсен), возможно, окажутся одиночными лавовыми вулканами с низкими шлаковыми поясами вокруг кратеров.

В литературе неоднократно отмечалось морфологическое сходство лунных морских куполов со щитовыми вулканами центрального типа. Купола имеют поперечники в 5—7, редко 10 км и высоту до 200 м. На их вершинах часто различаются кратеры, диаметры которых обычно не больше 1,5 км. Свообразен большой (32—34 км) плоский купол в западной части Моря Ясности (см. рис. 13 в ст. «Методика и легенда...» настоящего сборника), осложненный мелкими крутыми возвышенностями. Возможно, это аналог щитового вулкана со вторичными конусами.

Многочисленные валы на поверхности морей имеют полигенное происхождение. Среди них иногда предположительно выделяются формы облекания над выступами погребенного субстрата и собственно морские образования, характеризующиеся упорядоченным расположением относительно берегов моря или каких-либо тектонических линий внутри него. Одни из них, по-видимому, являются молодыми горстоподобными поднятиями, другие могли быть образованы рвущими телами типа даек, удлиненных куполов или вытянутых лакколитоподобных в поперечном разрезе экстрюзий, часто сохраняющих изогнутую крышку из напластованных лав и силлов. Эти рвущие тела едва ли существенно отличаются по составу от вмещающих пород. Характерно, что валы могут переходить по простиранию в неправильноовальные депрессии (Whitaker, 1965), которые, возможно, были центрами лавовых излияний.

Лунные моря, как древние, так и современные, в структурном смысле представляют собой впадины. По аналогии с некоторыми областями земного ареального вулканизма можно допустить, что образование впадин было компенсационным процессом, выразившимся в проседании кровли питавшего вулканизм глубинного магматического бассейна по мере его истощения. Поскольку питавшая зона генерации магмы, скорее всего, была

единой для всей вулканической области лунного моря (Суханов, 1968), соседние части морской впадины проседали примерно на одинаковую величину. Этим, а также плащеобразным излиянием жидких базальтоподобных лав можно объяснить чрезвычайную выровненность поверхности лунных морей. Одинаковая степень проседания, вероятно, обусловила и близкие гипсометрические уровни, на которых выходят морские комплексы в пределах моря и в соседних, но изолированных от него участках. Такие соотношения отмечены в ряде мест и для алтайского, и для процелляриевого комплексов.

При сравнении характера проседания лунных морей и областей ареального вулканизма земных континентов обращает на себя внимание следующий факт. На Земле проседание происходит далеко не всегда, но если происходит, то обычно выражается в том, что подошва выполняющего вулканического комплекса опущена относительно соседних районов. Поверхность же вулканических накоплений не только не опущена, но может возвышаться и быть областью сноса. Таким образом, земные вулканические впадины чаще всего представляют собой мощные двояковыпуклые или плоские сверху линзы вулканического вещества. Впадины лунных морей, вероятно, также выполнены вулканическими продуктами большой мощности. Их поверхность иногда находится на одном гипсометрическом уровне с комплексами побережий или даже выше, но чаще ниже их. Таким образом, впадины лунных морей представляют собой линзы, выпуклые книзу, но вогнутые, реже плоские, сверху. Иными словами, в результате извержений область ареального вулканизма земных континентов, как правило, повышается (пока эрозия или другие факторы не уничтожат возникший «нараст»), тогда как на Луне чаще всего понижается.

Вероятно, эта тенденция к опусканию, как и при образовании лунных кратеров, отражает принципиальные различия в эволюции верхних оболочек Земли и Луны. Может быть, она частично связана с усиленным удалением летучих компонентов вулканизма в условиях вакуума. И если, по определению А. Ритмана (1964, стр. 418), «вулканизм является процессом планетарной дегазации», то на Луне он происходит более совершенно, чем на Земле.

Литература

- Авдеев А. В.
1965. О кольцевых структурах магматических комплексов.— Сов. геол., № 10.
- Арапов В. А.
1964. Кольцевые вулкано-плутонические структуры Чаткало-Кураминского региона (Срединный Тянь-Шань).— В кн. «Проблемы вулканизма». Петропавловск-Камчатский, Дальневост. книжн. изд-во.
- Беммелен Р. В.
1957. Геология Индонезии. М., ИЛ.
1963. Вулканология и геология игнимбригов Индонезии, Северной Италии и США.— В кн. «Проблемы палеовулканологии». М., ИЛ.
- Вембан Н. А.
1950. Пути дифференциации в траппах Декана.— В кн. «Геология и петрография трапповых формаций». М., ИЛ.
- Виноградов А. П. и др.
1966. Измерения гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна-10».— Геохимия, № 8.

- Влодавец В. И.**
1947. Отрицательные вулканические формы рельефа.— Уч. зап. Моск. обл. пед. ин-та, 9, Труды кафедр. геогр. ф-та, вып. 4.
- Горшков Г. С.**
1967. Вулканизм Курильской островной дуги. М., изд-во «Наука».
- Грин Дж.**
1963. Геологические науки в применении к исследованиям Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Далн Р. О.**
1936. Изверженные породы и глубины Земли. М.— Л., ОНТИ НКТП СССР.
- Коптева В. В.**
1964. Стрoение Чубарайгырской вулканической депрессии (Центральный Казахстан).— В кн. «Палеовулканологические реконструкции, лавы и руды древних вулканов». Алма-Ата. Труды Лабор. палеовулканол., вып. 3.
1966. О роли рвуцких вулканических образований в строении вулкано-тектонической депрессии гор Чубарайгыр.— Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., 41, вып. 6.
1968. Образование и строение кальдеры верхнепалеозойского вулкана Огузтау (Центральный Казахстан).— Изв. АН СССР, серия геол., № 2.
- Кошкин В. Я.**
1963. Каменноугольный и пермский вулканизм Северного Прибалхашья.— В кн. «Проблемы палеовулканологии». Алма-Ата. Труды Лабор. палеовулканол., вып. 2.
- Пийп Б. И.**
1956. Ключевская сопка и ее извержения.— Труды Лабор. вулканол. АН СССР, вып. 11.
- Ря тман А.**
1964. Вулканы и их деятельность. М., изд-во «Мир».
- Святловский А. Е.**
1959. Атлас вулканов СССР. М., изд-во АН СССР.
- Святловский А. Е., Эрлих Э. Н.**
1964. О закономерностях пространственного распределения четвертичного вулканизма Камчатки.— В кн. «Проблемы вулканизма». Петропавловск-Камчатский, Дальневост. книжн. изд-во.
- Станюкович К. П., Бронштэн В. А.**
1960. Роль внешних космических факторов в эволюции Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Суханов А. Л.**
1968. О механизме возникновения лунных морей.— Докл. АН СССР, серия геол., 181, № 2.
- Трифонов В. Г.**
1967. Позднепалеозойская структура Северного Прибалхашья и ее происхождение.— Труды Геол. ин-та АН СССР, вып. 175.
- Федоров Т. О.**
1965. Вулкано-тектонические депрессии северной части девонского краевого вулканического пояса Центрального Казахстана.— Докл. АН СССР, серия геол., 165, № 3.
- Хабакoв А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Щерба И. Г.**
1966. Некоторые черты развития северной части Джунгаро-Балхашской геосинклинали в среднем и верхнем палеозое.— Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., 41, вып. 6.
- Эрлих Э. Н.**
1965. О структурной приуроченности четвертичного вулканизма Камчатки.— Геотектоника, № 1.
1966а. Новые данные о вулкано-тектонических структурах Камчатки и вопросы развития четвертичного вулканизма.— Геотектоника, № 6.
1966б. Принципы определения состава исходной магмы. Основные особенности исходных магм Курило-Камчатской провинции. Пути дифференциации магмы вулканов мантийного питания и типичные случаи отклонения от них.— В кн. «Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции». М., изд-во «Наука».
- Baldwin R. В.**
1965. A fundamental survey of the Moon. N. Y.

- Firsoff V. A.**
1963. Selenological implications of the South—Australian ring structures.— *Nature*, 198, N 4875.
- Healy J.**
1964. Volcanic mechanisms in the Taupo volcanic zone, New Zealand.— *N. Z. G. Geol.— Geophys.*, 7, N 1.
- Knebel W.**
1907. *Dur Vulkanismus*.— *Sig. die Natur*, 111.
- Kuiper G. P.**
1965. Interpretation of Ranger VII records. Ranger VII. Technical Rept. Pt II. Pasadena, California.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1966. Interpretation of the Ranger records. Ranger VIII and IX. Technical Rept. Pt II. Pasadena, California.
- Loewy M., Puiseux P.**
1896—
1906 *Atlas photographique de la Lune, avec Index général*. Paris.
- Puiseux P.**
1908. *La Lune et la Terre*. Paris.
- Reck H.u. and.**
1936. *Santorin der Werdegang eines Inselvulcans und sein Ausbruch, 1925—1928*. Berlin.
- Rowan L. C.**
1966. Orbiter observation of the lunar surface.— In: «The physics of the Moon». Amer. Astronaut. Soc. Washington.
- Spurr J. E.**
1944. *Geology applied to selenology. I. The Imbrian Plain Region of the Moon*. Lancaster Pennsylvania, Sci. Press.
1945. *Geology applied to selenology. II. The features of the Moon*. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
- Steinberg G. S.**
1965. Comparative morphology of lunar craters and cirques and some volcanic formations in Kamchatka.— *Trans. Lunar Geol. Field Conf. Portland, Oregon*.
- Stübel A.**
1901. *Ein Wort über den Sitz der vulkanischen Kraft in der Gegenwart*. Leipzig.
1903. *Über die genetische Verschiedenheit vulkanischer Berge*. Leipzig.
- Tanakadate H.**
1930. The problem of calderas in the Pacific region.— *Proc. 4-th Pacific Sci. Congr., v. 2 b*, Batavia.
- Whitaker E. A.**
1965. The surface of the Moon.— In: *The nature of the lunar surface. IAU-NASA Sympos.* Baltimore, 1965.
- Williams H.**
1941. Calderas and their origin.— *Univ. California Publ. Dept Geol. Sci. Bull.*, 25, N 6.

Вулканические гребни на Луне

А. Л. Суханов

Система лунных борозд и гребней («grid sistem») на каждого наблюдателя производит впечатление своей очевидной упорядоченностью. Вероятно, поэтому исследователи обычно стремятся выделить общие закономерности в расположении линейных элементов, нанося на карту их направление, но не морфологию, зачастую объединяя таким образом разнородные образования (Fielder, 1961; Firsoff, 1961; Hartmann, 1963). Некоторые из этих линейных деталей представляют собой стороны полигональных цирков, сбросовые уступы, трещины; другие оказываются гребнями неясного происхождения или бороздами, возникшими, как предполагается некоторыми исследователями, при пологих выбросах из Моря Дождей, Моря Нектара и др. Во всяком случае, все эти образования заметно отличаются по структуре и, очевидно, по происхождению. Ниже представлены некоторые выводы относительно линейных деталей, полученные в результате изучения телескопических фотографий (Kuiper a. oth., 1960; Koral, 1965) и снимков с космических аппаратов, приводимых в Атласе обратной стороны Луны (1967), в различных номерах журнала «Sky and telescope» и др. Названия и положение объектов определялись по картам масштаба 1 : 1 000 000 (Lunar chart, 1963) и масштаба 1 : 5 000 000 (Полная карта Луны, 1967).

Трещины и борозды

Трещины и борозды неоднократно классифицировались. Так, А. В. Хабаков (1949) делит их на долины (каналы и грабены с шириной дна более 3 км), борозды (прямые, ломаные и круговые) и трещины (ущелья и мелкие трещины). Дж. Филдер (Fielder, 1961) считает, что долины распадаются на три класса — типа долины Шрётера, Альпийской и Рейта. Вводить какую-либо новую классификацию вряд ли целесообразно, так как нельзя сказать с уверенностью, будет ли она, как и предыдущие, отражать генетическую разнородность борозд или же различную интенсивность или длительность единого бороздообразующего процесса. Что же касается существа этого процесса, то необходимо подчеркнуть чрезвычайно тесную

связь кратеров-лунок с трещинами и бороздами. Это явление отмечалось уже давно многими исследователями.

При изучении фотографий с наибольшим разрешением создается впечатление, что самые мелкие из наблюдаемых трещин, по-видимому, редко обходятся без лунок. Так, центральный разрыв Альпийской долины несет около 20 лунок по 0,5—1,5 км в диаметре — больше, чем видно на всем остальном дне долины (Watts, 1967). Некоторые отрезки разрыва имеют волнистые края, что вызвано, вероятно, рядами мелких сливающихся лунок. В северном конце долины разрыв почти исчезает, но на его продолжении на материк лежит извилистая борозда, как будто составленная из переходящих один в другой кратерков. Еще более показательный пример можно найти к западу от южного конца Альпийской долины, где на «подтопленной» местности видна прихотливо ветвящаяся трещина явно эндогенного происхождения — так старательно она обходит горные выступы. Целые отрезки этой трещины, до 15 км длиной, составлены из лунок по 0,5—1 км в диаметре, а на других участках присутствие лунок предполагается по волнистым краям трещины. Интересно, что заметные в этом же районе субмеридиональные направления выражены не только гребнями гор, но и звеньями слитых 1—3-километровых лунок по 3—5 лунок в звене, тогда как на плоском дне Альпийской долины видны звенья лунок того же направления, но гораздо меньших.

Тонкие трещины в Альфонсе по мере увеличения масштаба превращаются местами в сплошные цепи лунок по несколько сот метров в поперечнике. Такова, например, трещина в 13 км восточнее центрального пика (Ranger VIII, IX, 1961).

Грабенообразные борозды (типа долины Шрётера, трещин Гигина и Ариадия) могут быть либо настоящими грабенами с просевшим плоским дном, либо V-образными расщелинами, дно которых впоследствии было залито лавой. Не обсуждая этого вопроса, можно констатировать, что подобные борозды имеют параллельные, неискаженные края (например, два трога южнее Сабина). Очевидно, лунки не принимали участия в расширении и углублении таких борозд. Слабая волнистость по краям таких трогов вполне может быть объяснена оползанием крутых стен.

Цепи лунок и борозды, состоящие из слитых лунок, хорошо видимые на морской поверхности, часто не различаются на гористых материках, но именно они в значительной мере определяют степень расчлененности материка и линейную ориентировку деталей рельефа. Так, ров с поднятыми бортами, идущий на юг от кратера Альфонс В (на восточном валу цирка Альфонс), при ближайшем рассмотрении оказывается серией лунок, которые постепенно уменьшаются от 5—7 км в поперечнике на севере до 2—3 км на юге, где этот ров сочленяется со следующим. Похожий, но больших размеров и сложнее построенный ров отходит на север от кратера Бреннер, в группе Жансена. Огромный канал этого типа найден на обратной стороне Луны (Watts, 1967). Если стенки такой рытвины разрушены, а дно залито лавой, то трудно определить ее первичный вид и происхождение. Так, между Альфонсом и Деви У в север-северо-западном направлении тянется 35-километровый ров шириной 6 км, с темным, видимо, залитым лавой дном, соединяющимся в одном месте с соседней морской поверхностью через понижение вала (см. рис. 1 в статье А. Л. Суханова «Объяснительная записка...»). Приподнятые края этого рва в плане не прямые, а состоят из серии парных полудуг, т. е. являются единым валом цепи лунок. Далее к северу характер разрыва неясен, хотя существование его

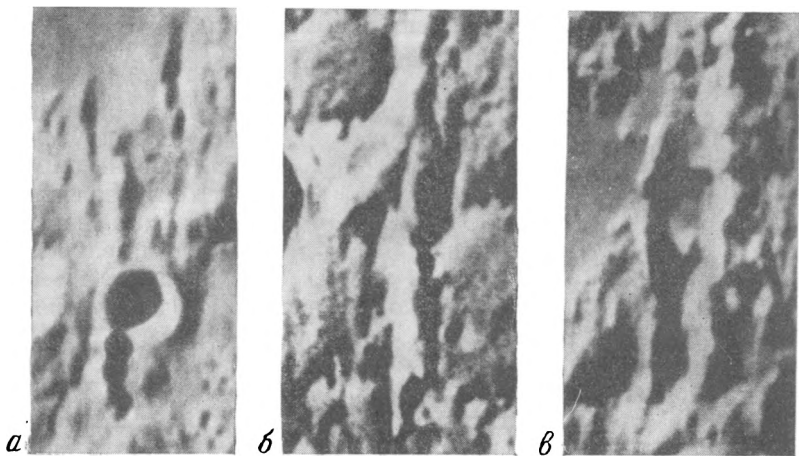
несомненно, пока у кратера Пализа не появляется новая цепь лунок. Еще северней, за кратером Пализа С, на продолжении разрыва лежит грабенообразная депрессия (также с изогнутыми краями). Можно привести множество примеров того, как разрыв, выраженный трещиной, уступом или гребнем, на своем продолжении сменяется цепью лунок, бороздой с волнистыми краями или рвом, в котором уже невозможно различить первоначальной формы. Например, разрыв, идущий от Гиппарха через Галлей на юго-восток, проявлен уступами на севере и бороздами на юге. Между трещинами и разреженными цепями лунок, с одной стороны, и сглаженными бороздами — с другой, существуют все переходные разновидности. Для всех таких образований можно предложить название «экскавационные борозды», поскольку их форма возникла в основном за счет выемки грунта по оси рва и перемещения его на борта (взрывами или излияниями).

Механизм разработки лунками разрывов мог бы объяснить многие детали на Луне. Так, несомненно, что валы Гиппарха и Реомюра разбиты системой субпараллельных разрывов на гряды и борозды (рис. 1, а; см. рис. 7 и 12 к статье А. Л. Суханова «Объяснительная записка...»). Но как образовались борозды? В земных условиях долины могут закладываться вдоль разрывов с малым смещением и просто по зонам трещиноватости, так как дробленный материал легче удаляется в другое место: вымывается, выдувается и т. д. Поверхность Луны эродируется главным образом ударами мелких метеоритов, что следует расценивать скорее как нивелирующий фактор (Ross, 1968). Поэтому лунные долины могут формироваться только за счет внутренних процессов, как-то: образование трещин растяжения и грабенов; односторонние перекосы узких параллельных блоков; заложение вулканического рва по зоне разрыва. Переход рвов и долин по простиранию в уступы и гребни, наличие сдавленных кратеров, сдвиги и другие признаки указывают на обстановку общего сжатия, поэтому маловероятно, что в таких условиях возникают грабены и трещины растяжения. Перекосы блоков, очевидно, должны давать асимметричные долины или уступы, хотя возможно, что часть долин образовалась именно так. Во всяком случае, третий процесс — вулканическая экскавация — может с равным успехом развиваться и в случае разрыва со смещением, и по зоне трещиноватости. Со временем система таких вулканических рвов будет расплываться, заливаясь морским веществом, а останцы между ними будут казаться самостоятельными валами.

Для долин большего размера можно допустить кальдерообразные просадки по соединяющимся впадинам; на эту мысль наводят долина Рейта и северо-западный край Альпийской долины, изрезанный, в отличие от юго-восточного, несколькими дуговыми выемками. Однако это не более, чем предположение. Так или иначе, но цепи лунок и кратеров необъяснимы с позиций ударных гипотез. Метеоритные кратеры на Земле иногда группируются в вытянутый эллипс или полосу рассеяния, но никогда не образуют прямой цепи слитых кратеров.

Положительные линейные детали

Эти формы выглядят сложнее и разнообразнее. Часто гребень, кажущийся единым, распадается на ряд случайно соединенных элементов. В других случаях короткие изолированные гребни объединяются в единую систему, хотя при беглом взгляде представляются независимыми. Все



1. Цепи лунок, вулканические рвы и экскавационные борозды

а — экскавационные борозды по валу Гиппарха;

б — вулканический ров, срезающий Гюльден;

в — вулканический ров на валу Юлия Цезаря. Здесь и дальше средний масштаб 1 : 2 000 000 (с точностью $\pm 15\%$), т. е. длина разрыва на фото в составляет около 250 км

такие структуры можно разбить по их морфологии и генезису на несколько групп.

Валы вулканических рвов. Происхождение — насыпное, возможно, с долей излившегося материала. Вероятно, таковы вал, соединяющий Гершель D и Фламарион B; часть гребней на северо-западном обрамлении Птолемея; рекие валы борозды, срезающей Гюльден (см. рис. 1, б); края рва на валу Юлия Цезаря (рис. 1, в). Нередко такой вал является общим для двух борозд: гребни между Арзахелем и Альфонсом восточней центрального вала последнего, гребень посередине между Птолемеем и кратером Пализа D. При частичном затоплении двойной борозды общий (смежный) вал может стать линейным останцом в центре общего желоба (останец между Гюльденом и Шпёрером). Правда, такой останец может оказаться и центральной горкой удлиненного кратера. Во всяком случае, оба эти объяснения для останцов на дне борозд кажутся более правдоподобными, чем отнесение их к «глыбам, прорывшим борозды» при полете из Моря Дождей (Fielder, 1961, и др.).

Линейные останцы между рвами — сходный с предыдущим, но не идентичный тип. Эти рвы сближены не настолько, чтобы образовать общий вал-гребень, но достаточно, чтобы придать линейную форму ограниченному ими блоку (Реомюр, Опшользер, Фламарион, Гиппарх).

Горсты. Такие образования, как выступ на северо-восток от Укерта, можно назвать горстами (см. рис. 9 к статье В. Г. Трифонова «Объяснительная записка...»), но они сравнительно редки. При этом неизвестно, что следует считать ведущим при их образовании — поднятие самого блока или опускание окружающей его местности.

Перекосы блоков. Если несколько вытянутых блоков сдвинутся относительно друг друга как падающее домино, то их верхние ребра образуют

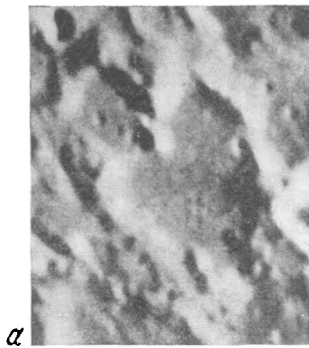
асимметричные гребни. Степень асимметрии зависит от ширины блока и угла наклона. В системе узких блоков, особенно если они подвергнутся метеоритной и вулканической обработке, будет трудно определить, куда они наклонены; а если до перекоса уже существовал расчлененный рельеф, то практически невозможно отличить их от гребней другого происхождения. По-видимому, наиболее благоприятны для перекосов районы береговых кордильер — Апеннины, Кавказ, Альпы, Гем, Пиренеи, Алтай. Возможно, берега пентагона Озера Смерти возникли как перекосы или небольшие кордильеры, но, признав это, мы должны внимательней приглядеться к Птолемею, Альфонсу и другим крупным полигональным циркам. Их валы — не обязательно целиком насыпные, здесь также возможны перекосы.

Искаженные кратерные валы. Собственно говоря, термин «искажение» годится лишь для тех круглых кратеров, у которых валы спрямляются линейными сбросами или перекосами (I, см. ниже). В меньшей степени он применим для группы или цепи кратеров, у которых внутренняя часть всей группы опущена и залита, так что внешние соединившиеся части валов дают сложную фигуру; то же относится к рядам кратеров, наклоненных в одну сторону и залитых с этой стороны, так что остатки валов зрительно объединяются в общий прерывистый гребень (II). И нужен новый термин для тех прямых отрезков вала, которые, по-видимому, получили свой облик с самого начала (III). Ниже приведено несколько примеров таких валов.

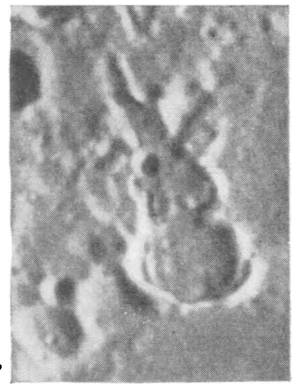
I. Разрывы, спрямляющие кольца валов, можно видеть у Палласа, Канта D, Деламбра, Лангрена. Обычно спрямление идет не столько за счет подвижек, сколько из-за вулканизма по разрыву. Так, северо-восточный вал Аль-Баттани по внешней части спрямлен экскавационной бороздой, идущей от Галлея; прямой отрезок на северо-восточном валу Юлия Цезаря оказывается валом вулканического рва (см. рис. 1, e); на западном валу Реомюра экскавационная борозда развивалась, вероятно, по сбросу.

II. Пары кратеров с общими перегородками иногда теряют эти перегородки: Паллас-Мурчисон, Пализа-Девн Y, тройной кратер восточнее Лемонье (рис. 2, a), а группы перекрывающихся кратеров могут иметь общее дно, ниже которого опущены все валы внутри общего внешнего контура. Таких кратеров много в северной приполярной области и на обратной стороне Луны, к ним относятся Барроу, Ритчи (см. рис. 2, б, в), Ипатия, Вольф. Довольно обычны редуцированные или затопленные перегородки у рядов сцепленных кратеров. Пониженные перегородки видны у группы Вогеля и у кратеров юго-восточнее Гемма-Фризия. У кратеров западнее Пурбаха, на берегу Моря Облаков, они почти исчезли (см. рис. 2, в), а долина в 30 км восточнее Вебба имеет такое ровное дно, что с трудом угадывается ее родство с кратерными цепями. Часть таких образований может быть результатом затопления пониженных перегородок (группа Опельта), но вообще, по-видимому, внутри кратерных цепей происходят усиленные просадки, увлекающие перегородки за собой. !

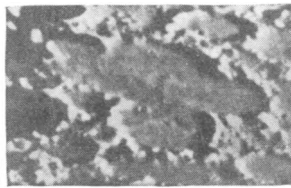
Иногда бывает, что одна сторона сочлененного ряда кратеров приподнята относительно другой по разрыву (Галлей), но чаще — за счет перекоса (Дембовский), и если кратеры залиты с одной стороны, то появляется соблазн видеть в оставшихся над морем валах единый гребень. Например, может оказаться, что гребень в Море Облаков в 70 км восточнее восточного вала Фра Мауро является останцом от валов двух кратеров, почти нацело затопленных (см. рис. 2, д). Точно так же, если погрузить



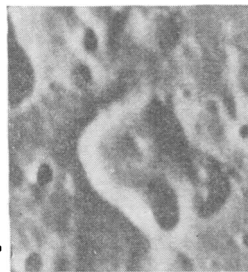
a



z



б



в



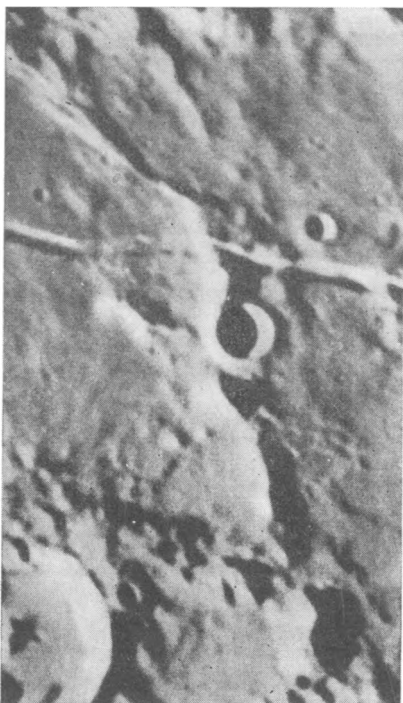
д

2. Кратеры с редуцированными смежными валами

- a* — тройной кратер восточнее Лемонье;
- б* — группа Барроу (масштаб втрое мельче масштаба остальных фотографий);
- в* — Ритчи;
- з* — полузаотпленная цепь кратеров западной Пурбаха;
- д* — остатки валов (?) кратерных цепей в Море Облаков

несколько глубже Зоммеринг, то на поверхности будет виден лишь один еле изогнутый гребень — его восточный вал.

III. По-видимому, сейчас еще трудно, если не невозможно, определить, какое значение имела в оформлении сильно угловатых кратеров первичная неоднородность фундамента, а какое — последующие нарушения. Например, расположенные в одной разрывной зоне Гоглен, Юлий Цезарь и Манилий N, скорее всего, получили свою сплюснутую форму за счет перекосов по правым сдвигам. Угловатость Бошковича также, возможно, обусловлена позднейшими подвижками. Даже происхождение такой формы, как Зильбершлаг S, можно было бы объяснить наложением двух-трех кратеров с последующим опусканием внутренней части и юго-восточной части вала (рис. 3). Но такие образования, как Бошкович P и Гигин M, вероятно, с самого начала оформлялись в виде прямоугольников. Неизвестно даже, следует ли называть их кратерами или это особый вид депрессий с валами, образовавшимися иным путем, чем у обычных кратеров. Возможно, валы этих депрессий следует отнести к вулканогенным.



3. Район трещины Ариадея

Вверху слева — вытянутая подкова Зильбершлага S; отходящий от него на юг гребень имеет, возможно, эффузивно-экструзивное происхождение

4. Центральные валы и горки

a — кратер на валу Маджини;

б — кратер на валу Вальтера;

в — Цезорин С

5. Гребни, секущие валы кратеров

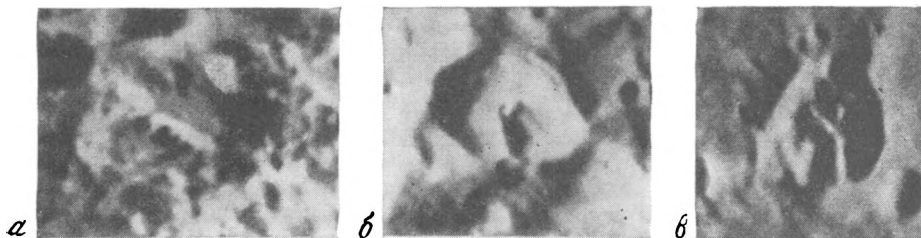
a — кратеры восточнее Табита;

б — Франц;

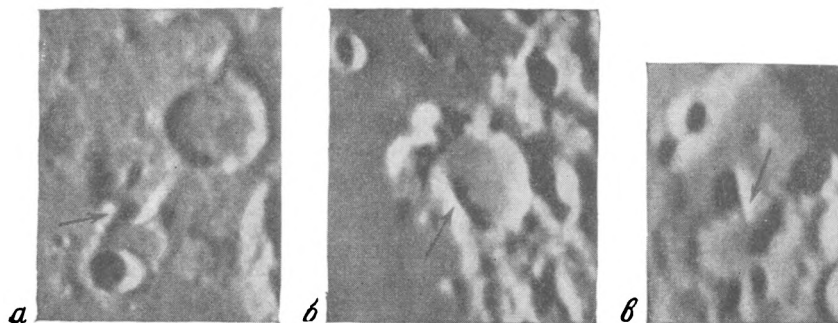
в — Цезорин N.

Секущие гребни указаны стрелками

3.



4.



5.

Валы трех следующих групп, по-видимому, имеют чисто вулканогенное происхождение. Сюда не входят гребни, которые могут оказаться частью вала древнего цирка или ребром перекоса и т. д.

Центральные валы. Наиболее известен и наиболее примечателен центральный вал Альфонса, ориентированный точно по оси гексагонального цирка, в соответствии с преобладающей ориентировкой разрывов. На севере точным продолжением вала служит западный вал Птолемея, на юге — северо-восточный вал Арзахеля. Центральный вал Альфонса несет меньше лунок, чем дно кратера; трещины при переходе со дна на этот вал глхнут в нем. Вал увенчан центральным пиком; его западный край образован прерывистыми вулканическими бороздами; продолжающий его вал Птолемея частично состоит из массивов, по внешнему виду и расположению напоминающих экструзивы или стратовулканы. Все эти особенности можно объяснить только вулканическим происхождением вала.

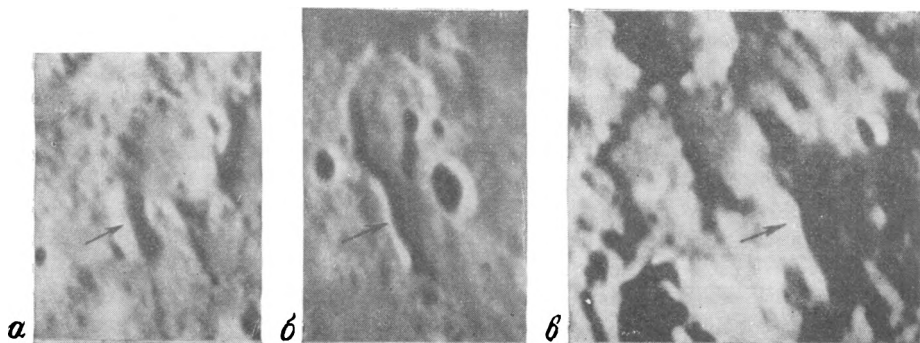
Обычно центральные валы наблюдаются в кратерах меньших размеров и редко бывают сплошными, так что существуют все переходы к обособленным удлинненным центральным горкам. Вот несколько примеров центральных поднятий.

В Гершеле вал четко выражен только с северного борта до центра; в Араго — от северо-западного борта до центра. В Манилии вал распадается на сложную центральную горку и два «отростка», которые отходят от северного и южного бортов. В Боде неясный вал опускается от гребня по внутреннему склону к центру. На юго-восточном валу Маджини в небольшом кратере видно, что его дно по одну сторону от центрального вала несколько отлично от другой половины (рис. 4, а). В кратере на юго-восточном валу Вальтера центральный вал соединяет край кратера с центральной горкой, несущей вершинный кратер (см. рис. 4, б). То же видно у массивного центрального вала Миллера. Южнее, до 60° ю. ш., среди множества плоскодонных кратеров центральные хребты видны только у двух — они отходят на северо-восток и на запад от вала Гераклита. Понижающиеся к одному концу и исчезающие валы видны также у Маскелайна А, Капеллы F, Сакробоско, Региомонтана и Вальтера, Арзахеля, Делоне; правда, последний можно представить как общую перегородку двух малых кратеров, вложенных в большой. Вал Укерта слегка изогнут, вал Цензорина С идет сначала на север, а от центра — на северо-запад (см. рис. 4, в).

6. Гребни, продолжающие валы

а — Ладе S; б — кратер южнее Прокла А; в — Ремер.

Гребни указаны стрелками



Такие центральные горки, как у Капеллы или у кратера, причленяющиеся с юга к Азофи, нельзя относить к хребтам, но они лежат на продолжении трещин, секущих вал кратера, и удлинены в том же направлении. Смещения центральных горок от центра кратера часто закономерно связаны с тектоникой местности (Charman, Fielder, 1964). На всех центральных хребтах лунки встречаются редко, расположены они обычно по гребню хребта или в центре кратера. Характерно еще, что там, где плохо выражены линейные (разрывные) системы, исчезают и центральные валы. При переходе на обратную сторону Луны четкие разрывы почти пропадают — вместе с центральными валами, хотя изолированные центральные горки по-прежнему часты.

Таким образом, центральные хребты закономерно увязываются с общим тектоническим планом, располагаются несимметрично относительно кратерного вала, обнаруживают признаки иного, чем у дна кратера, способа или времени образования (разное количество лунок и разрывов). Если к этому добавить, что никто не видел на Земле метеоритного кратера с центральным хребтом (да и метеоритное происхождение считанных центральных горок на Земле весьма проблематично), то понятно, что такие хребты на Луне проще объяснить вулканизмом. Центральные горки больше всего похожи на небольшие стратовулканы, а хребты можно представить как линейные группы щитовых вулканов, экструзий и пирокластических нагромождений.

Гребни, секущие края цирков. В этих случаях кольцевой вал цирка срезается прямолинейным хребтом и не продолжается по другую сторону этого хребта. Очевидно, после образования кольцевого вала происходили подвижки по секущему разрыву, а затем (или одновременно) вдоль разрыва возник новый хребет. Предположение о вулканической природе этих гребней выглядит наиболее естественно, хотя четких примеров сравнительно мало, чтобы судить о деталях процесса.

От Герике на север отходят два гребня, похожие на затопленный кратер; восточный гребень переходит в морской вал, а западный врезается в пределы вала Парри М, юго-восточнее кратера Парри (см. рис. 6 к ст. М. С. Маркова «Объяснительная записка...»). В 50 км восточнее Табита видны два 20-километровых кратера. Вал южного незамкнут, и одна его ветвь врезается в кратер, лежащий к северу, причем точно на продолжении этой ветви лежит удлиненная центральная горка (рис. 5, а). Лежащие на краю Болота Сонного кратеры Франц (см. рис. 5, б) и Лайелл обнаруживают сходную деталь: четкие северо-западные гребни пересекают валы и днища этих кратеров. В Цензорине X северо-западный гребень проходит посередине кратера, пересекает вал и выходит за его пределы. С другой стороны вала в том же направлении идет трещина. Рядом, на южном краю Цензорина N, виден расплывшийся 15-километровый кратер, в северный вал которого врезается короткий, но четкий северо-западный гребень с лункой на вершине (см. рис. 5, в). В 100 км на север-северо-запад от Тихо видны три взаимоперекрывающихся кратера. Перегородка между южным и восточным кратерами, изгибаясь, продолжается в пределы северо-западного кратера, где кончается горкой, увенчанной лункой.

Некоторые случаи секущих валов можно объяснить каким-либо из ранее упоминавшихся процессов. Например, от вала кратера непосредственно южнее Цихуса отходит юго-восточный гребень и, как кажется, сечет вал кратера. Но гребень может быть результатом перекоса, а дефект вала — просто лункой. Прерывистый гребень, идущий по касательной к Мёстингу А (с запада), как будто наложен на древние мелкие кратеры; но он мог появиться и как останец между залитыми экскавационными бороздами.

Особенный интерес представляют случаи, когда гребень, пересекающий кратер, вне кратера переходит в образование типа морского вала. Так, полукольцевой уступ дна Сабина на юге переходит в гребень, который переваливает через борт кратера и продолжается в виде морского вала. Точно такой же кратер виден около центра обратной стороны.

С точки зрения ударно-баллистических гипотез можно предположить, что секущие валы представляют собой «жгуты» рыхлого материала, выброшенного из соседних молодых кратеров и наложенного на древние кратеры. Но рассматриваемые образования трудно привязать к каким-либо молодым кратерам. Кроме того, материал вокруг молодых (коперниковских и эратосфенских) кратеров залегает сплошным чехлом; этот чехол имеет относительно сглаженный бороздчато-грядовый рельеф и не распадается на изолированные удаленные гребни, подобные описанным. Поэтому, как и в случае центральных валов, секущие гребни следует считать результатом вулканизма, локализованного вдоль трещин.

Возможно, валы древних цирков, «просвечивающие» на дне наложенных на них молодых кратеров (Moog, 1966), видны там из-за частичной регенерации, т. е. вначале — образование вулканического вала по кольцевым трещинам, затем — наложение на этот вал молодого кратера и потом — дальнейший вулканизм по старой кольцевой трещине, выходящей теперь в дно молодого кратера.

Прямые гребни, сливающиеся с открытыми полумесяцами кольцевых валов. Они встречаются чаще, чем секущие. Иногда они встречаются с кольцевым валом под углом, чаще — по касательной, образуя в плане фигуру, похожую на вопросительный знак. Во многих случаях можно определенно говорить о вулканическом происхождении таких продолжающихся валов.

Это такие кратеры, как Ладе S (рис. 6, а), кратер южнее Прокла А (см. рис. 6, б), Агриппа S, Зильбершлаг S, Парри М, Лаббок М, Вейс, кратер на юго-западном валу Фернеля.

Из трех гребней непосредственно севернее Ремера, идущих на север-северо-запад (см. рис. 6, в), западный гребень, вероятно, является остатком полигонального вала кратера, центральный — его срединным валом, а восточный находится на месте краевого вала, как и первый, но продолжается дальше на юго-восток, выражен резче, не нарушен разрывами и несет на вершине лунку. (Между Ремером и этим гребнем виден купол, также с вершинной лункой.)

У Палласа и Мурчисона общая перегородка продолжается на север и юг, хотя, возможно, это остатки древних кольцевых валов. У таких кратеров, как Гутенберг или Исидор В, видно, что кратерные валы, вместо того чтобы замыкаться на юге, поворачивают в меридиональном направлении и являются валами уже другого кратера, соединяющегося с главным.

Как уже отмечалось А. В. Хабаковым (1949) и Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1945), многие кратеры (например, Лангрэн, Деламбр) имеют характерную структуру на северном и южном обрамлении — сетку диагональных валов и борозд, часть которых продолжается от кольцевого вала по касательной. Такая структура возле Тарунция на снимке Лунар Орбитер I разрешается на цепи лунок и валы, очень похожие на морские (Middlehurst, 1967). Вероятно, такие структуры и отдельные гребни, сливающиеся с кольцевыми валами, являются различными выражениями одного и того же вулкано-тектонического процесса.

К гребням этого типа можно отнести и многие морские валы. Если проследить направление таких валов, то оказывается, что в некоторых участках они незаметно переходят в кольцевые валы кратеров-фантомов. Классическим примером может считаться Ламонт, образующий с морскими валами единую сложную структуру. Одни валы секут кольцо Ламонта, другие ответвляются от него. К северо-востоку от Ламонта, в районе Янсена В, та же система валов тесно связана с другим фантомом (рис. 7, а). Валы этой структуры сильнее изрезаны и похожи на выступы доморского фундамента, но тот факт, что они непосредственно переходят в морские валы, заставляет сомневаться в их древности, хотя возможно, что морской вал расположен на древней регенерированной трещине,ходящей от древнего цирка.

Такие же фантомы меньших размеров с кольцевыми валами, переходящими в морские валы, видны в 70 км восточнее Мессье, в 80 — 90 км на запад-юго-запад от Мессье, восточнее Гоглена, у Дагера, у Годибера А, на древнеморской поверхности внутри Гишпарха, в системе Опельта. По касательной к валу цирка идет вал к юго-востоку от Теофила. По-видимому, дуга морских валов в Море Облаков, хордой которой служит Прямая Стена, трассирует положение вала древнейшего цирка или талассоида, другой борт которого проходит от мыса Тенария через Табит и северо-западный вал Пурбаха (см. рис. 7, б).

Один из таких случаев недавно привлек особое внимание исследователей. Речь идет о так называемом кольце Флемстида. На телескопических фотографиях эта структура представляется морскими валами, образующими кольцо, открытое и продолженное к северу такими же валами; некоторые выступы на кольце можно считать выступами фундамента. Фотографии Лунар Орбитер I и Сервейер I показали, что холмы на кольце имеют очень пологие склоны; вдоль краев холмов было встречено несколько редуцированных лунок, как бы перекрытых материалом холма; сами холмы светлее, чем море. На этом основании было сделано предположение, что холмы являются куполами вязкой, плохо растекающейся лавы (O'Keefe, Lowman, Cameron, 1967; Fielder, 1967).

Против этого можно возразить. Механизм одновременного излияния и растекания мощной шапки лавы маловероятен (высота ее — сотни метров), скорее такой купол образуется рядом наслаивающихся излияний; таким образом, остается открытым вопрос о вязкости и составе лав. Редуцированные кратеры могут образоваться у подножия холма не за счет перекрытия, а из-за неоднородности материала по сторонам трещины, подводящей газы (если мы примем, что эти кратеры — эндогенные); следовательно, неизвестно, холмы ли перекрывают морские породы или наоборот. (Такие «кусеченные» лунки видны, например, в долине Шрётера, где они прижаты к одному борту.) Наконец, различная плотность кратеров на холмах и в море может объясняться: а) различным возрастом этих образований (если все лунки — ударные); б) различными типами извержений, создавших море и холмы (если считать лунки эндогенными); в) наличием центров пепловых извержений в местах, где лунка мало (если считать, что там они непрерывно засыпаются пеплом).

Таким образом, кольцо Флемстида равновероятно может быть доморским выступом, послеморскими эффузиями вдоль кольцевых трещин или над валами древнего затопленного цирка или же, наконец, может быть гребнем древнего цирка, перекрытого плащом молодых лав. Остаются

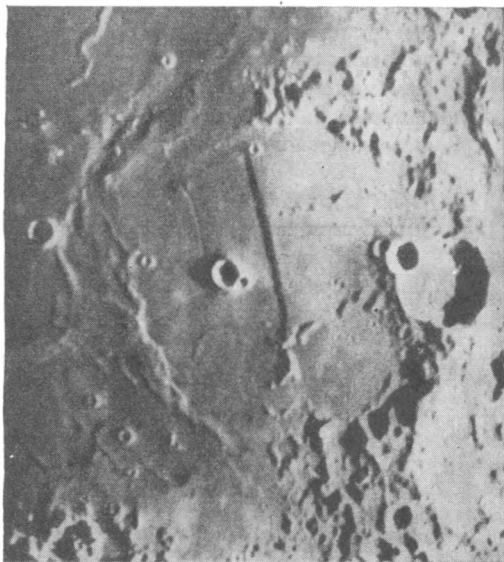
несомненными связь этого кольца с типично морскими валами и аномально низкие углы откоса, нехарактерные для сыпучих тел (предположения о повышенной роли землетрясений в осыпании пород на Луне — пока лишь только предположения). Сами же морские валы, как представляется при изучении крупномасштабных снимков, по-видимому, не могут быть ничем иным, как только нагромождением лав у трещин, служащих подводными каналами (Ranger VII, 1965; Ranger VIII, IX, 1966). В этом убеждают форма валов в плане, профили, тесная связь с разрывами, ассоциация с куполами, осветление поверхности, многофазность развития, устанавливаемая по перекрытию элементов в пределах вала, наконец, приуроченность к валам образований, которые естественней всего истолковывать как лавовые потоки. Возможны, конечно, и сводовые поднятия вдоль вала как побочное следствие вулканизма.

Изолированные холмы и горы. Купола всех размеров — от десятков метров до километров — видимо, как и валы, сложены лавами, но не трещинных, а центральных извержений, отвечая, таким образом, небольшим щитовым вулканам (Rae, 1966; Strathmore, 1966). Но вот обычных, земных стратовулканов на Луне как будто не видно; все сравнения земных кальдер с лунными цирками пренебрегают размерами последних — на Земле все-таки нет таких цирков в таком количестве. В свою очередь на Луне нет ничего похожего на Мауна-Лоа, у которого общая высота (со дна океана) составляет 9 км, а поперечник основания больше 300 км. Поэтому на данном этапе следует четко установить пределы сходства земных и лунных вулканов, а затем заняться вопросами их различия.

С этой целью необходимо выяснить, действительно ли на Луне нет центральных вулканов, кроме куполов.



а



б

7. Связь морских валов с кратерными валами
 а — сочленение морского вала с древним (?) кратером в районе Янсена В;
 б — кольцо вокруг Прямой Стены (масштаб снимка втрое мельче масштаба фото а)

Наибольшее сходство с обычными стратовулканами обнаруживают, конечно, центральные горки цирков. Диаметры их оснований (от первых километров до 20 км и более) и высота (от сотен метров до 1—3 км) находятся в том же ряду величин, что и у земных вулканов. Как уже говорилось, эксцентричность центральных горок закономерно связана с тектоническим строением местности. Ориентировочные подсчеты по картам масштаба 1 : 1 000 000 и фотографиям масштаба 1 : 1 500 000 показали, что примерно 30—40% центральных горок несут вершинные или боковые кратеры.

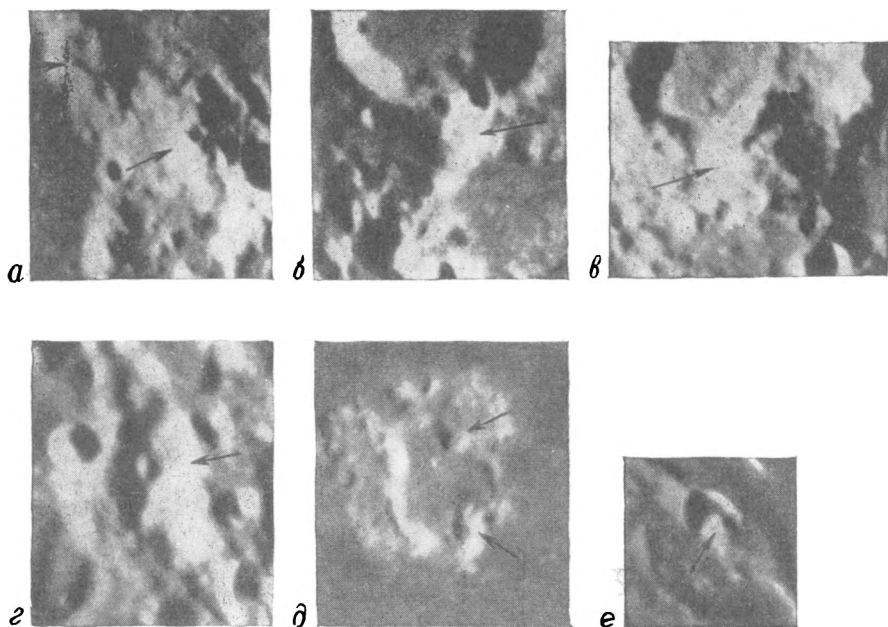
Надо отметить, что пока телескопы и фотокамеры не имели современной разрешающей способности, количество вершинных кратеров исчислялось единицами на всей видимой стороне. Но даже и в лучший телескоп было бы невозможно разглядеть вершинные кратеры, скажем, у большинства курильских вулканов, если поместить их на Луне, — как правило, эти кратеры имеют диаметр в сотни метров (Горшков, 1967), т. е. на грани визуального разрешения телескопов. Например, вершинные кратеры, видимые на снимках Орбитеров у Тихо, Аристарха, Коперника, в телескоп разглядеть не удастся. Поэтому мы имеем право предположить, что вершинные кратеры на Луне встречаются гораздо чаще, чем мы видим.

На Луне можно также найти некоторое количество образований, похожих на центральные горки (и на стратовулканы), но размещающихся на валах кольцевых структур.

Конуса на валу Альфонса отмечены Г. С. Штейнбергом (1967). Характерные массивные выступы видны на западном валу Птолемея, а непосредственно к востоку от восточного борта расположен пологий холм, также напоминающий вулкан (рис. 8, а). При достаточном увеличении на валу Циолковского можно разглядеть четыре выступающих светлых конуса по 10—20 км в основании, с вершинными кратерами. Можно привести еще несколько таких образований на валах, которые могут оказаться вулканами (см. рис. 8): пересечение вала Плейфера с древним валом на юге (б); гора с вершинным кратером в 50 км восточнее Ашана, перекрывающая древние валы (в); холм на сочленении небольших кратеров посередине между Сакробоско и Пауассоном; холм на северо-западном борту Пуассона; холм с кратером на северо-западном борту Эри (г); два небольших холма на борту Вольфа, на одном из них — вершинный кратер (д); холм, выпирающий на юго-восточной половине Гигина N (е). Вообще же на валах кратеров часто встречаются и легко распознаются цепочки луннок (по кольцевым трещинам) и лавовые озера.

Такие же изолированные конуса или короткие гребни с лунками на вершине встречаются и без видимой связи с другими структурами. Они возвышаются на ровной или слабобугристой местности, обычно хорошо отделяясь от нее.

В 45 км на север-северо-запад от Альпийской долины в тыловой части Альп возвышается гора с поперечником 10—12 км по основанию, на вершине которой — треугольное углубление, а в нем лунка. Гора, насколько видно, не затронута разрывами, т. е. перекрывает их (Watts, 1967). Такую же форму и размеры имеют Пико (Herring, 1967), Питон и ближайшая к Платону гора в группе Тенерифе (рис. 9, а, б). Интересно, что для последней отмечалось явление, похожее на извержение. Южнее Залива Радуги (200 км на юго-запад от Мыса Гераклида) над выположенной местностью поднимаются два купола, по 15—25 км в поперечнике, свежего облика. Такой же купол с лункой виден к северу от Маральди (см. рис. 9, в, г). Сравнительно много подобных образо-



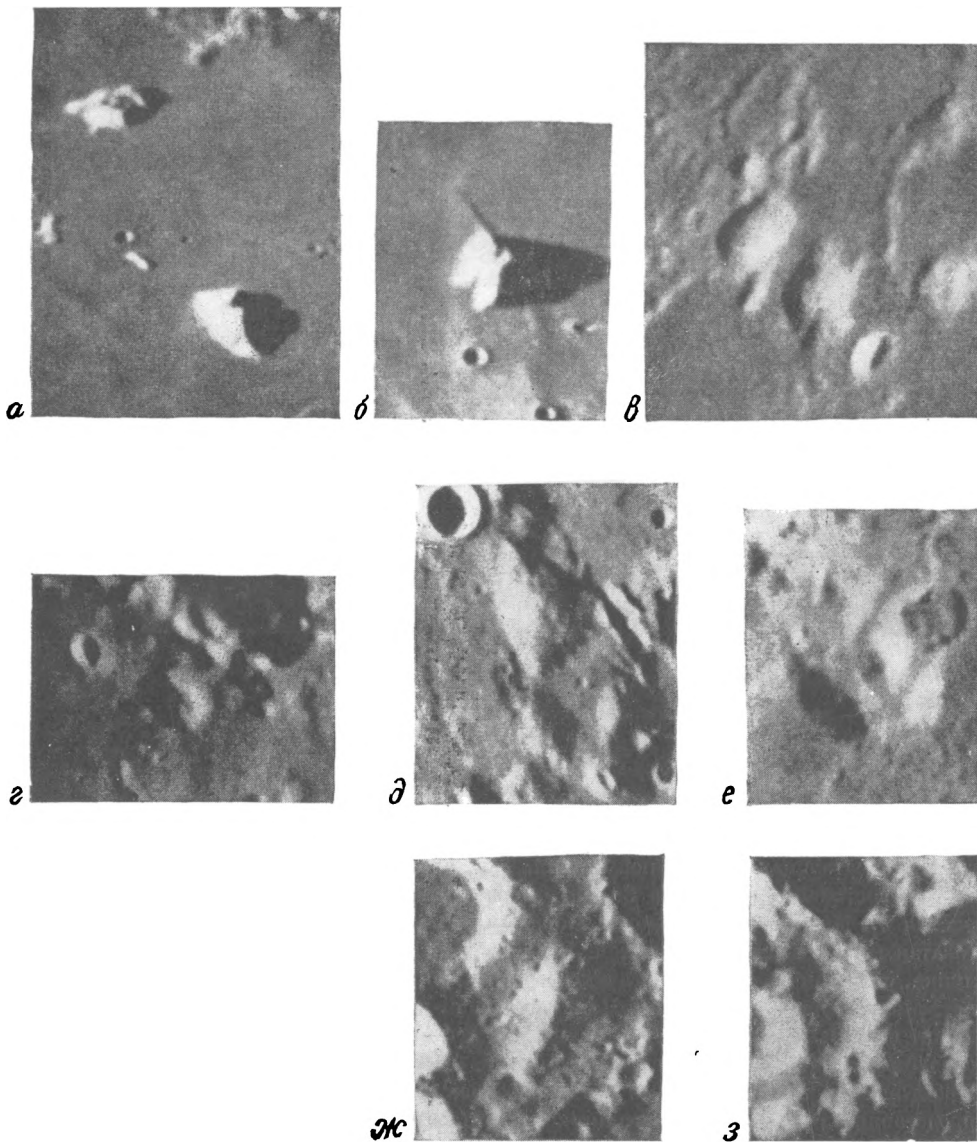
8. Вулканоподобные структуры на валах лунных кратеров

- | | |
|---|--------------------|
| <i>a</i> — восточный вал Птолемея; | <i>г</i> — Эри; |
| <i>б</i> — Плейфер; | <i>д</i> — Вольф; |
| <i>в</i> — гора в 50 км восточнее Апиана; | <i>е</i> — Гигин N |

ваний на материках южного полушария. Так, происхождение горы, протягивающейся на юго-восток от Бодэ А на 30 км, трудно объяснить блоковыми подвижками (см. рис. 9, *б*). Между Фракастором и Борда, в 250 км от центра Фракастора, — продолговатая гора с вершинной лункой. В 35 км западнее западного борта Фракастора — лунка, сидящая на скрещении двух гребней, в то время как других лунок поблизости нет. Мелкий кратерочек Тацит К, начинающий короткую кратерную борозду, также лежит на возвышении. Может быть, выступ Алтайских гор к северо-востоку от Канта следует рассматривать как вулкан (см. рис. 9, *е*). Купол между Пикте, Соссуором и Проктором не связан с валами этих кратеров; гребень восточнее Соссуора, вероятно, представляет собой вал древнего цирка, но это не исключает возможности его вулканического происхождения (см. рис. 9, *ж*, *з*).

Множество валов и гребней неясного генезиса с равным успехом могло появиться в результате как разрывной тектоники, так и вулканизма.

Таковы: гребень в 70—80 км севернее Вильгельма; гребень внутри Гиппарха, у его южного борта; гребень юго-западнее Палласа с лунками по оси; выступ с вершинной лункой приблизительно в 70 км северо-восточнее Фра Мауро (рис. 10, *а*); небольшой вал с лункой, отходящий от Агришпы G к северу и сменяющийся затем трещиной (см. рис. 10, *б*). Даже такие вытянутые детали, как гребень от Зильбершлага к Темплу и гребень, пересекающий трещину Ариадея в 50 км восточнее Зильбершлага (см. рис. 10, *в*), трудно объяснить блоковой тектоникой, они больше похожи на морские валы.



9. Изолированные вулканоподобные структуры на Луне

a — слева сверху — гора из группы Тенерифе, внизу — Пико;

б — Питон;

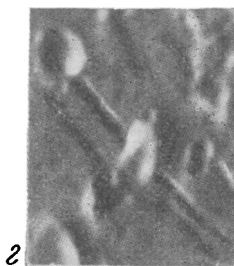
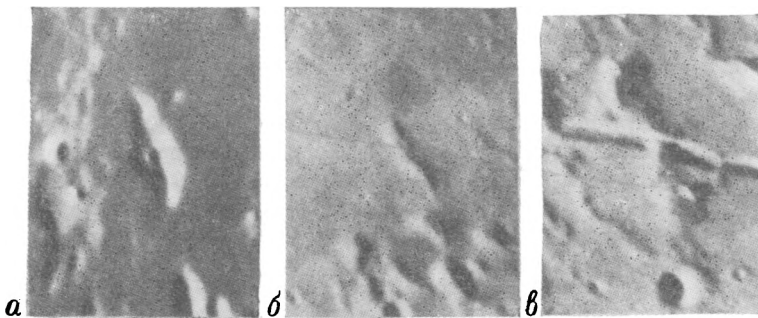
в — купола на материке западного обрамления Моря Дождей;

г — купол возле Маральди;

д — продолговатый купол возле Бюде А;

е — выступ на Алтайских горах, восточнее Канта;

ж, з — изолированные холмы в районе Соссюра



10. Гребни предположительно вулканического происхождения

- а — Море Облаков;
- б — Залив Центральный;
- в — трещина Ариадея;
- г — структура возле Капеллы М, напоминающая открытый к югу вулканический аппарат

Существование молодых вулканических хребтов могло бы объяснить, почему многие трещины (например, та же трещина Ариадея) плохо видны в местах их пересечения с небольшими гребнями. Если это не оптический эффект, а действительно исчезновение трещин, то значит хребты моложе трещин и накладываются на них.

Разумеется, все сказанное относится к области вероятного, но не обязательного; по имеющимся снимкам трудно принять вполне однозначное решение. Например, хребет с лункой между Дембовским и Годеном выглядит на телескопических снимках вулканическим, но лунка на его вершине при большем увеличении становится скорее похожей на сброс или оползень по краю крупного кратера. А раздвоенный гребень, пересекающий трещину в 30 км на юго-восток от Капеллы М, можно было бы счесть экструзией, но на самом деле это больше похоже на открытый в одну сторону взрывной кратер мелкого вулкана, перекрывшего трещину (см. рис. 10, г).



Таким образом, прямолинейные лунные гребни по способу их образования делятся в общем на три группы.

1. Гребни тектонического происхождения, возникающие за счет перекося блоков, сбросовых подвижек по кратерным валам и, возможно, валобразных вздутий и горстов.

2. Гребни, являющиеся обрамлением кратерных борозд: насыпные (и аллитивные?) валы вулканических экскавационных рвов; прямолинейные останцы фундамента между параллельными рвами; слившиеся валы кратерных цепей. Очевидно, ведущим здесь является процесс образования негативных форм — борозд и долин, гребни и выступы оказываются

вторичным, сопутствующим результатом. Как правило, в оформлении гребней принимают участие и тектоника, и вулканизм.

3. Валу и гребни, которые можно рассматривать как нагромождение продуктов линейного вулканизма, т. е. ряды центральных, щитовых и стратовулканов, вулканические хребты, эффузивно-экструзивные валы и смешанные образования. Морфологически они представлены гребнями, секущими кратерные валы, причленяющимися к этим валам, а также центральными валами кратеров.

Все эти группы представлены прямолинейными гребнями или отдельными возвышенностями. Кольцевые валы кратеров (а также прямолинейные остатки кольцевых валов и валы кратерных борозд) до последнего времени считались насыпными образованиями, т. е. материалом, выброшенным из центра кратера. Однако мы знаем, что существует множество кратеров, для которых отмечаются проявления вулканизма по кольцевым трещинам: двойные валы, кольцевые цепи лунок на валах, кольцевые трещины и гребни на дне, субкруговые блоки, выступающие на дне, лавовые озера на валах. Здесь такие случаи не разбираются, потому что эта тема требует специальной работы, но надо помнить, что значительная доля кратерных валов может быть сложена не выбросами из кратера, а кольцевой цепью даек, эффузий, экструзий и мелких вулканов.

Следует сделать еще одно замечание. Даже после долгого изучения фотографий специально с целью поисков центральных вулканических построек остается несомненным, что таких построек на Луне очень мало. Местами обнаруживаются скопления плоских куполов (щитовые вулканы?) и мелких холмов с вершинными лунками (шлаковые конуса?). Но крупных вулканических сооружений центрального типа почти нет. Похоже, что лунный вулканизм предпочитает проявляться в форме взрывов, проседаний и излияний вдоль кольцевых трещин: какие-то причины приводят к тому, что вместо земных стратовулканов на Луне образуется больше воронок и кальдер. Видимо, сейчас можно перейти от вопроса «чем сходны земные и лунные вулканы» к вопросу «почему они все-таки разные».

Литература

Атлас обратной стороны Луны. Ч. 2. М., изд-во «Наука», 1967.

Горшков Г. С.

1967. Вулканизм Курильской островной дуги. М., изд-во «Наука».

Полная карта Луны. Масштаб 1 : 5 000 000. Научный руководитель Ю. Н. Липский. М., изд-во «Наука», 1967.

Хабаров А. В.

1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.

Штейнберг Г. С.

1967. О строении кратера Альфонс.— Докл. АН СССР, 175, № 2.

Chapman R. G., Fielder G.

1964. On the central peaks of lunar craters.— Observatory, 84, N 938.

Fielder G.

1961. Structure of the Moon's surface. London, Pergamon Press.

1967. Volcanic rings on the Moon.— Nature, 213, N 5074.

Firsoff V. A.

1961. Moon atlas. London.

1967. A selenological appraisal of the Orbiter-2 photographs.— Spaceflight, 9, N 3.

- Hartmann W. K.**
1963. Radial structures surrounding lunar basins.— Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona, 2.
- Herring A. K.**
1967. Observing the Moon-Pico.— Sky and Telescope, 33, N 1.
- Kopal Z.**
1965. Photographic atlas of the Moon. N. Y.— London.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1960. Photographic lunar atlas. Chicago.
Lunar chart. Scale 1 : 1 000 000. Ser. code: LAC. Washington, Publ. Aeronaut. Chart and Inform. Center U. S. Air Force. 1960—1964.
Lunar Orbiter photographs Earth and Moon. 1966.— Sky and Telescope, 32, N 6.
- Middlehurst B. M.**
1967. An analysis of lunar events.— Rev. Geophys., 5, N 2.
- Moor P.**
1966. Interlocking lunar crater.— J. Brit. Astron. Assoc., 76, N 4.
- O'Keefe J. A., Lowman P. D., Cameron W. S.**
1967. Lunar ring dikes from Lunar Orbiter I.— Science, 155, N 3758.
- Rae W. L.**
1966. Lunar domes.— J. Brit. Astron. Assoc., 76, N 5.
Ranger VII. Technical Rept N 32-700. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1965.
Ranger VIII and IX. Technical Rept N 32-800. Pt 2. NASA, Pasadena, California Inst. Technol., 1966.
Results from Lunar Orbiter II. 1967.— Sky and Telescope, 33, N 1.
- Ross H. P.**
1968. A simplified mathematical model for lunar crater erosion.— J. Geophys. Res., 73, N 4.
- Rowan L. C.**
1966. Orbiter observations of the lunar surface.— In: [«The physics of the Moon». Amer. Astronaut. Soc. Washington.
- Spurr J. E.**
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
- Strathmore R. J. B.**
1966. An unusual lunar dome.— Sky and Telescope, 32, N 2.
- Watts R. N.**
1967. Photographs by Lunar Orbiter IV.— Sky and Telescope, 34, N 1.

Некоторые общие закономерности развития структур Луны и особенности ее геологической истории

М. С. Марков, А. Л. Суханов

Рассмотренные выше геолого-морфологические карты отдельных участков экваториального пояса видимой стороны Луны позволяют поставить на обсуждение некоторые вопросы об особенностях истории геологического развития нашего естественного спутника.

По существу формирование поверхностных тектонических форм Луны определяется тремя процессами: 1) образованием крупных впадин лунных морей и зон относительных поднятий лунных материков; 2) образованием кратеров; 3) движениями по разрывам. Причем составленные стратиграфические схемы позволяют говорить о том, что эти процессы в известной мере самостоятельны и усиление одного процесса еще не свидетельствует об усилении другого. Это предположение уже было высказано в свое время А. В. Хабаковым (1949), и дальнейшая детализация стратиграфии лунных комплексов лишней раз подтверждает его. Конечно, некоторые кратерные формы и связанные с ними породы могут оказаться одновозрастными с породами морских комплексов. Это было показано Дж. Е. Спёрром (Spurr, 1945) и Ю. М. Шумэкером и Р. Дж. Хэкманом (Shoemaker, Hackmann, 1962) для лучевых образований коперниковских кратеров и пород процеллариевого комплекса. Речь здесь идет не о деталях, а лишь об общих тенденциях в развитии поверхностных структур Луны.

Следующий вопрос, который вполне естественно встает при анализе составленных геолого-морфологических карт, — это проблема соотношения лунных морей и материков, их отличий и тектонической природы.

Материки и моря Луны различаются по альбедо, цвету и поляризации пород поверхностного слоя, по плотности кратеров, рельефу, высоте, по распределению на поверхности Луны.

Первые три показателя: альбедо, цвет и поляризация пород поверхностного слоя, вероятно, могут отражать не только и не столько разный химический состав пород, сколько их разную текстуру, и в значительной степени определяться воздействием экзогенных процессов, являясь функцией не столько состава, сколько времени. Точно так же некоторые разли-

чия в результатах радиоизмерений для морей и материков скорее обусловлены разной текстурой слагающих их пород или, точнее, различной степенью раскристаллизации, а не иным составом. По гамма-излучению морские и материковые площади Луны не различаются на существующем уровне измерений (Виноградов и др., 1966).

При анализе составленных карт выявляется, что сложность поверхностных форм материков, расчлененность рельефа увеличиваются по мере перехода к более древним формациям. Всюду, где удавалось проследить непрерывный ряд от молодых образований к древним, оказывалось, что на древних участках больше разрывов, гребней, кольцевых форм, хребтов. Очевидно, существует определенный процесс преобразования всей поверхности Луны из просто построенной в более расчлененную; процесс, обусловленный в основном эндогенными силами при участии метеоритной обработки и других экзогенных сил (физическое выветривание, космическое облучение). В таком случае ровная поверхность молодых морей еще не может говорить об их принципиальном отличии от материков; возможно, на поверхности лунных морей пока не возникло такого количества кратеров, разрывов и горстовых поднятий и грабен, которое сделало бы их неотличимыми от материков. Таким образом, сложность рельефа тоже можно рассматривать как функцию времени.

Вопрос еще осложняется, с одной стороны, наличием останцев материковых форм рельефа среди пород процелляриевого комплекса, с другой — присутствием реликтов древних морей на поверхности заведомых материков.

Остается рассмотреть отличия по структуре, распределению, высоте и по количеству кратеров.

1. Различия в структуре. Для них свойственны краевые уступы (кордильеры), обрамление в виде поясов концентрических и радиальных разломов, грабен. Свообразны и внутренние более мелкие структуры — морские хребты (относительно пологие валы) и купола. Эти морфологические признаки существенно отличают лунные моря не только от материков, но и от крупных кратеров.

2. Распределение на поверхности. Очертания материков подчинены формам морей, которые «вырезают» в материках грубо круговые или неправильные участки. В свою очередь моря располагаются закономерно. Моря Изобилия, Ясности, Спокойствия, Дождей и Океан Бурь образуют непрерывный субэкваториальный пояс, протягивающийся в общем по дуге большого круга. На обратной стороне Луны этот пояс продолжается группой талассоидов. Как показал Дж. Е. Спёрр (Spurr, 1945), Море Паров, Залив Зноя и Море Холода подчинены в своем расположении Морю Дождей, окаймляя его по кольцу опусканий. Центр морского пояса находится в южном полушарии, где-то в районе кратера Магин. Моря Влажности, Облаков, Нектара и Кризисов выпадают из этой закономерности; правда, два последних располагаются на месте древних морей и наследуют их структуру, а как в общем плане лежали древние моря, пока неясно. В противоположность морям лунные материки, наоборот, тяготеют к полярным областям.

3. Уровень поверхности. Фигура Луны имеет вдоль пояса морей полосу опусканий (Schrutka-Rechtenstamm, Hopmann, 1958). Эта полоса опусканий не совпадает точно с очертаниями морей, но то, что она в общем следует направлению пояса морей, очевидно, указывает на какие-то глубокие отличия морей от материков (рис. 1).

4. Количество кратеров. Скопление кольцевых форм между Алтайскими горами и кратером Тихо невольно наводит на мысль, что формирование материкового рельефа этого места целиком обусловлено процессом кратерообразования. Однако против такого предположения существует ряд возражений.

Так, А. В. Хабаков (1949, стр. 129) пишет: «Глаз, фиксирующий своеобразные кольцевые формы лунных гор, недооценивает относительную долю площадей, приходящихся 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». И далее: «...при очень густом расположении цирков» они покрывают 50—65% площади, т. е. 35—50% от них свободно.

Существуют участки материков, почти целиком лишенные кольцевых форм. Например, в Апеннинах всего несколько небольших кратеров.

Определенное значение для выяснения этого вопроса имеет плотность кратеров, т. е. их количество на единицу площади, подсчитанное по количеству центров кольцевых образований. А. В. Хабаков приводит такой подсчет для центральной части Луны (1949, стр. 130). Подсчет сделан по квадратам. На этой схеме видно, что наибольшее количество кратеров и цирков приходится на область, расположенную между Морем Нектара и Морем Облаков, а наименьшее — на пояс морей и, что весьма важно, на прилегающие к морям части материков.

Нами сделана попытка провести подобный подсчет, используя для этой цели равноплощадную сетку. Поскольку ставилась задача выявления лишь самой общей закономерности распределения кратеров и цирков, то особой точности не требовалось. Для работы была использована карта-схема сравнительно мелкого масштаба—1 : 10 000 000—из фотографического атласа Дж. П. Кейпера (Kuiper a. oth., 1960), на которой нанесены кратеры диаметром не менее 10—20 км. Меньшие диаметры следовало бы исключать даже при использовании крупномасштабной карты, так как для части мелких кратеров можно предполагать их вторичное ударное происхождение, а, кроме того, скорость разрушения мелких кратеров-лунок отличается от скорости разрушения крупных кратеров. Было обработано 2140 кратеров по всему видимому диску. Результаты обработки представлены на схеме (рис. 2). Естественно, что по краям диска картина сильно искажена в сторону преуменьшения количества кратеров. Поэтому краевые зоны диска на рисунке не показаны.

Прежде всего на диаграмме виден максимум плотности в районе кратера Мавролик. По направлению к морям, на север, запад и восток, плотность кратеров снижается постепенно. Области со средним количеством кратерных форм располагаются в равной мере как на материке, так и в окраинных морях, явно наложенных на структуры материков. Наименьшее количество кратеров приходится на пояс морей, с минимумом в Море Дождей и в море Ясности, и на расположенные между этими морями горные цепи Апеннин и Кавказа. Таким образом, из диаграммы видна общая тенденция к сосредоточению кратеров на материках, но в частных случаях имеются отклонения.

При ближайшем рассмотрении оказывается, что области Апеннин и Кавказа отличаются своим рельефом от материка к югу от них. Для этих

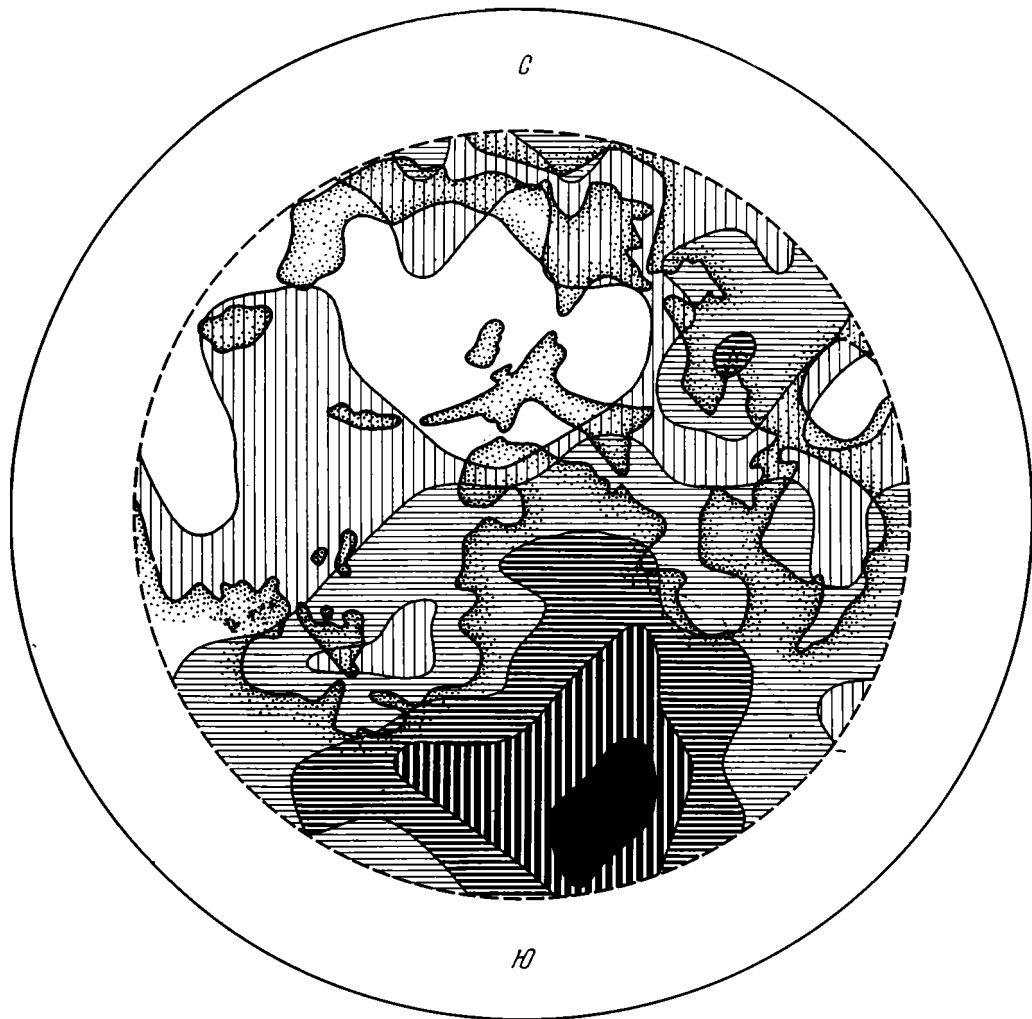


1. Фигура Луны, по С. Шрутке-Рехтенштаму (Schrutka-Rechtenstamm, Норшанн, 1958)

— материи;
 -2 — изогипсы, проведенные через 1 км

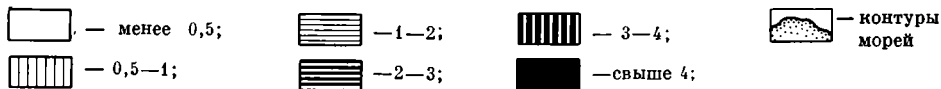
участков, а также для полосы Альп до Озера Снов кольцевые формы скорее исключение, чем правило. Здесь наблюдаются гряды, валы, пологие холмистые поверхности. Высказывались предположения, что ранее, в самые древние этапы развития Луны, здесь был кратерный рельеф, впоследствии разрушенный, так что эти области превратились в своеобразный «пепелен», деформированный только разрывными нарушениями. Однако такое предположение вряд ли справедливо.

Во-первых, как показано В. К. Хартманом (Hartman, 1964), во всех возрастных генерациях кратеров разрушаются только сравнительно небольшие по размерам формы; крупные кратеры и цирки в основной своей

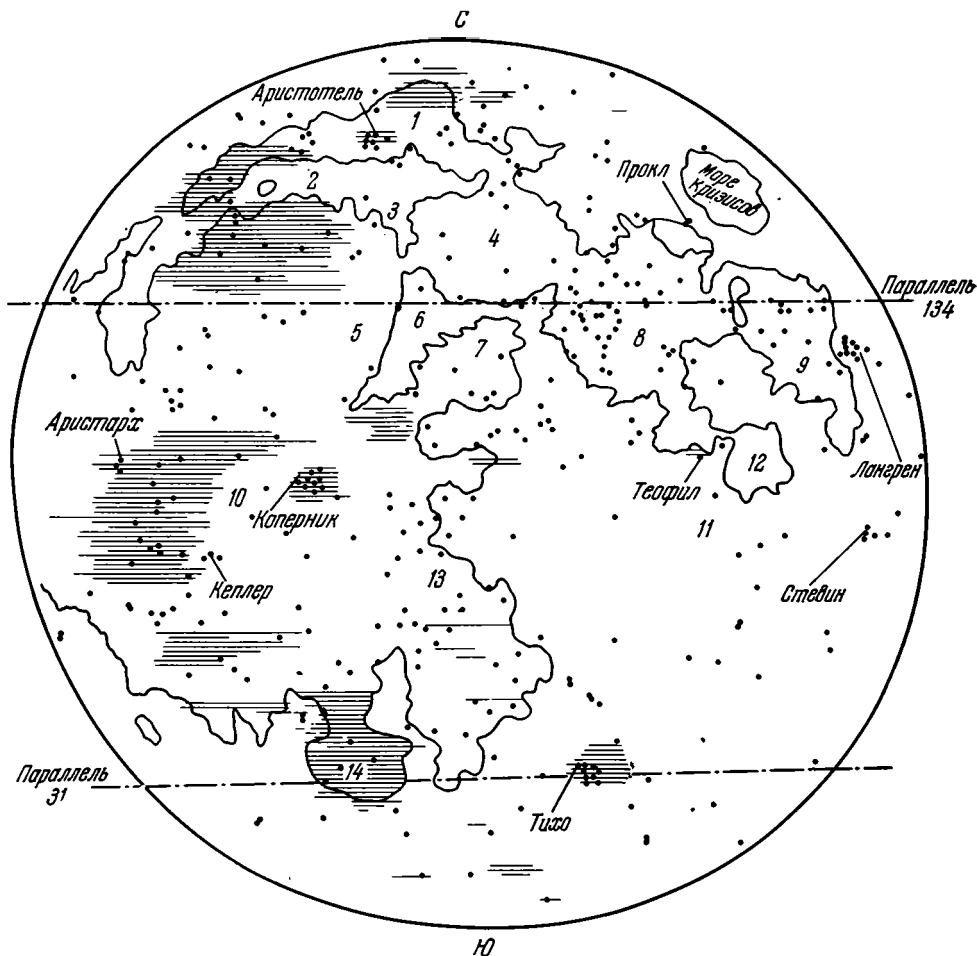


2. Диаграмма плотности кратеров

Количество кратеров на единицу площади, % от общего числа:



массе сохраняются. Даже среди древних образований сохраняются почти все кратеры больших диаметров (крупнее 20—30 км). К этому следует добавить, что исчезновение древних кратеров в значительной мере объясняется возникновением на их месте новых, молодых, которые в свою очередь должны были бы сохраниться. Во всяком случае, даже реликты кольцевых валов должны были создать более расчлененный рельеф, чем тот, который мы видим к востоку от Кавказа.



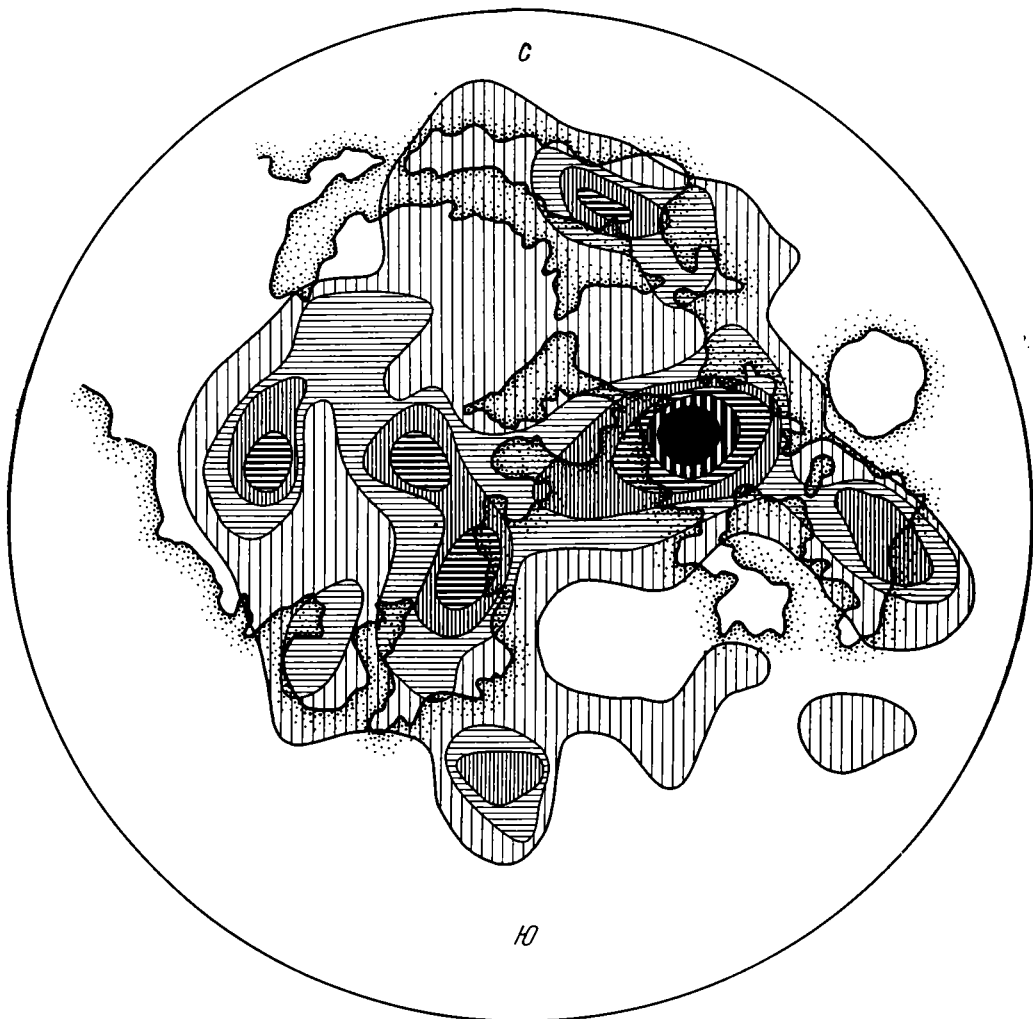
3. Распределение термальных аномалий на поверхности Луны, по Дж. М. Саари и Р. М. Шортхиллу (Saari, Shorthill, 1965)

Точками обозначены локальные увеличения температуры, заштрихованы площади с повышенным температурным фоном.

Цифры на карте:

- | | | |
|-------------------|-----------------------|----------------------|
| 1 — Море Холода; | 6 — Апеннины; | 11 — Алтайские горы; |
| 2 — Альпы; | 7 — Море Паров; | 12 — Море Нектара; |
| 3 — Кавказ; | 8 — Море Спокойствия; | 13 — Море Облаков; |
| 4 — Море Ясности; | 9 — Море Плодородия; | 14 — Море Влажности; |
| 5 — Море Дождей; | 10 — Океан Бурь; | |

Во-вторых, на продолжении зоны крупных разрывов, пересекающих Апеннины, к юго-востоку от них, в районе гор Гем и Моря Паров, видны остатки древних деформированных цирков с разрушенными валами. Если эти цирки сохранились в пределах сильно нарушенной зоны, то нет оснований полагать, что они разрушены рядом, на продолжении той же зоны в Апеннинах.



4. Диаграмма плотности точек с повышенными температурами

Количество точек на единицу площади, % от общего числа:



Тяготение кратеров к отдельным участкам материка (если оно действительно существует) может быть указанием на генетические связи этих структур. Если же дефицит кратеров проявляется только на древних морях, перекрывших материк, то вопрос остается открытым.

Подтверждение специфической природы морей и, вероятно, отличного их глубинного строения получено недавно из другой области. Дж. М. Саари и Р. В. Шортхилл (Saari, Shorthill, 1965) опубликовали схему распределения на поверхности Луны «горячих» точек. Эти точки пред-

ставляют собой температурные аномалии, отмеченные во время затмения Луны. Обычно температурные пики приходится на кратеры и участки вблизи от них, где превышения над общим фоном достигают 20—40° К. Кроме отдельных точек, разбросанных по поверхности, отмечено несколько областей относительно небольшим, но распространяющимся на большие площади повышением температуры. Такие области приурочены к морям и только изредка захватывают небольшие участки на материках. Они образуют широкую полосу, протягивающуюся от западной части Моря Холода через Море Дождей и Океан Бурь до Моря Влажности (рис. 3). Отдельные горячие точки, казалось бы, распространены на поверхности Луны незакономерно. Однако когда мы нанесли 368 таких точек на равноплощадную сетку Шмидта и подсчитали их частоту, то оказалось, что, за исключением района Тихо, области наибольшей плотности этих точек также приурочены к морским районам, располагаясь в Море Спокойствия, Море Плодородия, Море Холода, в северной части Моря Облаков и в Океане Бурь (рис. 4). В общем максимумы плотности объединяются в слабо выраженный субэкваториальный пояс, пересекающий материковые области лишь в районе Моря Паров и Срединного Залива, там, где материк сильно изменен «морскими» процессами. Области наименьшей плотности горячих точек приурочены к материкам, они почти отсутствуют между Морем Нектара и Морем Облаков. Малая плотность по краям лунного диска объясняется, по-видимому, недостатком данных в связи с затрудненными условиями наблюдения.

Существование температурных аномалий можно объяснить тремя причинами. Первое объяснение заключается в том, что во время лунного дня обнаженные породы неравномерно накапливают тепло, получаемое от Солнца: темные морские породы — больше, светлые материковые — меньше. Но в таком случае непонятно, почему 90% «горячих» точек связано со светлыми лучевыми кратерами (Schorhill, Saari, 1965), а повышенный тепловой фон обнаруживают не все моря, а только отдельные их участки.

Второе объяснение предполагает существование на аномальных участках слоя пыли, которая «консервирует накопленное породами тепло». Действительно, путем расчетов можно подобрать такую мощность пылевого покрова, которая бы замедляла остывание поверхности на требуемую величину. Но против такого предположения говорят следующие положения.

1. Отсутствие пылевого покрова в местах посадки автоматических станций «Луна-9» и «Луна-13».

2. Отсутствие аномалий у большого числа сканированных светлых кратеров. Те же, которым свойственны аномальные температуры, расположены закономерно. Почему одни светлые кратеры «запылены», а другие — нет? И почему «запыленные» кратеры сосредоточены в субэкваториальном поясе? Наконец, если запыление характерно для светлых кратеров, то что вызывает площадный тепловой эффект на темных морях?

3. Те же исследователи (Saari, Shorhill, 1964) получили 9 температурных профилей не во время затмения, а для ночной стороны Луны в третьей четверти, от терминатора до лимба. По направлению к краевой части диска, остывающей уже несколько суток, выходящая кривая температуры снижается, приближаясь к постоянной ночной температуре в 120° К. На этом фоне ясно видны повышения температуры в районе кратеров Прокл, Де ля Рю, Лангрэн.

Наконец, следует принять во внимание, что для Луны в целом был определен значительный тепловой поток из ее недр. Так, М. С. Зельцер пишет, что даже если принять ночную температуру Луны за 90°K , «заведомо уменьшая величину излученной энергии», то и в этом случае «ночное излучение трудно объяснить остыванием» (Луна, 1960, гл. V, стр. 201). В работе В. Д. Кротикова и В. С. Троицкого (1963) говорится, что полученное экспериментальное значение собственного излучения Луны равно $1,6 \cdot 10^{19} \text{ кал/год}$. Таким образом, тепловой поток из недр Луны сравним с земным тепловым потоком, а в пересчете на единицу площади, гораздо больше.

Третье возможное объяснение наблюдаемых явлений кажется нам наиболее вероятным. Оно заключается в том, что различия в температурном режиме поверхности Луны следует искать в неравномерном тепловом потоке разных частей ее поверхности. В последнее время и на Земле установлены резкие различия тепловых потоков в разных типах тектонических структур. При одинаковой теплопроводности толщи пород увеличение теплового потока на 15—20% вызовет изменение поверхностной температуры, вполне достаточное для объяснения всех горячих точек Луны. Особенно интересно, что многие аномалии связаны с молодыми кратерами.

Аналогичная картина наблюдается и на Земле, где наибольший тепловой поток связан с молодыми, ныне живущими структурами, часто с активным вулканизмом (Поляк, 1966; Fisher *et al.*, 1964).

Таким образом, есть основания предполагать, что глубинное строение лунных материков и экваториального пояса морей в общем различно. Распределение тепловых аномалий, возможно, говорит о различной эндогенной активности этих структур в настоящее время.

Имеются также существенные отличия в строении морей и кратеров. Мы уже отмечали, что структура многих морей определяется существованием от одной до четырех кольцевых кордильер, которые, несомненно, распознаются как тектонические образования. В то же время для большинства кратеров валы, несомненно, являются насыпными. Только для самых крупных цирков можно предполагать смешанное происхождение вала — и тектоническое, и насыпное.

Моря обрамляются обширными поясами концентрических и радиальных разломов, грабенов, горстов. У цирков, даже самых крупных, радиальные и концентрические структуры за пределами вала выражены чрезвычайно слабо и проявлены чаще всего в цепях кратеров-лунок, происхождение которых еще недостаточно ясно.

В морях наблюдаются структуры, присущие только им, — валы и купола. Если валы подходят к матерiku, они не продолжают на последнем; либо они затухают, либо сменяются на материке разрывами. Если валы расположены концентрически внутри моря и параллельны его обрамлению, то на окружающем материке приблизительно параллельно им прослеживаются трещины, как, например, вокруг Моря Влажности. Те же валы, которые видны внутри крупных цирков, скорее похожи на реликты погребенных линейных структур, они отличаются от типичных морских валов.

Таким образом, моря, материки и кратеры, по-видимому, являются самостоятельными структурами. Участки развития древних морей на материках могут быть в истории Луны переходными от морей к матерiku. Можно предположить, что большая часть поверхности Луны прошла

«морскую» стадию развития. В связи с этим весьма интересным представляется постановка вопроса о строении лунной коры.

Дело в том, что приращение лунной коры может происходить двумя способами. Первый — наложение на поверхность изверженного, выброшенного, излившегося материала. Второй — застывание в глубине интрузий разной степени дифференцированности, корней вулканических аппаратов, гидротермально-метасоматическая переработка пород. Развитие кратеров на морях в послеморские периоды и перекрытие кратерных областей заливами морей — все это приводит к смешанной коре, своеобразному «слоеному пирогу». При этом в одних областях в разрезе преобладают морские комплексы пород, а в других — выбросы из кратеров.

Вопрос заключается в том, можем ли мы сказать что-либо определенное о сходстве или различии состава изверженного вещества морей и кратерных выбросов, принимая во внимание различие в способах их образования. Эти различия сводятся к тому, что в кратерообразовании должны преобладать взрывные и кальдерные процессы, а при формировании морей, по всей вероятности, доминируют площадные (трещинные?) излияния.

В земных условиях «взрывная» способность извержений зависит не только от состава, но и главным образом от содержания газов и воды, от давления и температуры. Строго говоря, лавы базальтового состава могут участвовать в спокойных извержениях щитовых вулканов и в крупнейших взрывах плингианского типа (Заварицкий, 1945; Кеннеди, 1957). Однако в большинстве случаев взрывным типам извержений соответствуют кислые и средние лавы, а площадным излияниям — основные. Среди вулканов центрального типа разнообразие пород гораздо больше, чем среди траппов. Если такие отношения сохраняются на Луне, средний состав всего комплекса наслоений будет различен в морях и на материках. Так же должны быть различны и составы остающихся под вулканами и под морями магматических очагов, и, следовательно, средний состав нижних частей коры морей и материков будет несколько отличаться. Это может усугубляться гидротермальной деятельностью, которая будет неодинаково проявляться в области с обильными разрывами и трещинами (на материках) и в слабо нарушенных областях лунных морей¹.

Как бы ни был решен окончательно в дальнейшем вопрос детализации строения лунной коры, уже сейчас, видимо, можно говорить о существенном отличии от нее земной коры, где отчетливо в процессе геологического развития наблюдаются резкая дифференциация по составу вещества и сосредоточение в верхних ее частях преимущественно кислых дифференциатов. Развитие наших знаний о ходе геологических процессов на Земле показывает, что существенную роль в этом процессе создания верхнего «гранитного» слоя земной коры играет геосинклинальный процесс, приводящий в конечном итоге к созданию складчатых зон на поверхности Земли (Белоусов, 1966; Виноградов, 1959; Магницкий, 1965, и др.). Анализ геолого-морфологических карт показывает, что на поверхности Луны мы не видим аналогичных зон, выраженных сложными складчатыми структурами. Возможно, латеральная однородность лунной коры (несмотря на существующую вертикальную стратификацию с обособлением слоев и линз кратерных и морских комплексов) является одной из причин отсутствия на Луне крупных горизонтальных движений (по крайней мере дока-

¹ Надо подчеркнуть, что все сказанное относится к среднему валовому составу; отдельные ограниченные участки могут быть неразличимыми.

занными для Луны могут считаться пока лишь сравнительно небольшие сдвиги).

Интересно также, что лунные моря тяготеют к дуге большого круга, отклоняющегося от экватора. Возможно, если период вращения Луны был меньше периода обращения, т. е. когда она периодически поворачивалась к Земле и своей «обратной» стороной, — тогда морской пояс протягивался и там, где теперь от него осталась только группа талассоидов обратной стороны. Так или иначе, но образование морей многие связывают с приливными силами, максимальными в экваториальной области. Принимая это положение, мы получаем из него некоторые интересные следствия. Например, трудно предположить, что основной пояс формирования морских впадин сильно смещался в прошлом по отношению к приливному поясу Луны, т. е. к ее экватору. Однако моря распространены довольно широко, доходя до самых полюсов. Значит, приходится допустить, что Луна не только вращается вокруг современной оси (включая и колебания вращения, либрации), существуют еще прецессии оси вращения, когда Луна обращена к Земле то экватором, то околополярной областью. Для решения этого вопроса нужно составить более полное представление о распространенности древних морей.

Все сказанное выше свидетельствует о том, что в процессе изучения Луны одной из важных задач является углубление наших знаний о различиях в поверхностном и глубинном строении наиболее крупных ее структур — лунных морей и материков. Это позволит установить наиболее общие закономерности строения Луны, в дальнейшем поможет решать и некоторые вопросы наземной геологии.

Литература

- Белоусов В. В.
1966. Земная кора и верхняя мантия материков. М., изд-во «Наука».
- Виноградов А. П.
1959. Химическая эволюция Земли. Первое чтение имени В. П. Вернадского. М., Изд-во АН СССР.
- Виноградов А. П., Сурков Ю. А., Чернов Г. М. и др.
1966. Измерения гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна-10». — Геохимия, № 8.
- Заварицкий А. Н.
1945. Некоторые черты новейшей вулканической деятельности Армении. — Изв. АН СССР серия геол., № 1.
- Кеннеди Дж.
1957. О роли воды в магме. — В кн. «Земная кора». М., ИЛ.
- Кротиков В. Д., Троицкий В. С.
1963. Радиоизлучение и природа Луны. — Успехи физ. наук, 31, вып. 4.
Луна (Коллектив авторов под ред. А. В. Маркова). М., Физматгиз, 1960.
- Магницкий В. А.
1965. Внутреннее строение и физика Земли. М., изд-во «Недра».
- Поляк Б. Г.
1966. Геотермические особенности областей современного вулканизма. М., изд-во «Наука».
- Хабаков А. В.
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны. — Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.

Fisher W. A., Moxham R. M., Polcyn F., Landis G. H.

1964. Infrared surveys of Hawaiian volcanoes.— *Science*, 146, N 3645.

Hartmann W. K.

1963. Radial structures surrounding lunar basins.— *Commun. Lunar and Planet. Lab. Univ. Arizona*, 2.

1964. On the distribution of lunar crater diameters.— *Commun. Lunar and Planet. Lab., Univ. Arizona*, 2, N 38.

Kuiper G. P. a. oth.

1960. *Photographic lunar atlas*. Chicago.

Saari J. M., Shorthill R. M.

1964. Lunar temperature programm. Boeing Sci. Res. Lab., August.

1965. Thermal anomalies on the totally eclipsed Moon of December 19, 1964. Boeing Sci. Res. Lab., January.

Schrutka-Rechtenstamm C., Hopmann J.

1958. Die Figur des Mondes. *Z. Akad. Wiss. Math.-naturwiss. Kl., Abt. II*, 67, H. 8—10.

Shoemaker E. M., Hackman R. J.

1962. Stratigraphic basis for a lunar time scale.— In: «The Moon» (*Internat. Astron. Union Moon Sympos.*, N 14, 1960). London — N. Y., Acad. Press.

Shorthill R. W., Saari J. M.

1965. Nonuniform cooling of the eclipsed Moon.— *Science*, 150, N 3693.

Spurr J. E.

1945. *Geology applied to selenology. II. The features of the Moon*. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.

Геологическое сравнение Луны и Земли

В. Г. Трифонов, П. В. Флоренский

Геолого-морфологическое картирование центральной части видимого полушария Луны и анализ рельефа других ее участков показали, что морские и кратерные образования разного возраста, по-видимому, линзовидно чередуются в разрезе. Они слагают весь или почти весь верхний слой Луны толщиной в несколько километров (за исключением, может быть, небольших гипотетических выходов древнейшего субстрата). На глубине покровы и линзы, вероятно, сочетаются с интрузивными образованиями. Простейшие подсчеты, учитывающие размеры, форму кратеров и степень их перекрытия породами морских комплексов, показывают, что в течение каждого достаточно крупного периода развития Луны объем поступавшего на ее поверхность материала «морских» пород превышал объем кратерного материала. Если последовательность и возраст геологических событий оказываются разными в разных частях морей и материков, то в общем строении разреза принципиальных отличий нет.

Геологические представления об относительной однородности верхнего слоя Луны находятся в соответствии с астрономическими и радиоастрономическими данными о свойствах лунной поверхности. Разные участки Луны слабо, сравнительно с земными породами, различаются по светлоте, цвету, изменениям альбедо и степени поляризации с фазой в целом и в разных частях спектра (Барабашов, 1960; Барабашов, Езерский, 1963; Федоренко, 1952; Шаронов, 1960, 1963; см. ст. А. Л. Суханова «Древние моря Луны» в настоящем сборнике). Таким образом, верхний слой Луны представляется латерально более однородным, чем земная кора, различная под материками и океанами. Это позволяет допустить отсутствие значительной глубинной латеральной неоднородности и анизотропии Луны.

На основе данных астрономических измерений и характера залегания пород лунных морей многие современные исследователи считают морские породы лавовыми образованиями, скорее всего, основного состава. По мнению В. В. Шаронова (1960, 1963) и Н. Н. Сытинской (1963), породы лунной поверхности похожи на вулканический шлак, но более вероятно их вторичное образование из коренных пород в результате микрометеоритной

бомбардировки. Н. П. Барабашов (1960, 1963; Барабашов, Чекирда, 1956) приходит к выводу, что по комплексу признаков к лунным породам наиболее близки вулканические образования. Радиометрические наблюдения показали преобладание на Луне пород основного состава (Виноградов и др., 1966)¹.

Сравнение лунных морей с земными вулканическими образованиями (Kuiper a. oth., 1966; Whitaker, 1965) обнаруживает у лунных морей общие черты с областями ареального вулканизма и прежде всего с покровами платобазальтов. Вероятно, комплексы лунных морских пород представляют собой сложное сочетание лавовых потоков, силлов и даек основного состава. Можно думать, что извержения происходили преимущественно из мелких лавовых вулканов, нередко располагавшихся вдоль трещин. Крупные вулканические постройки возникали сравнительно редко (купола, похожие на щитовые вулканы исландского типа). Среди морских валов могут присутствовать структуры облекания даек и вытянутых вдоль трещин лакколитоподобных тел.

По мнению некоторых исследователей (Shoemaker, 1964; Kuiper a. oth., 1966), этот вулканизм инъецировался падением на поверхность Луны крупных космических тел. Важнейшим доказательством тектоно-магматического происхождения лунных морских впадин без его возбуждения падениями крупных метеоритов А. В. Хабаков (1949, 1960) справедливо считает установление длительности развития морских впадин и неоднократного заполнения их все более молодыми комплексами пород.

К числу наиболее длительно развивавшихся структур принадлежит впадина Моря Дождей (см. статью «Объяснительная записка... В. Г. Трифонова в настоящем сборнике). Отдельные ее элементы существовали еще во время накопления небуляриевого комплекса. Современные очертания впадины сформировались к началу алтайского этапа, и по мере накопления алтайского и процелляриевого комплексов происходило ее постепенное погружение. Одновременно с прогибанием впадины вокруг нее воздымались горные массивы, в тыловой части которых возник пояс морских впадин неправильной формы; развивались связанные с Морем Дождей системы материковых разрывов (Sprug, 1945; Fielder, 1961, 1963). Проседание морских впадин, вероятно, было компенсационным и происходило в процессе извержений по мере истощения глубинного магматического бассейна. Существенно, что поверхность морского комплекса чаще всего ниже уровня соседнего материка и лишь иногда близка к нему или возвышается над ним. В земных областях ареального вулканизма обычны обратные соотношения.

Что касается кратеров (диаметром от 6,5 до 200 км), то, как отмечал А. В. Хабаков (1949), аргументами в пользу их вулканического происхождения служат признаки длительного развития и связи с разрывными нарушениями². Многократность проседания дна, по-видимому, отражают некоторые террасообразующие уступы, почти сплошь опоясы-

¹ После подготовки статьи к печати получены прямые доказательства относительной однородности и основного состава пород верхнего слоя Луны. С помощью американских космических аппаратов серии «Сервейер» определено содержание главных химических элементов на поверхности двух разных по строению участков лунных морей и вала кратера Тихо. Все проанализированные породы химически сходны с оливиновыми базальтами. На валу Тихо отмечено пониженное содержание железа.

² А. В. Хабаков (1960) признает бесспорно тектоно-магматическими образованиями 10—20% новейших кольцевых гор Луны.

вающие внутренние склоны на одном гипсометрическом уровне. Вдоль валов некоторых цирков отмечается скопление кратерных цепей. Нередко такие кратерные цепи возникают позже основной стадии становления цирка, отражая заключительные стадии затянувшегося процесса кратерообразования. При описании карт уже приводились примеры связи кратеров с разломами (см. также Хабаков, 1949; Вепеš, 1966).

Свидетельства современной вулканической или поствулканической деятельности в районах лунных кратеров многочисленны, но далеко не всегда надежны.

Наиболее убедительные доказательства представлены Н. А. Козыревым (1963) для кратера Альфонс. Связанные с вулканизмом явления (Марков, 1960) можно предполагать также в Аристархе, Линнее, в районе Гигина и с меньшей уверенностью в некоторых других кратерах (Мессье, Платон, Прокл).

Ряд деталей, указывающих на недавние вулканические процессы, виден на перспективных фотоснимках кратера Коперник (см. рис. 7 к «Объяснительной записке...» П. В. Флоренского). Так, на террасах внутреннего склона кратерного вала различаются темные площадки, похожие на земные лавовые озера, а на крутых склонах террас видны отходящие от этих озер лавовые потоки и лавопады. Пики, возвышающиеся в центре ровного кратерного днища, имеют коническую форму. Вершины некоторых конусов осложнены мелкими кратерами и похожи на земные стратовулканы.

Систематическое сравнение молодых лунных цирков с земными вулканическими образованиями выявляет много общих черт у цирков и у крупных кальдер и вулканотектонических депрессий.

В. И. Влодавец (1954) считает, что оседания и сбросы по круговым разломам, приводящие к образованию кальдеры, свойственны преимущественно той стадии жизни вулканического очага, когда дифференциация магмы приводит ее к кислому составу и, главное, к накоплению огромных количеств газов. Э. Н. Эрлих (1966) приходит к выводу, что образование вулканотектонических депрессий, развитие в них вулканических аппаратов, а также формирование послекальдерных куполов и самостоятельных вулканов с кислым и средним составом извергаемых пород приурочено к определенному этапу вулканического цикла. До этого этапа развивались преимущественно щитовые и близкие к ним вулканы, после него имели место проявления ареального вулканизма. И те и другие питались из общей зоны генерации исходной базальтовой магмы, расположенной в мантии на глубинах 60—200 км, и были продуктами ее нормальной дифференциации. Они имеют базальтовый, андезитобазальтовый, редко более кислый состав. В отличие от них, вулканические образования этапа развития кальдер и вулканотектонических депрессий отклоняются от нормального хода дифференциации магмы и характеризуются повышенным содержанием вулканитов кислого и среднего состава. Э. Н. Эрлих предполагает, что развитию «отклоняющегося» вулканизма предшествует проникновение магмы в пределы коры в виде интрузии, которая и становится питающим очагом вулкана или группы вулканов. Большинство вулканотектонических депрессий геологического прошлого сложено продуктами извержений среднего и кислого состава (Авдеев, 1965; Коптева, 1966, 1968 и др.). А. В. Авдеев и другие авторы отмечают, что под многими из них при глубоком эрозионном срезе вскрываются интрузии. Вероятно, они представляют собой застывшие коровые очаги.

Сопоставление с кальдерами и вулcano-тектоническими депрессиями позволяет предполагать, что лунные цирки вулканического происхождения не были непосредственно связаны с глубинными зонами генерации исходной магмы, вероятно, обусловившими вулканизм лунных морей. Под цирками или группами закономерно сочетающихся цирков, возможно, находились собственные магматические очаги, отделившиеся от основных зон генерации магмы. Особый ход дифференциации магмы в локальном очаге мог привести к обилию газовых выделений, появлению относительно кислых и вязких продуктов вулканизма, внедрению большого числа экструзий. Все это, видимо, и обусловило своеобразный рельеф лунных кратеров, столь отличный от рельефа морских поверхностей.

При всем сходстве земных кальдер и вулcano-тектонических депрессий с лунными цирками последние отличаются одной важной чертой. Почти всегда днище лунного цирка углублено относительно уровня местности вокруг вала, а центральная горка не достигает этого уровня. Таким образом, в цирках проявляется та же особенность вулканического процесса, что и в лунных морях: он приводит к понижению уровня местности. В противоположность этому земные кальдеры и вулcano-тектонические депрессии чаще всего развиваются на положительных вулканических постройках и их поверхности не опускаются ниже основания таких построек; стратовулканы на дне кальдер и депрессий нередко возвышаются над их краями. Можно полагать, что указанные различия вулканических процессов отражают общие различия эволюции верхних оболочек и вещественного баланса Земли и Луны.

Следует отметить еще одно отличие лунных структур от земных. На Земле, покрытой чехлом осадочных пород, значительную роль играют складчатые деформации коры. В верхнем слое Луны ведущее место принадлежит разнообразным разрывным нарушениям. Анализ крупномасштабных фотографий не обнаруживает достоверных дислокаций, которые можно отождествить с полной (по терминологии В. В. Белоусова) складчатостью на Земле, хотя и не исключает развития складок облекания и подобных им образований. Складчатые и разрывные деформации земной коры в значительной мере созданы горизонтальными тектоническими напряжениями и движениями. Вдоль лунных разрывов отмечаются преимущественно вертикальные и близкие к ним перемещения. Амплитуды лунных сдвигов обычно не превышают нескольких километров и лишь в единичных случаях, возможно, достигают 15 км. По-видимому, масштаб горизонтальных тектонических движений на Луне меньше, чем на Земле (Хабакон, 1949, 1960), даже если их сравнивать не по абсолютным величинам, а в отношении к радиусам планет.

С относительной однородностью верхнего слоя Луны и сравнительно слабыми проявлениями горизонтальных движений, вероятно, связана ее латеральная изотропность, и отсюда — широкое развитие изометричных, в частности кольцевых, структурных форм. На Луне отсутствуют или крайне слабо развиты крупные линейные прогибы типа земных геосинклинальных. Основная тенденция развития Луны — последовательное наложение в тех или иных участках поверхности морских впадин и кратеров, причем вещественным продуктам первого процесса, по-видимому, принадлежит главное место в общем объеме образующихся пород.

Земля — самая большая планета земной группы, к которой принадлежат также Меркурий, Марс и Венера. От планет-гигантов (Юпитер, Сатурн, Уран, Нептун) они отличаются малой массой, большой плотно-

стью и близостью к Солнцу. Луна по своим свойствам может быть отнесена к земной группе. Поэтому, сравнивая Луну и Землю, мы сравниваем самое большое и самое маленькое тела земной группы, и можно думать, что свойства трех других планет, промежуточных по величине, можно будет прогнозировать исходя из сравнительного геологического анализа Луны и Земли.

Некоторые параметры Земли и Луны

Характеристика	Земля	Луна	Земля/ Луна	Луна/Земля
Диаметр, км	12755	3476	3,66	0,272
Масса, г	$597,6 \cdot 10^{25}$	$7,33 \cdot 10^{25}$	81,5	0,0123
Объем, см ³	$108,32 \cdot 10^{26}$	$2,21 \cdot 10^{25}$	50	0,02
Поверхность, см ²	$51 \cdot 10^{17}$	$3,8 \cdot 10^{17}$	13,4	0,074
Средняя плотность, г/см ³	5,52	3,35	1,65	0,61
Период обращения вокруг оси	23 час·54 мин 4,1 сек= 86164,1 сек	27 сут 7 час 43 мин 11,5 сек =2360591,5 сек	—	—
Скорость вращения угловая, град/сек	$7,29 \cdot 10^{-5}$	$0,27 \cdot 10^{-5}$	27,3	0,037
Скорость вращения на экваторе, км/сек	0,465	0,00463	101	0,01
Расстояние до Солнца, км	$149,6 \cdot 10^6$	$149,6 \cdot 10^6$	1	1
Период обращения вокруг Солнца, сут	365,25	365,25	1	1
Ускорение силы тяжести, см/сек ²	9,8	1,62	6,05	0,16
Скорость ускользания, км/сек	11,2	2,4	5,7	0,18
Тепловая энергия, поступающая от Солнца, кал/см ² ·мин	2	2	1	1
Сферическое альbedo, %	39	7,3	5,3	0,19
Тепловой поток из недр планеты, кал/см ² ·мин	$4,8-9 \cdot 10^{-5}$	$1,4-2,5 \cdot 10^{-5}$	~2-4	~0,2-0,5

Диаметр Луны составляет лишь четверть (0,272), объем — 0,02, а масса — лишь 0,0123 массы Земли (таблица). Известно (Лукашевич, 1908—1911; Личков, 1960, 1965), что именно величина в значительной степени определяет пути геологического развития небесного тела.

Земля и Луна, вращаясь вместе вокруг Солнца с периодом в год, вращаются и вокруг общего центра тяжести, являясь двойной планетой. Они притягиваются одна к другой и к Солнцу. Однако значение имеет лишь та часть силы притяжения, которая меняется во времени или в пространстве. Период обращения Луны — 27,3 сут. С этим же периодом Луна вращается вокруг собственной оси и поэтому всегда обращена к Земле одной стороной. В результате приливные силы распределены по

Луне всегда почти одинаковым образом, меняясь в основном по величине в зависимости от изменения расстояния между планетами. Период собственного вращения Земли иной — около 24 час, и поэтому распределение приливных сил по поверхности Земли меняется в течение суток. Хотя приливное воздействие Луны на Землю в 22 раза меньше, чем Земли на Луну, в первом случае происходит динамическое (а не статическое, как во втором) распределение сил, порождающее чередующиеся приливы и отливы в твердой, жидкой и воздушной оболочках Земли.

Угловая скорость вращения Луны менее, чем у Земли, в 27,4 раза, а скорость вращения точки, взятой на экваторе, пропорциональная радиусу вращения планеты, различается уже в 100 раз: 0,005 км/сек на Луне и 0,465 км/сек на Земле, т. е. больше скорости звука. Из этого следует, что распределение ротационных сил, связанных с вращением на поверхности обеих планет, различно. Влияние сил Кориолиса и ротационных, более заметных на Земле, несомненно должно сказаться в структурах планет: может быть, именно с этим связана широтная структурная зональность Земли (Личков, 1960; П. В. Флоренский, 1965). Не исключено, что с различием в распределении ротационных сил частично связано то, что на Луне наблюдаются меньшие амплитуды горизонтальных перемещений.

Разница планет по массе, определявшая величину ускорения силы тяжести (g), которая на Луне в 6 раз меньше, чем на Земле, обусловила и различие скорости убегания (критической или параболической скорости). Если для Земли она 11,2 км/сек, то для Луны она лишь 2,4 км/сек. Поэтому при существующих температурах только самые тяжелые газы могут сохраняться некоторое время в сфере притяжения Луны (Сытинская, 1959, 1960), тогда как Земля задерживает и легкие газы, присутствующие в ее атмосфере. Расчеты согласуются с наблюдениями: атмосфера Луны ничтожна и составляет по разным подсчетам 10^{-9} — 10^{-13} плотности земной атмосферы. При этом испарение и дегазация веществ при столь низком вакууме проходят несоизмеримо интенсивнее, чем на Земле. Такая дегазация сопровождается известными на Луне геологическими процессами: извержения вулканов (Козырев, 1963) и падения метеоритов.

Впервые отрицательный материальный баланс лунной поверхности был установлен по снимкам Луны-9 (Первые панорамы..., 1966), на которых видно, как отдельные камни стоят на пьедесталах, напоминая грибообразные образования на тающей поверхности ледника или весеннего снега. Это связывается с разрушающим воздействием на поверхность Луны космического излучения и микрометеоритной бомбардировки. В момент удара метеорита выделяется энергия, которой достаточно для переплавления не только самого метеорита, но и участка падения; массы переплавленного вещества при этом по завышенным, по-видимому, расчетам В. В. Шаронова (1960) могут в 5000 раз превышать массу метеорита. Придавая чрезмерно большое значение метеоритной гипотезе развития поверхности Луны, ряд исследователей (Юри, 1963, и др.) объясняли даже образование гигантских морских проседаний (например, кругового Моря Дождей) падением метеорита и последующим переплавлением громадной зоны лунной коры. Однако существует мнение, что значительная часть и, может быть, почти вся энергия метеоритного удара (Krejci-Graf, 1965) расходовалась на механические деформации, а масса переплавленного вещества незначительна. Скорость разлетающихся при ударе осколков может превышать параболическую, и некоторые из них могут удалиться в космическое пространство (О'Киф, 1966). Вероятно, все же, что при ударе

метеорита вещество частично испаряется и дегазирует. К. П. Флоренский (1965) показал, что длительная и интенсивная метеоритная бомбардировка планеты может привести к значительному изменению состава и структуры слагающих ее пород. В конечном случае она может, по его расчетам, привести к образованию первичнослойной литосферы, а также гидросферы и атмосферы. На Земле, вероятно, почти все вещество метеорита остается рассеянным в ее атмосфере, гидросфере и литосфере.

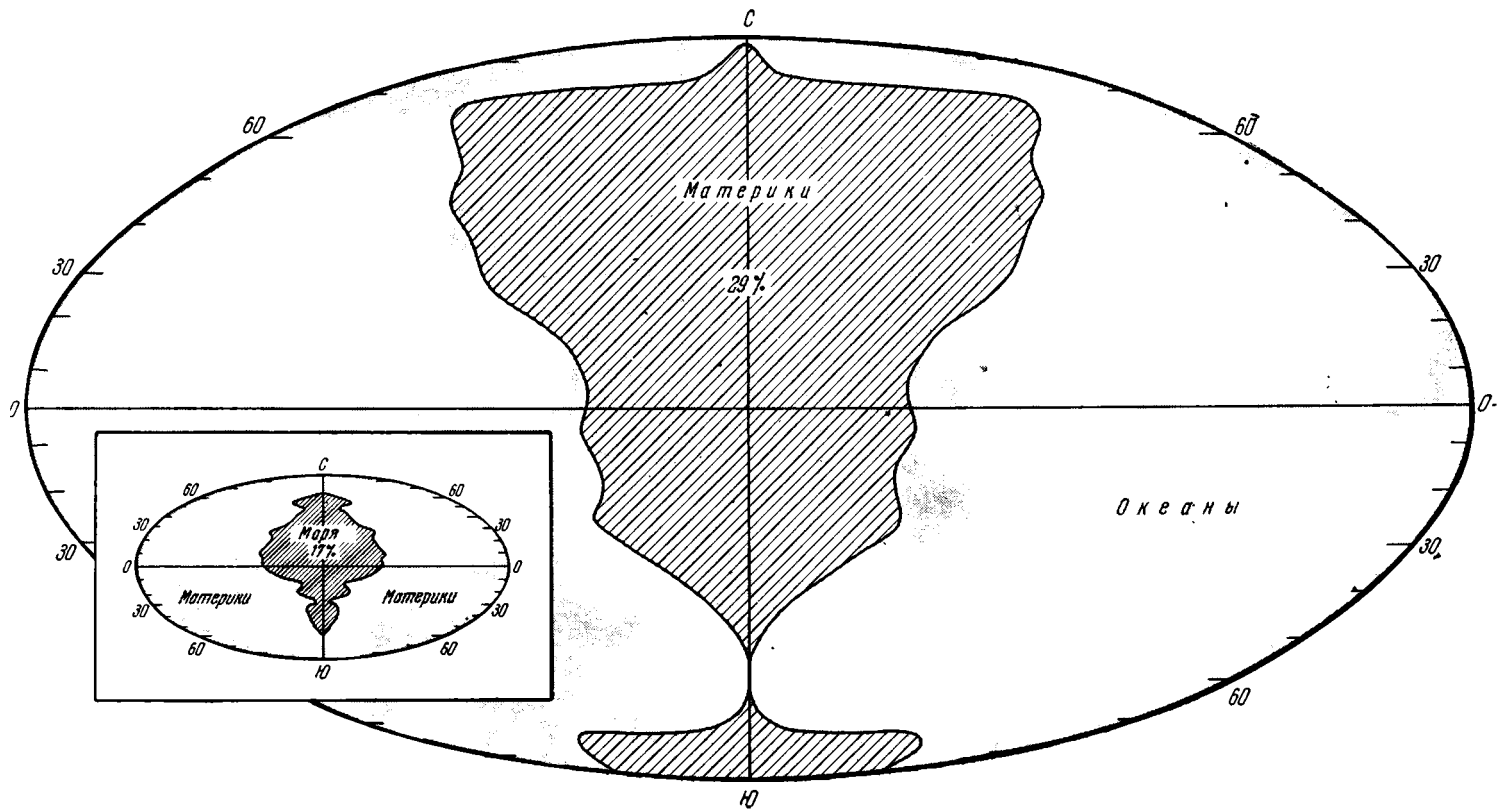
При вулканических процессах, играющих, по-видимому, большую роль в жизни Луны, также, вероятно, происходит потеря вещества. Температура расплавленной лавы достигает 900—1200 °С (Ритман, 1964); при такой температуре в лунном вакууме испаряются даже некоторые нелетучие на Земле вещества. Выделившиеся во время извержения и потом — при излиянии — газы не могут быть удержаны притяжением Луны и безвозвратно теряются в космическом пространстве. Примерно то же происходит и при извержении вулканов на Земле, но, вероятно, дегазация здесь менее интенсивна и, что главное, газы выделяются в атмосферу, и Земля их не теряет.

При переплавлении и дегазации масса вещества уменьшается, но происходит обогащение его тяжелыми элементами и, возможно, несколько возрастает плотность. Процесс этот охватывает не только поверхность Луны, но и весь верхний слой, прошедший стадию изменения, мощность которого достигает первых километров.

Таким образом, одна из вероятных тенденций развития лунной коры — последовательное и, видимо, неоднократное переплавление ее вещества, сопровождающееся некоторой дегазацией и, возможно, возрастанием плотности пород. При этом масса вещества, теряемого Луной в процессе геологического развития, по-видимому, больше массы вещества, приобретаемого ею из космоса. Поэтому баланс вещества Луны или, точнее, ее верхних оболочек отрицательный (Первые панорамы..., 1966).

Земля удерживает около себя мощный слой гидро- и атмосферы: в атмосферу выделяются газы при извержениях вулканов; метеориты и мелкая космическая пыль, попадая в атмосферу, переплавляются или сгорают, и их вещество тоже остается в сфере притяжения Земли. Таким образом, на Земле в целом, в противоположность Луне, нет или почти нет отрицательного баланса вещества.

На поверхности литосферы Земли, в зоне ее динамического равновесия с гидросферой и атмосферой, происходят те процессы, которые коренным образом преобразуют ее поверхность (Вернадский, 1945). И хотя проявления магматизма, в общих чертах сходные на обеих планетах, на Земле распространены не меньше, чем на Луне, относительная роль магматизма по сравнению с осадочным процессом как в материальном, так и в энергетическом балансе Земли значительно меньше. Магматические породы на поверхности Земли подвергаются в ходе осадочного процесса разрушению, перераспределению. За их счет частично формируется осадочная оболочка Земли. Эти процессы сопровождаются дальнейшей химической дифференциацией вещества. Осадочные породы отличаются несоизмеримо более разнообразным химическим составом, чем магматические (Пустовалов, 1940). В ходе осадочного процесса литосфера, реагируя с гидро- и атмосферой, становится легче благодаря образованию менее плотных осадочных пород. Таким образом, одна из тенденций развития поверхности Земли — химическое и физическое разделение ее вещества по разрезу и по площади с образованием оболочек, сложенных осадочными,



Распределение по широтам основных структур планет

1 — океаны и континенты на Земле, по Я. Я. Гаккелю (взято у Г. Н. Каттерфельда, 1962);

2 — морские и материковые площади на Луне (построил П. В. Флоренский).

Обе схемы даны в одном масштабе

метаморфическими и магматическими породами, более легкими, чем исходные породы основного состава. При этом изменения плотности пород поверхностного слоя мощностью в несколько километров направлены на Земле в сторону разуплотнения, т. е. в противоположном, чем на Луне, направлении.

Распределение и преобразование вещества планеты сопровождается перераспределением энергии, разнообразной и по происхождению и по характеру проявления. Поэтому для выяснения тенденции развития планеты велико значение и энергетического баланса.

И Луна и Земля получают на единицу поверхности одно и то же количество солнечного тепла — $2 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$. Именно солнечная радиационная энергия и является основной положительной составляющей энергетического баланса (Флоренский, 1925; Будыко, 1956; Атлас..., 1963; Перрен де Бришамбо, 1966; Магницкий, 1965; Берч, 1966). Тепловой поток, идущий из недр планеты, по величине составляет лишь ничтожную часть этой цифры. Попадая на Луну, солнечная энергия делится на две части: меньшая из них (0,072) отражается (Сытинская, 1959, 1960; Барабанов, 1960; Фирсов, 1966, и др.), а большая идет на обогрев поверхности. Температура поверхности растет до тех пор, пока ее собственное излучение не уравнивает поступающее тепло. Если взять нормально ориентированную к солнечным лучам условную абсолютно черную площадку, то она нагреется на поверхности Луны только до 277° К . После этого она будет излучать столько же тепла, сколько и получать (Ashly, 1966, и др.). Такие «ежедневные» нагрев и охлаждение не вызывают сколько-нибудь существенных изменений далее определенной глубины и, по-видимому, с течением времени мало изменяют структуру поверхности Луны.

Наблюдения за охлаждением Луны и связанные с ними расчеты показали, что количество тепла, излучаемого в течение лунной ночи, превышает количество тепла, которое сохранилось после нагрева за лунный день. Возможно, что это дополнительное тепло — эндогенное и идет из недр Луны. Впрочем, следует оговориться, что тепловой поток есть лишь избыточная, по-видимому, довольно незначительная часть эндогенной энергии. Сейчас трудно говорить, какая часть ее остается в недрах планеты, фиксируясь в различных необратимых геологических процессах (главным образом магматизме и тектонике), ибо эндогенные силы, несмотря на свою относительно малую величину, имеют очень большое значение в развитии планет.

Итак, Луна не только не способна удерживать полученную ею от Солнца энергию, но и теряет какую-то часть тепла, идущего из ее недр, излучая его в космос. На Луне отрицательны и материальный, и тепловой балансы.

На Земле, имеющей гидро- и атмосферу, тепловая энергия распределяется совершенно иначе (Будыко, 1956; Атлас..., 1963; Перрен де Бришамбо, 1966). Благодаря в основном облакам Земля отражает 39% солнечного тепла, т. е. в несколько раз больше, чем Луна. Остальное тепло проникает сквозь атмосферу и в результате около 30% его достигает границы литосферы и гидросферы с атмосферой. В этой зоне динамического равновесия происходят основные энергетические процессы, преобразующие поверхность Земли: нагрев воздуха, испарение воды, перенос их, образование осадочных пород, поддержание жизни, т. е. те процессы, которые столь быстро и глубоко преобразуют поверхность и верхние зоны планеты. Обычно при расчетах теплового баланса принимают (Будыко, 1956; Пер-

рен де Бришамбо, 1966, и др.), что все поглощенное тепло уходит обратно в космос с тепловым излучением. Однако часть его, составляющая единицы, а может быть лишь доли процента, несомненно, фиксируется на Земле в перемещении литосферы, в процессе формирования осадочных пород, хранящих также и в своей химической и кристаллической структуре часть солнечной энергии (Белов, 1952; Лебедев, 1957). Процессы фотосинтеза поглощают (Ничипорович, 1963) до 0,3% тепла, а в отдельных особенно продуктивных районах — до 5%. Количество эндогенного тепла, достигающего поверхности Земли, конечно, менее значительно: оно составляет лишь $4,8—9,0 \cdot 10^{-5}$ кал/см²·мин (Любимова, 1966); эндогенная энергия, как и на Луне, в значительной степени расходуется на геологические явления — извержения вулканов, тектонические процессы и т. д. Итак, Земля в противоположность Луне усваивает извне не только вещество, но и тепловую энергию.

Таким образом, из анализа условий геологического развития Земли и Луны видно, что это два тела земной группы с принципиально разными путями развития. Луна, как и Земля, геологически развивается и живет, но в своем направлении, свойственном телам меньшего размера, и поэтому неправильно видеть на Луне черты геологии, присущие Земле даже в первое время ее геологической истории.

Тенденция развития лунной поверхности — постепенная дегазация планеты (происходящая благодаря извержению магмы и космической бомбардировке) и постепенное выделение внутреннего тепла. Наиболее далеко продвинулись в этом направлении лунные моря. При этом они отвечают гигантским по площади понижениям, а если допустить, что при образовании крупных структур возможны явления изостазии, то можно думать, что морские породы в среднем более плотные, чем породы материков. Если же учесть, что моря, по-видимому, заложились в весьма раннее время и развивались унаследованно, то высказанное предположение справедливо для большого отрезка геологической истории Луны. Большая часть морей на Луне сосредоточена в северном полушарии, т. е. наблюдается довольно отчетливая полярная асимметрия (рисунок).

Тенденция развития литосферы Земли — ее дифференциация и появление слоистых, осадочных и метаморфических пород пониженной плотности, на образование которых расходуется солнечная энергия. На Земле наиболее прогрессировавшие породы — наиболее легкие, и поэтому сложенные ими зоны (континенты) отличаются положительным рельефом от океанов, контуры которых приблизительно совпадают с областями отсутствия гранитного слоя и изостатически прогнуты. Среди континентов горные области часто соответствуют складчатым зонам и отличаются наиболее мощным слоем осадочно-метаморфических пород. Континенты на Земле также расположены в основном в северном полушарии (см. рисунок). Величина полярной асимметрии как на Земле, так и на Луне достаточно велика, чтобы ее нельзя было считать случайной. Таким образом, хотя тенденция развития Земли и Луны различна, однако в пространственном планетарном распределении наиболее развившихся зон у обеих планет наблюдается сходство.

Литература

Авдеев А. В.

1965. О кольцевых структурах магматических комплексов.— Сов. геол., № 10.

Атлас теплового баланса земного шара. Под ред. М. И. Будыко. Изд. Межвед. геофиз. комитета при Президиуме АН СССР. М., 1963.

Барабашов Н. П.

1960. Альbedo и цвет лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

1963. О горных породах, которые могут входить в состав лунной поверхности.— В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.

Барабашов Н. П., Езерский В. И.

1963. О фотометрической однородности лунной поверхности.— В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.

Барабашов Н. П., Чекирда А. Г.

1956. Сравнение цвета и коэффициентов яркости участков лунной поверхности с некоторыми земными горными породами.— Цирк. Астроном. обсерв. Харьков. ун-та, № 15.

Белов Н. В.

1952. Геохимические аккумуляторы.— Труды Ин-та кристаллогр. АН СССР, 6.

Берч Ф.

1966. Обзор некоторых теорий термальной истории Земли.— Изв. АН СССР, серия геол., № 1.

Будыко М. И.

1956. Тепловой баланс земной поверхности. Л., Гидрометеиздат.

Вернадский В. И.

1965. Химическое строение биосферы Земли и ее окружения. М., изд-во «Наука».

Виноградов А. П., Сурков Ю. А., Чернов Г. М. и др.

1966. Измерения гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна-10». — Геохимия, № 8.

Влодавец В. И.

1954. О вулканической тектонике.— Бюлл. вулканолог. станции АН СССР, № 23.

Грин Дж.

1963. Геологические науки в применении к исследованиям Луны.— В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.

Каттерфельд Г. Н.

1962. Лик Земли. М., Географгиз.

Козырев Н. А.

1963. Спектральные доказательства существования вулканических процессов на Луне.— В кн. «Новое о Луне». М.—Л., Изд-во АН СССР.

Коптева В. В.

1966. О роли рвущих вулканических образований в строении вулканотектонической депрессии гор Чубарайтыр.— Бюлл. Моск. об-ва испыт. природы, отд. геол., 41, вып. 6.

1968. Образование и строение кальдеры верхнепалеозойского вулкана Огузтау (Центральный Казахстан).— Изв. АН СССР, серия геол., № 2.

Лебедев В. И.

1957. Основы энергетического анализа геохимических процессов. Л., Изд-во ЛГУ.

Лячков Б. Л.

1960. Природные воды Земли и литосфера.— Зап. Геогр. об-ва СССР, нов. серия, 19.

1965. К основам современной теории Земли. Л., Изд-во ЛГУ.

Лукашевич И. Д.

1908, 1909, 1911. Неорганическая жизнь Земли, ч. 1—3. СПб.

Любимова Е. А.

1966. Обзор состояния геотермических исследований по определению теплового потока.— В кн. «Геотермические исследования и использование тепла Земли». М., изд-во «Наука».

Магницкий В. А.

1965. Внутреннее строение и физика Земли. М., изд-во «Недра».

Марков А. В.

1960. Описание лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.

Ничипорович А. А.

1963. Предисловие.— В кн. «Фотосинтез и вопросы продуктивности роста растений». М., Изд-во АН СССР.

- О'Киф Дж.**
1966. Происхождение тектитов.— В кн. «Тектиты». М., изд-во «Мир».
- Первые панорамы лунной поверхности.** М., изд-во «Наука», 1966.
- Перрен де Бришамбо Ш.**
1966. Солнечное излучение и радиационный обмен в атмосфере. М., изд-во «Мир».
- Пуствовалов Л. В.**
1940. Петрография осадочных пород. Ч. 1, 2. М.— Л., Гостоптехиздат.
- Ритман А.**
1964. Вулканы и их деятельность. М., изд-во «Мир».
- Сытинская П. Н.**
1959. Природа Луны.] М., Физматгиз.
1960. Проблема атмосферы Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
1963. Метеоритно-шлаковая теория лунной поверхности.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Федорев В. А.**
1952. Фотографическая фотометрия лунной поверхности.— Уч. зап. Харьков. ун-та, 42, № 49.
- Фирсов В. А.**
1966. Жизнь вне Земли. М., изд-во «Мир».
- Флоренский К. П.**
1965. О начальном этапе дифференциации вещества Земли.— Геохимия, № 8.
- Флоренский П. А.**
1925. Запасы мировой энергии. Электрификация, 3, № 1.
- Флоренский П. В.**
1965. О палеозональности геологической структуры Земли.— В кн. «Тезисы докладов V совещания по проблемам планетологии». Л., Изд. Геогр. об-ва СССР.
- Хабаков А. В.**
1949. Об основных вопросах истории развития поверхности Луны.— Зап. Всес. геогр. об-ва, нов. серия, 6.
1960. Характерные особенности рельефа Луны.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
- Шаронов В. В.**
1960. Природа лунной поверхности.— В кн. «Луна». М., Физматгиз.
1963. Микрорельеф лунной поверхности и вероятные пути его образования.— В кн. «Новое о Луне». М.— Л., Изд-во АН СССР.
- Эрлих Э. Н.**
1966. Пути дифференциации магмы вулканов мантийного питания и типичные случаи отклонения от них.— В кн. «Петрохимия кайнозойской Курило-Камчатской вулканической провинции». М., изд-во «Наука».
- Юри К. Х.**
1963. Происхождение Луны в связи с происхождением солнечной системы.— В кн. «Новое о Луне». М., Изд-во АН СССР.
- Ashly N.**
1966. Energy balance on the lunar surface.— Publ. Astron. Soc. Pacif., 78, N 462.
- Beneš K.**
1966. Tektonicka situace mesiznich struktur Ptolemacus—Alphonsus a jejich okoli.— Vestn. Ustred ustava geol., 41, N 1—6.
- Fielder G.**
1961. Structure of the Moon's surface. London, Pergamon Press.
1963. Lunar tectonic.— Quart. J. Geol. Soc. London, 119, N 1.
- Krejci-Graf K.**
1965. Interpretation of lunar surface features.— Ann. N. Y. Acad. Sci., 123, N 2.
- Kuiper G. P. a. oth.**
1966. Interpretation of the Ranger Records. Ranger VIII and IX. Technical Rept. Pt II. Pasadena, California.
- Shoemaker E. M.**
1964. The geology of the Moon.— Scient. Amer., 211, N 6.
- Spurr J. E.**
1945. Geology applied to selenology. II. The features of the Moon. Lancaster, Pennsylvania, Sci. Press.
- Whitaker E. A.**
1965. The surface of the Moon.— In: The nature of the lunar surface. IAU-NASA Sympos., Baltimore, 1965.

Содержание

Введение. <i>М. С. Марков</i>	5
Методика составления и легенда геолого-морфологических карт Луны масштаба 1 : 1 000 000. <i>А. Л. Суханов, В. Г. Трифонов</i>	11
О мощности пород процелляриевого комплекса. <i>А. Л. Суханов, Л. М. Шкерин</i>	37
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам южной части Моря Дождей, кратера Коперник и его окрестностей (листы LAC-40, 58). <i>П. В. Флоренский</i>	46
Объяснительная записка к геолого-морфологической карте северной части Моря Облаков (лист LAC-76). <i>М. С. Марков</i>	57
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района цирков Теофил и Птолемей (листы LAC-77, 78). <i>А. Л. Суханов.</i>	71
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района кратера Архимед, гор Апеннины и Гем (листы LAC-41, 59, 60). <i>В. Г. Трифонов.</i>	91
Древние моря Луны. <i>А. Л. Суханов.</i>	147
Об особенностях образования лавовых покровов на Луне. <i>А. М. Гуткин, Ц. М. Райтбурд, М. В. Слонимская, Н. Г. Сушкин, И. А. Фомина.</i>	165
Некоторые особенности мелких кратеров Луны. <i>А. Л. Суханов.</i>	188
Неравномерное распределение кольцевых структур Луны по их диаметрам <i>П. В. Флоренский, Е. И. Забелин, С. В. Мочалов, Ю. Г. Пименов.</i>	206
Сравнение форм лунного рельефа с земными вулканическими образованиями. <i>В. Г. Трифонов.</i>	229
Вулканические гребни на Луне. <i>А. Л. Суханов.</i>	244
Некоторые общие закономерности развития структур Луны и особенности ее геологической истории. <i>М. С. Марков, А. Л. Суханов.</i>	262
Геологическое сравнение Луны и Земли. <i>В. Г. Трифонов, П. В. Флоренский.</i>	274

Contents

Introduction. <i>M. S. Markov</i>	<u>5</u>
Technique of mapping and a legend for geologic-physiographic maps of the Moon on a scale of 1 : 1 000 000. <i>A. L. Sukhanov, V. G. Trifonov.</i>	<u>11</u>
About thickness of the Procellarian complex. <i>A. L. Sukhanov, L. M. Shkerin.</i>	<u>37</u>
Explanatory notes to the geologicphysiographic maps of the southern part of Mare Imbrium, Copernicus and its vicinity (sheets LAC-40, 58). <i>P. V. Florensky.</i>	<u>46</u>
Explanatory notes to the geologic-physiographic map of the northern part of Mare Nubium (sheet LAC-76). <i>M. S. Markov.</i>	<u>57</u>
Explanatory notes to the geologic-physiographic maps of the Theophilus and Ptolemaeus region (sheets LAC-77, 78). <i>A. L. Sukhanov.</i>	<u>71</u>
Explanatory notes to the geologic-physiographic maps of the Archimedes, Apennines and Haemus region (sheets LAC-41, 59, 60). <i>V. G. Trifonov.</i>	<u>91</u>
Old seas of the Moon. <i>A. L. Sukhanov.</i>	<u>147</u>
About peculiarities of lava-sheet formation on the Moon. <i>A. M. Gutkin, Ts. M. Raytburd, M. V. Slonimskaya, N. G. Sushkin, I. A. Fomina.</i>	<u>165</u>
Some peculiarities of small craters of the Moon. <i>A. L. Sukhanov.</i>	<u>188</u>
An irregular size-frequency distribution of ring structures of the Moon. <i>P. V. Florensky, E. I. Zabelin, S. V. Mochalov, Yu. G. Pimenov.</i>	<u>206</u>
A comparison of the lunar topography and Earth's volcanic formations. <i>V. G. Trifonov.</i>	<u>229</u>
Volcanical ridges on the Moon. <i>A. L. Sukhanov.</i>	<u>244</u>
Some general regularities in the development of the Moon's structures and peculiarities of its geological history. <i>M. S. Markov, A. L. Sukhanov.</i>	<u>262</u>
Geological comparison of the Moon and the Earth. <i>V. G. Trifonov, P. V. Florensky.</i>	<u>274</u>

УДК 523.34.

Методика составления и легенда геолого-морфологических карт Луны масштаба 1 : 1 000 000. Суханов А. Л., Трифанов В. Г. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 11—36

На картах показано распространение разновозрастных комплексов пород по площади и разрывные нарушения. Комплексы разделяются по яркости, степени изрытости, количеству разрывов и по относительной высоте. Их взаимоотношения устанавливаются в стратиграфических участках, где породы одного комплекса перекрывают кратеры и системы разрывов другого, образуя «ингрессивные» контакты. Корреляция между стратотипами обеспечивается непрерывным прослеживанием комплексов от одного участка к другому. Авторы считают, что внекратерные материковые комплексы сложены преимущественно породами древних морей, впоследствии переработанными и осветленными. Выделены три возрастные системы: а) нижняя — древнейший, небуляриевый и гиппархские комплексы; б) средняя — алтайский и птолемеевский комплексы; в) верхняя — процелляриевый, эратосфенский и коперниковский комплексы и самые молодые морские породы. Предположительно выделены медийский (верхнеалтайский) и архимедовский (нижнеэратосфенский) подкомплексы.

Табл. 1. Библ. 13 назв. Илл. 15.

УДК 523.34.

О мощности пород процелляриевого комплекса. Суханов А. Л., Шкерин Л. М. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 37—45

Уточняется методика оценки мощностей морских пород, предложенная К. Х. Маршаллом. Как показывают диаграммы «глубина — диаметр» для кратеров разных возрастов, мощность процелляриевого комплекса должна быть снижена за счет перекрытия древних кратеров и межкратерных пространств породами древних морей. Приводятся карты-схемы мощности процеллярия для районов Летронне и Моря Познанного.

Библ. 5 назв. Илл. 7.

УДК 523.34.

Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам южной части моря Дождей, кратера Коперник и его окрестностей (листы LAC-40, 58). Флоренский П. В. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 46—56

Прослеживается распространение в данном районе стратиграфических комплексов, выделенных в центральных частях диска. Отмечается связь новейших морских пород с куполами. Вокруг цирка Коперник предполагается концентрическая структура радиусом около 180 км, маркируемая концентрическими либо радиальными рядами лунок и выходами основания. Показаны ориентированные и дисперсные лучевые системы.

Библ. 21 назв. Илл. 6.

УДК 523.34.

Объяснительная записка к геолого-морфологической карте северной части Моря Облаков (лист LAC-76). Марков М. С. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 57—70

Составлена геолого-морфологическая карта листа LAC-76, в пределах которого выделено девять разновозрастных комплексов горных пород: древнейшие образования, породы небуляриевого комплекса, гиппархские кратерные образования, породы алтайского комплекса, птолемеевские кратерные образования, породы процелляриевого комплекса, эратосфенские и коперниковские кратерные образования и отложения молодого морского комплекса. Рассмотрены особенности их дешифрирования и характер слагаемого ими рельефа.

Библ. 8 назв. Илл. 8.

УДК 523.34.

Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района цирков Теофила и Птолемея (листы LAC-77, 78). Суханов А. Л. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 71—90

Описываются взаимоотношения и распространение различных возрастных образований района и его тектоника. Отмечено наличие древнейших пород вдоль Алтайской кордильеры. Прогреты, выполненные алтайскими образованиями, имеют тенденцию к удлинению на северо-запад согласно общему направлению разрывов. Это говорит о длительном развитии разрывов. Розы-диаграммы показывают направления разрывов: а) на север и северо-восток — древние; б) на северо-запад и север-северо-запад — древние и молодые, в общем сходящиеся к Мрию Дождей. Предполагается экстрозивное происхождение валов Птолемея и Альфонса. Валы Аль-Баттани перекрывают небольшие древние кратеры. Предлагается разделять птолемеевские кратеры на две возрастные группы.

Библ. 21 назв. Илл. 16.

УДК 523.34.

Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района кратера Архимед, гор Апеннины и Гем (листы LAC-41, 59, 60).

Трифанов В. Г. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 91—146

Описываются комплексы пород, развитые в указанном районе, их стратиграфические соотношения и структурные формы. Основные выводы и предположения следующие. 1. Длительность и многостадийность развития впадины Моря Дождей и обрамляющих ее структур.

2. Разнообразие происхождения разрывов; связь многих из них с формированием морей и кратеров; длительность развития некоторых разрывов; наличие сдвиговых смещений по северо-западным разрывам. 3. Существование уровней рельефа (иногда искривленных), соответствующих выходам каждого внекратерного комплекса.

Табл. 3. Библ. 44 назв. Илл. 30.

УДК 523.34.

Древние моря Луны. Суханов А. Л. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 147—164

Не менее половины поверхности материков видимого полушария сложено древними морскими породами (эффузивами); они же заполняют талассоиды обратной стороны. Яркость участков лунной поверхности зависит не от состава пород, а от времени экспозиции. Интегральная яркость материков устанавливается за счет динамического равновесия следующих процессов: 1) осветления при разрушении темной шлаковой корки лав и ее перекрытии выбросами; 2) потемнения под действием облучения и за счет накопления пыли и продуктов возгонки.

Библ. 45 назв. Илл. 7.

УДК 529.34—523.36

Об особенностях образования лавовых покровов на Луне. Гуткин А. М., Райтбурд Ц. М., Слонимская М. В., Сушкин Н. Г., Фомина И. А. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 165—187

Проведено приближенное теоретическое рассмотрение особенностей образования лавовых покровов на Луне, основанное на изучении роли вакуума и меньшей гравитации в формировании лунных лавовых покровов базальтового состава в процессе охлаждения. Показано, что испарение (кипение) вещества лавы на Луне играет существенную роль в процессе охлаждения лавы и что вероятность образования пористой корки на лавовых покровах на Луне больше, чем на Земле, и может распространяться на большие глубины. Показано, что благодаря формированию подкорового слоя в режиме медленного охлаждения можно ожидать образования полнокристаллических изверженных пород. При этом за счет селективного испарения возможно минералообразование, отличное от имеющего место на Земле.

Показано, что большинство процессов, происходящих при образовании лавового покрова на Луне, поддается моделированию в земных лабораторных установках.

Табл. 4. Библ. 23 назв. Илл. 7.

УДК 523.34.

Некоторые особенности мелких кратеров Луны. Суханов А. Л. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 188—205

Кратерами-лунками следует называть образования диаметром от 0,5—0,7 до 5—7 км. Особенности их распределения позволяют отнести многие лунки к эндогенным, в том числе часть лунок вокруг крупных молодых кратеров. Большие размеры лунок по сравнению с земными маарами объясняются пониженной силой тяжести и соответственно большим объемом взрываемых пород. Глубина лунок (от десятков до сотен метров) приблизительно соответствует мощности лунных лавовых покровов, бронирующих газоподводящие каналы. Лунки диаметром менее 15—30 м могут возникать за счет кипения лавовых потоков, их глубина (5—10 м) сравнима с мощностью поверхностной шлаковой корки.

Библ. 30 назв. Илл. 10.

УДК 523.34.

Неравномерное распределение кольцевых структур Луны по их диаметрам. Флоренский И. П. В., Забелин Е. И., Мочалов С. В., Пименов Ю. Г. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 206—228

График «количество кратеров — диаметр кратеров», построенный с малым интервалом группирования по 4000 объектам, имеет ритмичные отклонения от средней кривой, описывающиеся асимметричной косинусоидой. Максимумы косинусоиды приходятся на 3 интервала величин: 200 км — 6,5 км (кратеры), 6,5 км — 30 м (лунки), 30 м — 10 см (воронки и ямки), что отражает генетическое различие этих структур. Более мелкие колебания, также описывающиеся косинусоидой, достоверны для крупных структур и, вероятно, зависят от периодов собственных колебаний Луны.

Табл. 1. Библ. 73 назв. Илл. 8.

УДК 523.34.

Сравнение форм лунного рельефа с земными вулканическими образованиями. В. Г. Трифонов. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 229—243

Приводятся классификация и краткая характеристика земных вулканических построек. Сравняются кратеры, кальдеры и вулкано-тектонические депрессии с лунными кратерами и цирками, а области ареального вулканизма Земли (плато-базальты и др.) — с лунными морями. Наиболее вероятным считается вулканическое происхождение многих форм лунного рельефа. Отмечается специфичность некоторых структурных проявлений лунного вулканизма.

Библ. 46 назв. Илл. 6.

УДК 523.34.

Вулканические гребни на Луне. Суханов А. Л. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 244—261

Среди положительных линейных форм Луны выделяются следующие образования. I. Тектонические гребни (перекосы, горсты), останцы между параллельными сбросами. II. Гребни, являющиеся обрамлением кратерных борозд, слившиеся валы кратерных цепей, насыпные валы вулканических рвов, останцы фундамента между параллельными рвами. III. Валы и гребни, возникающие в результате нагромождения продуктов линейного вулканизма, т. е. ряды центральных, щитовых и стратовулканов, вулканические хребты, эффузивно-экструзивные валы и смешанные образования. Сюда входят гребни, секущие кратерные валы, причленяющиеся к этим валам, и центральные валы цирков. Предполагается, что сходное происхождение имеют некоторые кольцевые валы. Отдельные самостоятельные холмы и горы рассматриваются как центральные стратовулканы.

Библ. 28 назв. Илл. 10.

УДК 523.3.

Некоторые общие закономерности развития структур Луны и особенности ее геологической истории. Марков М. С., Суханов А. Л. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 262—273

При общей однородности лунной коры между морями и материками существуют различия в структуре, высотах и в распределении по поверхности. Плотность кратеров, вычисленная при помощи равноплощадной сетки, увеличивается с удалением от морей. Температурные аномалии, наоборот, имеют тенденцию к концентрации вдоль морского пояса; они могут свидетельствовать о различии теплового потока из недр Луны. Вероятно, валовой состав пород морей и материков несколько различен.

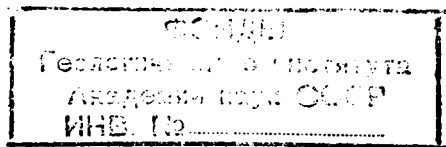
Библ. 20 назв. Илл. 4.

УДК 523.34 : 525.

Геологическое сравнение Луны и Земли. Трифонов В. Г., Флоренский П. В. «Проблемы геологии Луны». Труды ГИН, вып. 204, стр. 274—285

Суммируются общие результаты работ по картированию лунной поверхности. Верхний слой Луны (глубиной в несколько километров) относительно однороден и состоит из чередующихся линз кратерного и морского вещества с преобладанием последнего. Многие формы рельефа имеют вулканическое происхождение. Отмечается меньшее, чем на Земле, горизонтальное перемещение вещества, отсутствие свидетельств геосинклинального процесса и складчатости. Геологические особенности Луны в сравнении с Землей зависят от различий планет в массе, объеме, плотности, силе тяжести, скорости вращения, энергетическом и вещественном балансе. Обращается внимание на одинаковое антиподальное распределение океанов и континентов Земли и материков и морей Луны.

Табл. 1. Библ. 53 назв. Илл. 1.



Проблемы геологии Луны

(Труды ГИН, вып. 204)

Приложения

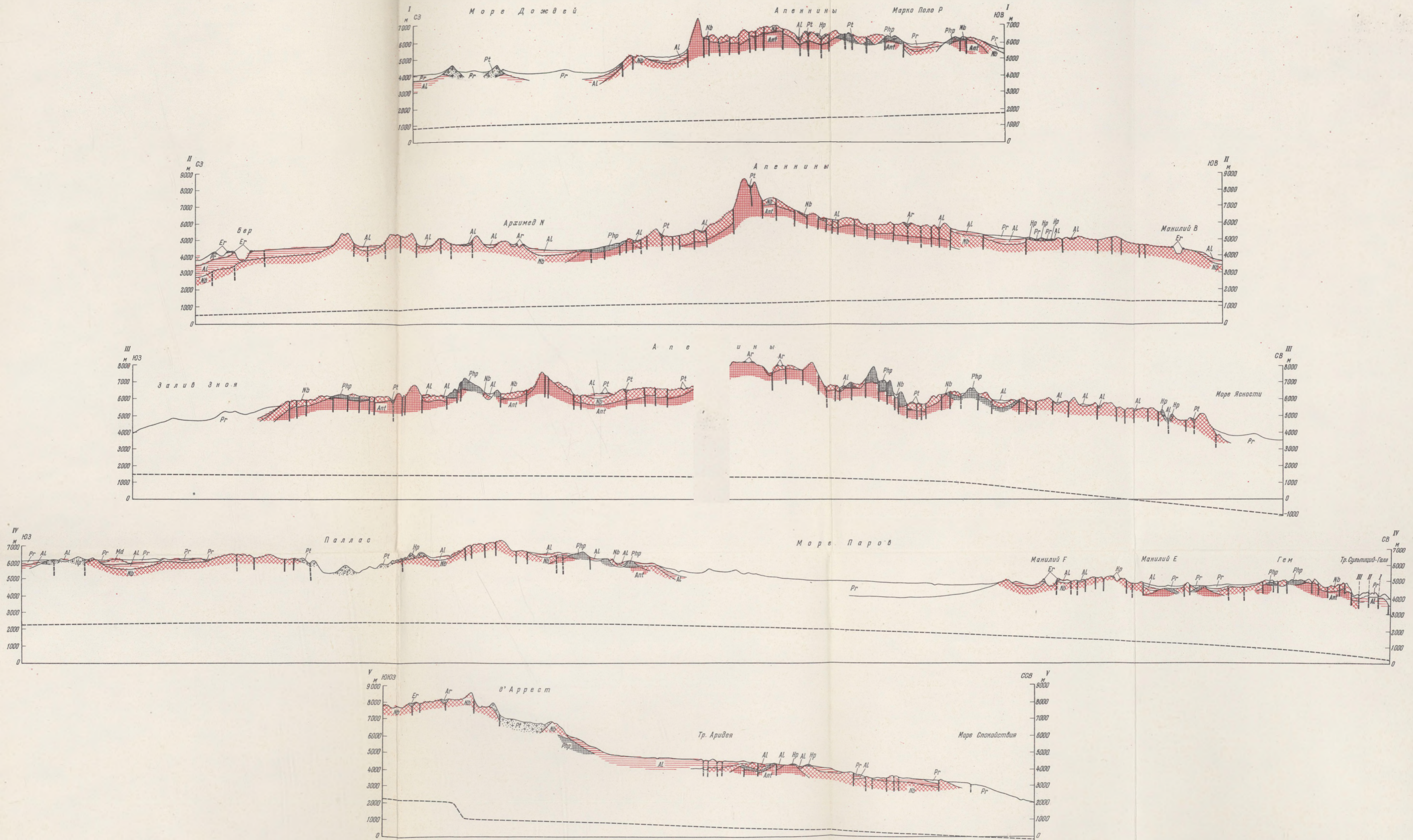
КАРТЫ И ПРОФИЛИ

- 2 и 3 К статье
П. В. Флоренского
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам южной части Моря Дождей, кратера Коперник и его окрестностей (листы LAC-40, 58)
- 2 и 3 К статье
М. С. Маркова
Объяснительная записка к геолого-морфологической карте северной части моря Облаков (лист LAC-76)
- 2—4 К статье
А. Л. Суханова
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района цирков Теофил и Птолемей (листы LAC-77, 78)
- 1—4 К статье
В. Г. Трифонова
Объяснительная записка к геолого-морфологическим картам района кратера Архимед, гор Апеннины и Гемо (листы LAC-41, 59, 60)



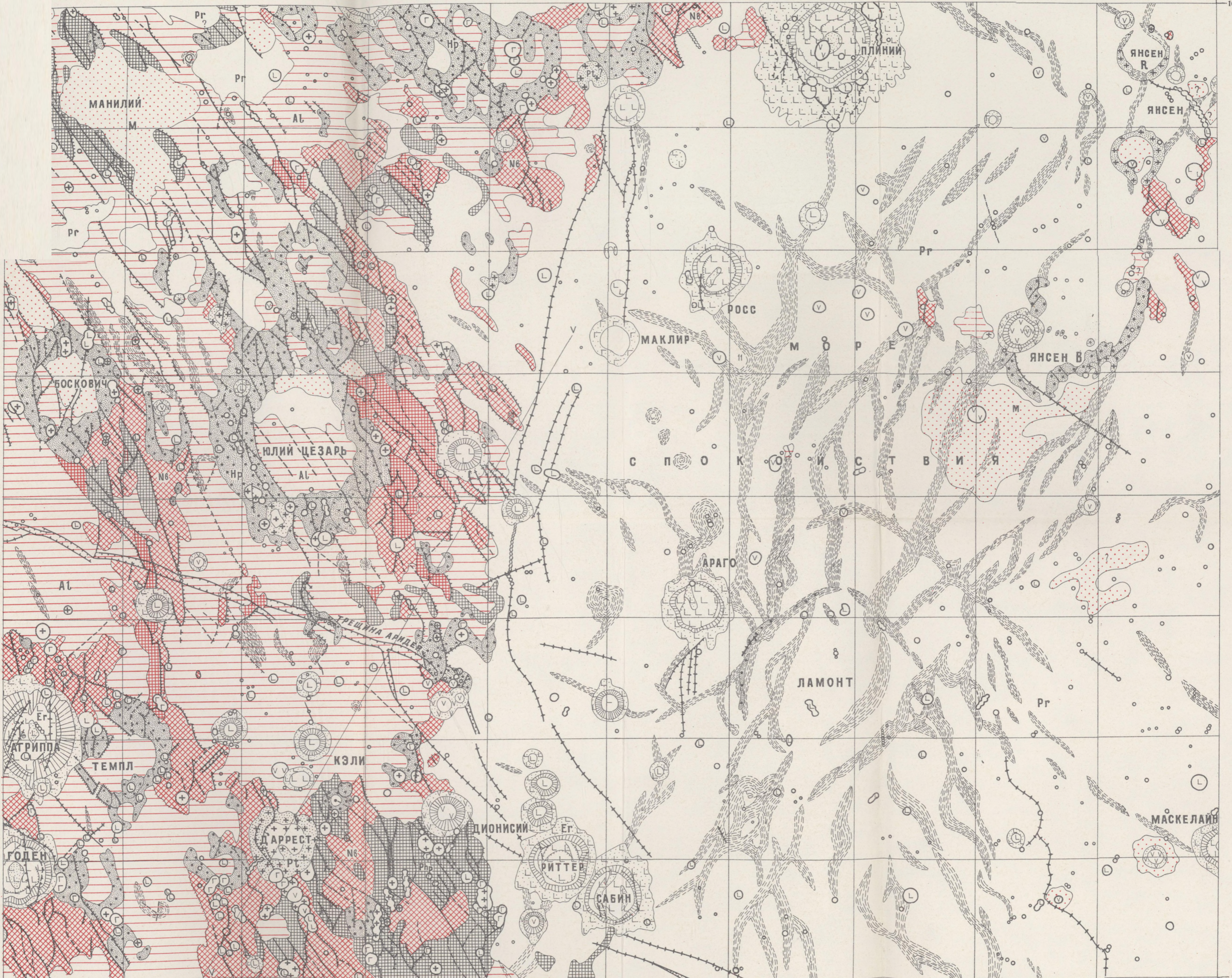
1. Геолого-морфологическая карта района цирка Архимед и горного массива Апеннины (лист IАС-41)

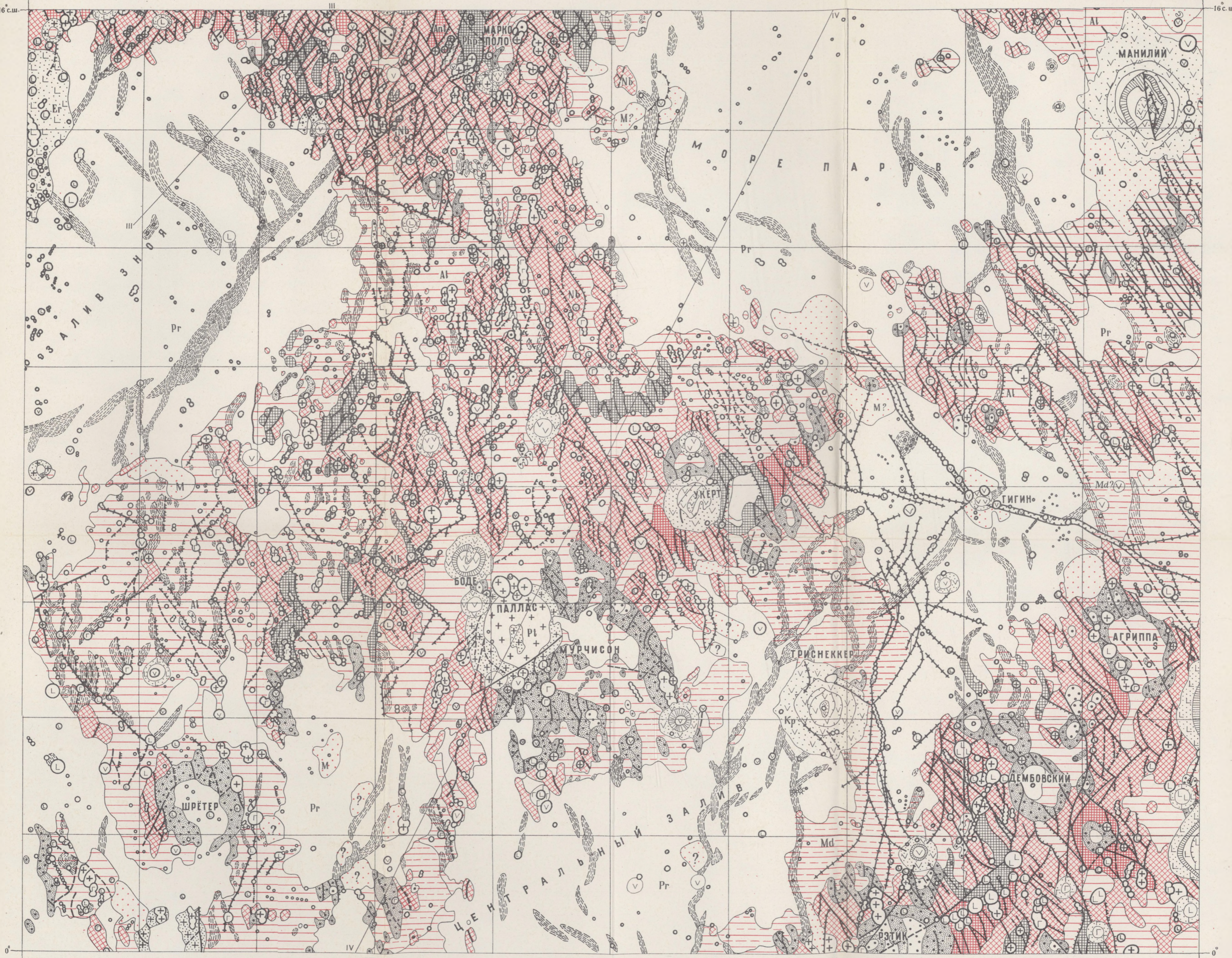
Условные обозначения см. на рис. 10, 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника



4. Профили к геолого-морфологическим картам LAC-41, 59, 60

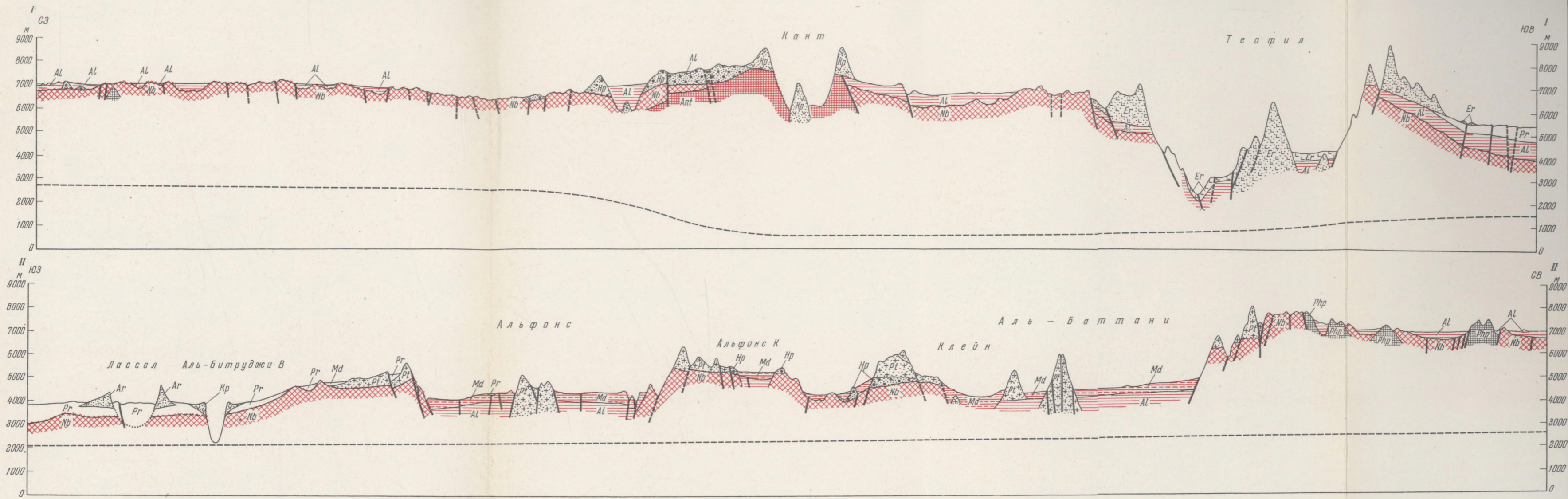
Условные обозначения см. на рис. 10, 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника. Пунктиром показано сечение фигуры Луны по данным Г. Шрутки-Рехтенштама (Schrutka-Rechtenstamm, Normann, 1958) с разворотом сферы на плоскость.





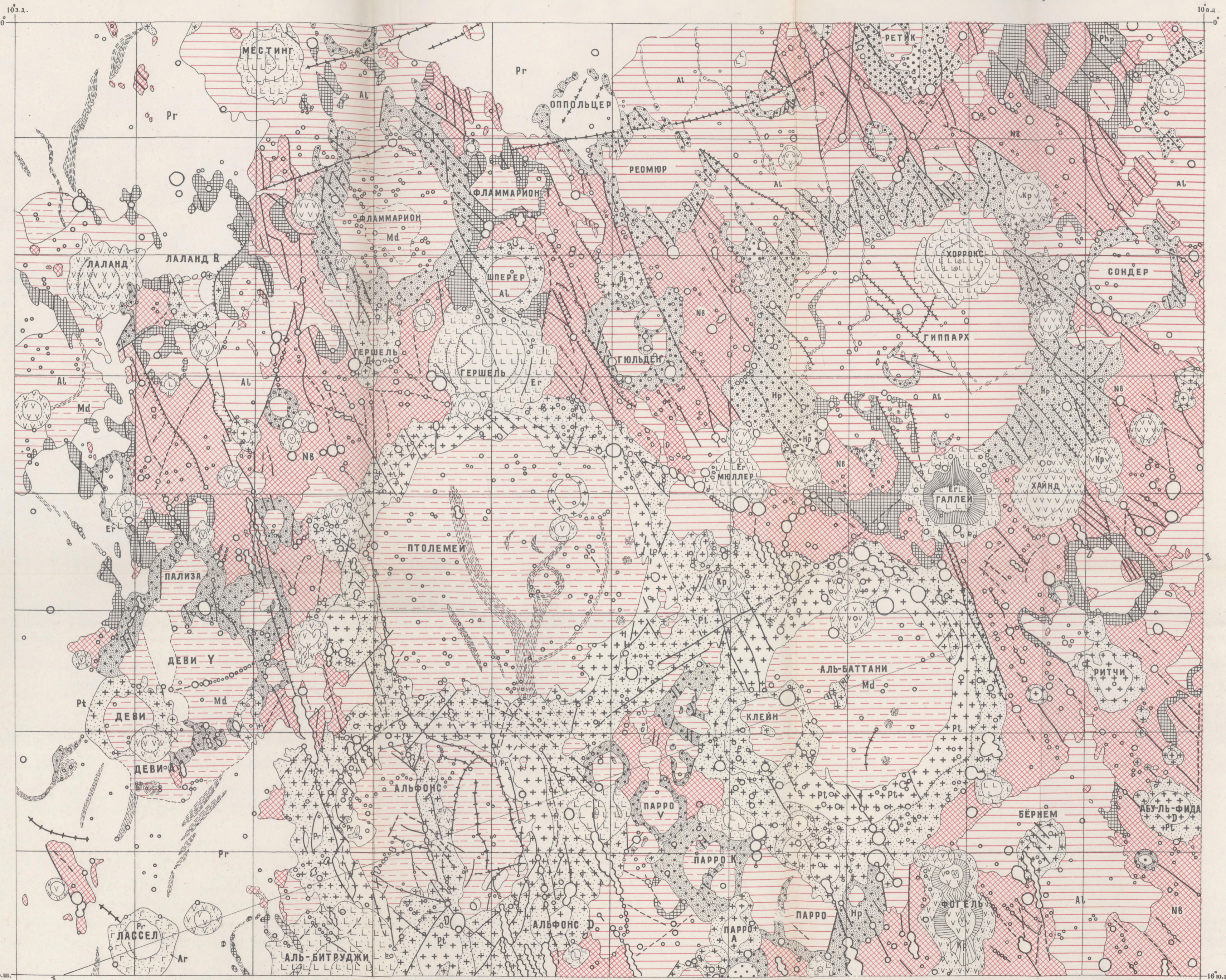
2. Геолого-морфологическая карта района Моря Паров и Центрального Залива (лист LAC-59)

Условные обозначения см на рис. 10, 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника



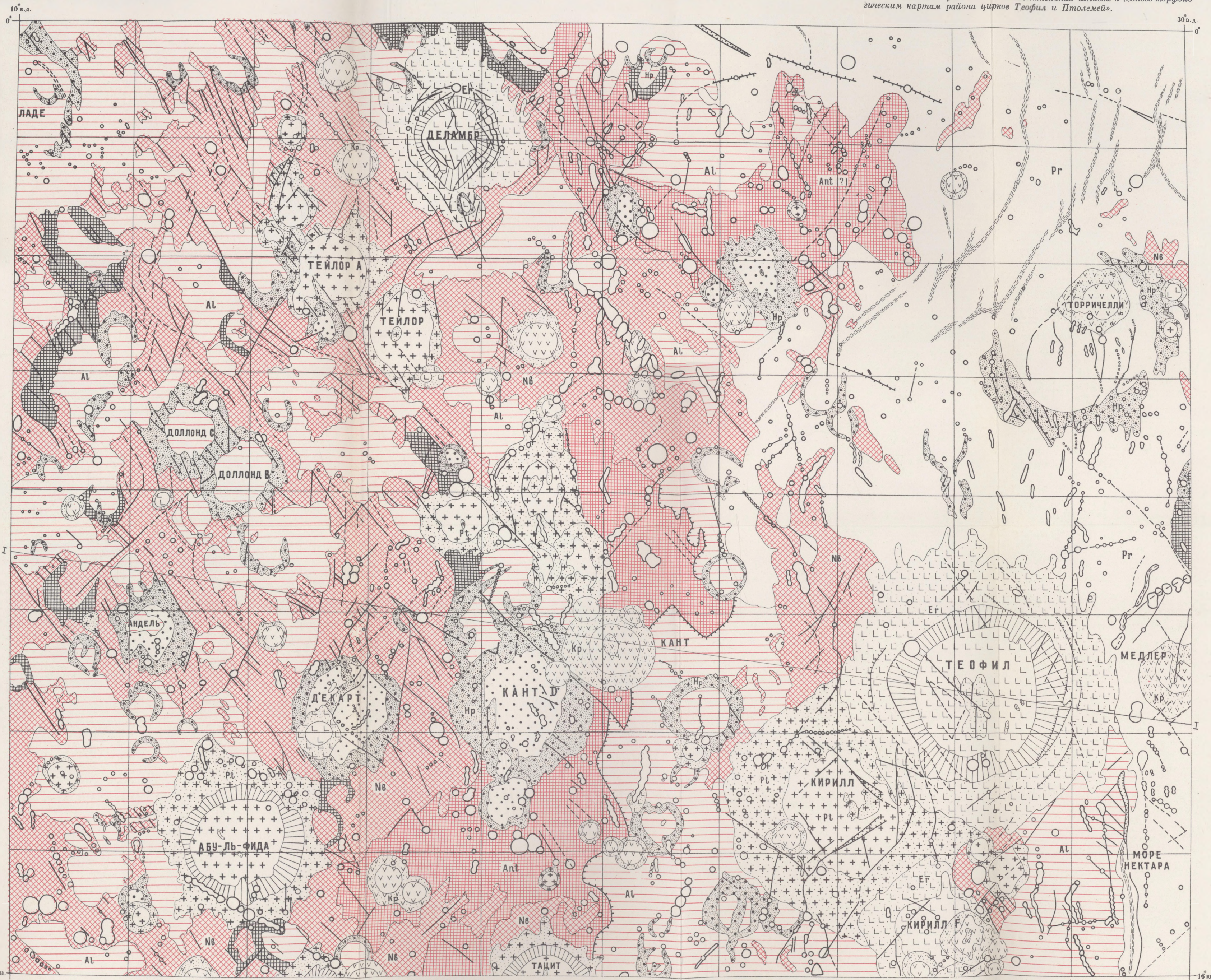
4. Профили к геолого-морфологическим картам района цирков Птолемей и Теофил: I—I к листу LAC-78, II—II к листу LAC-77

Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника. Пунктиром показано сечение фигуры Луны по данным Г. Шрутки-Рехтенштама с разворотом сферы на плоскость



2. Геолого-морфологическая карта района цирка Птолемей (лист LAC-77)

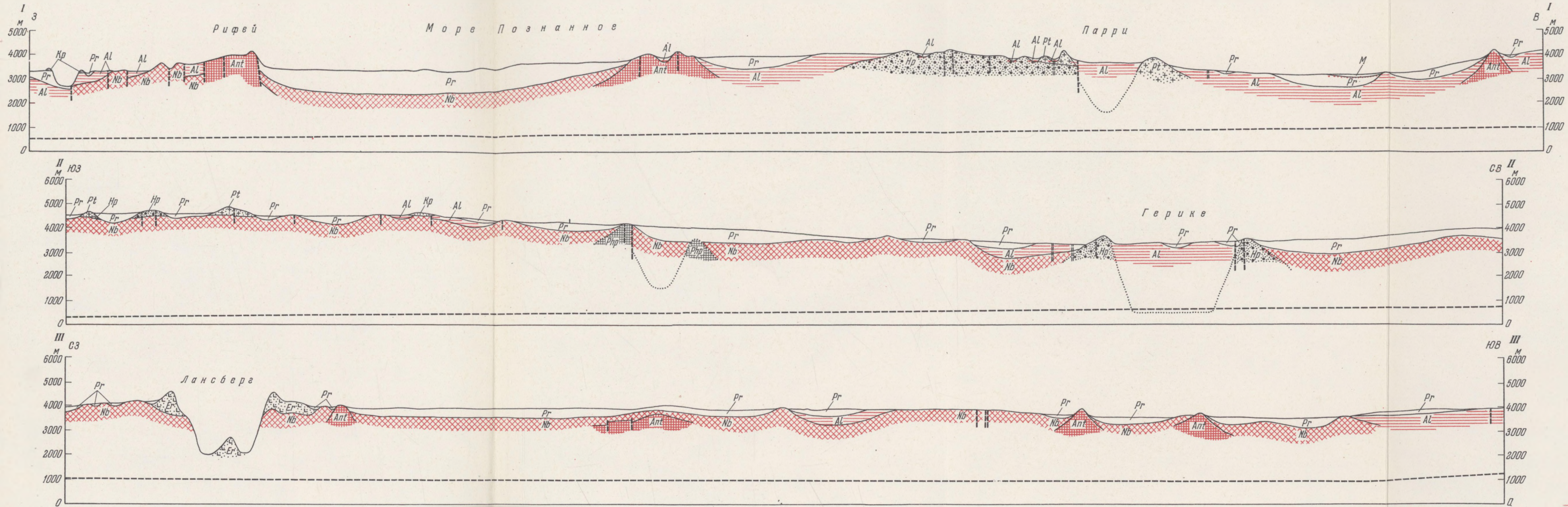
Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника



3. Геолого-морфологическая карта района цирка Теофил (лист LAC-78)

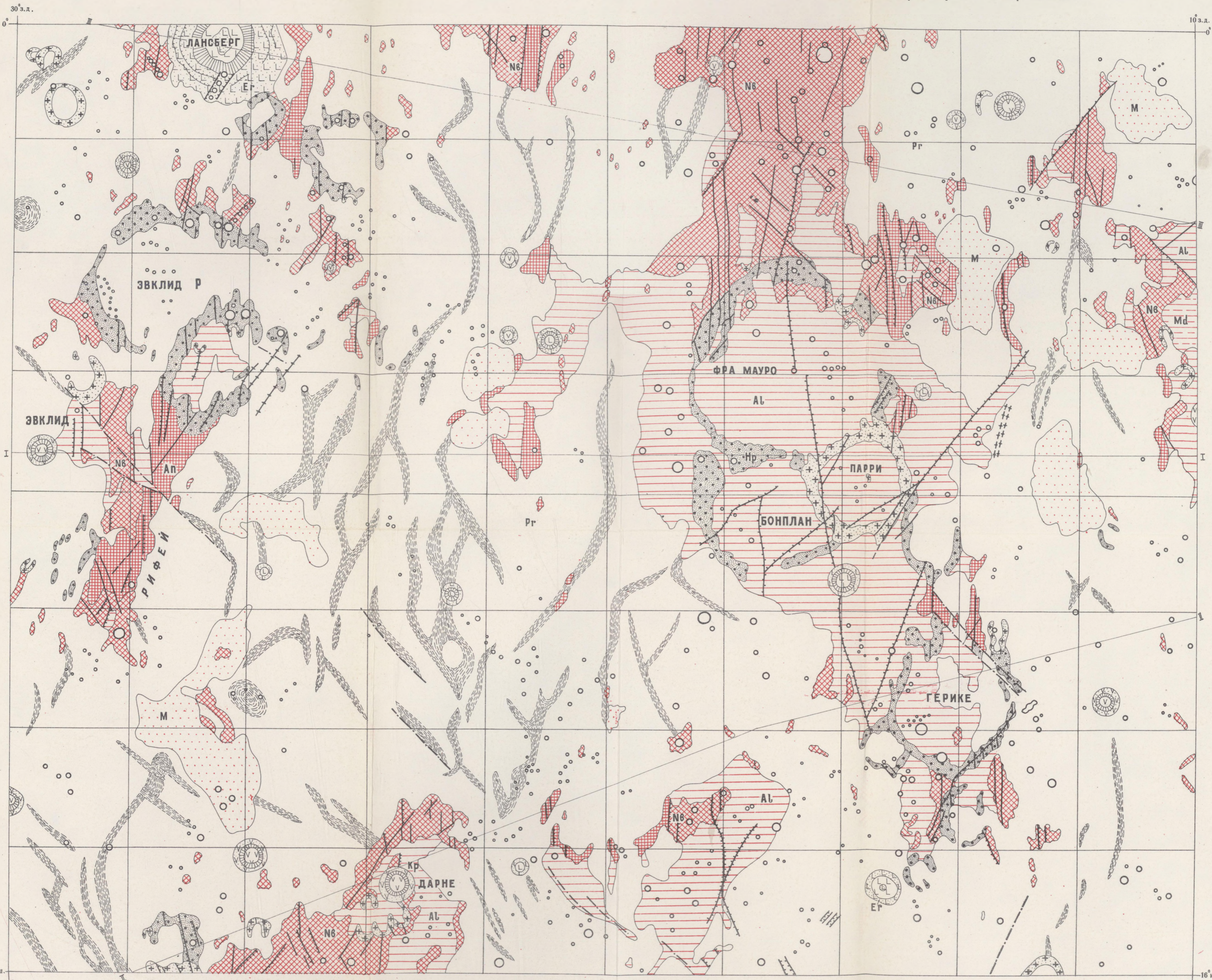
Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника

К статье М. С. Маркова «Объяснительная записка к геолого-морфологической карте северной части Моря Облаков».



3. Профили к карте района цирка Фра-Мауро (LAC-76)

Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника. Пунктиром показано сечение. фигуры Луны по данным Г. Шрутки-Рехтенштама с разворотом сферы на плоскость



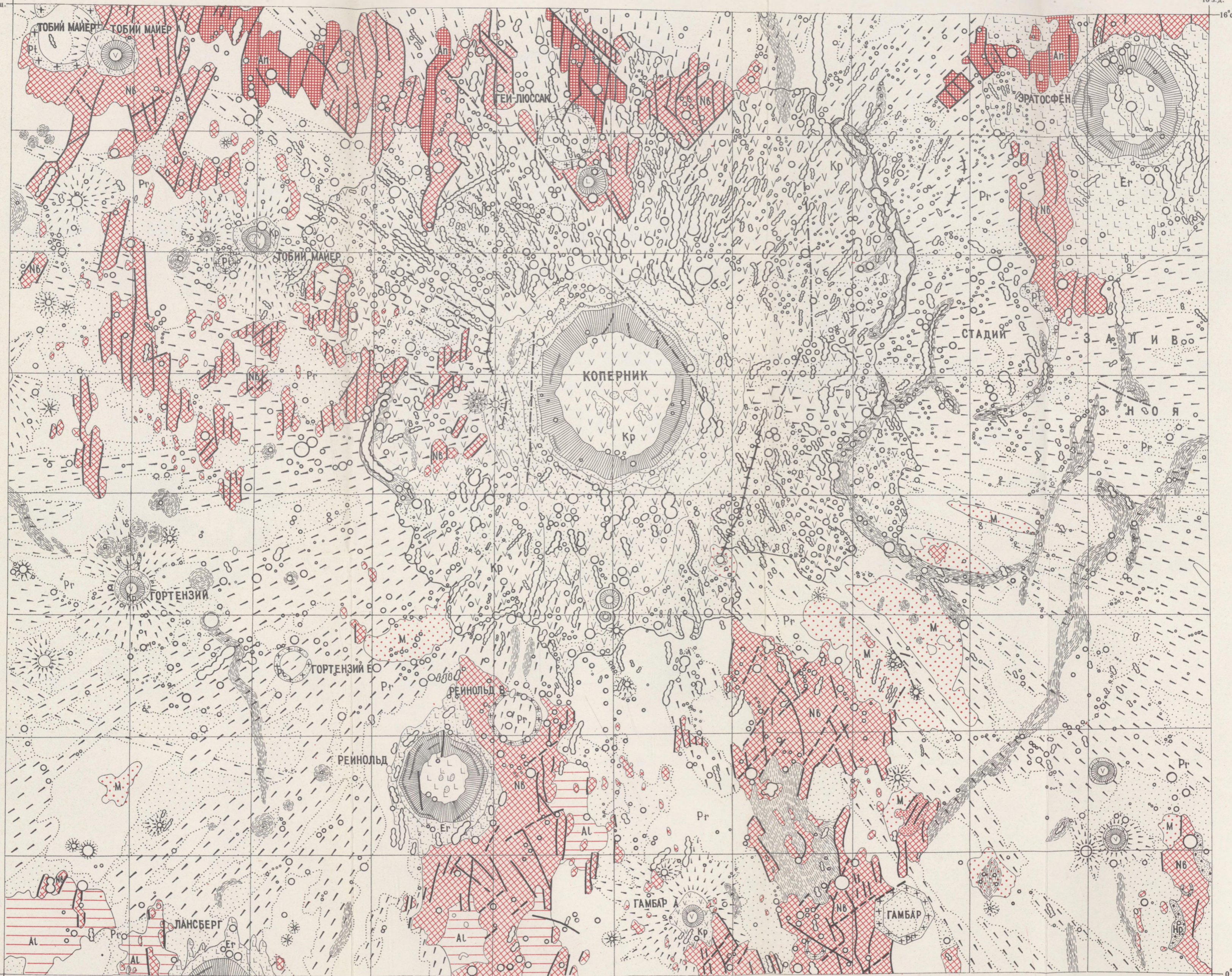
2. Геолого-морфологическая карта района цирка Фра Мауро (лист ЛАС-76)

Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника



2. Геолого-морфологическая карта южной части Моря Дождей (лист ЛАС-40)

Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника



3. Геолого-морфологическая карта кратера Коперник и его окрестностей (лист LAC-58)

Условные обозначения см. на рис. 10 и 11 в статье А. Л. Суханова и В. Г. Трифонова «Методика и легенда...» настоящего сборника

Проблемы геологии Луны

(Труды ГИН, вып. 204).

Утверждено к печати
Ордена Трудового Красного Знамени
Геологическим институтом АН СССР

Редактор издательства

И. М. Ерофеева

Художественный редактор

А. А. Киселева

Технические редакторы

О. М. Гуськова,

Ю. В. Рылина

Сдано в набор 12/II 1969 г.

Подписано к печати 19/IX 1969 г.

Формат 70×100^{1/16}

Усл. печ. л. 30,9 (23,5+7,4 приложение)

Уч.-изд. л. 26,7. Тираж 1400 экз.

Тип. зак. 1861

T-13623 Бумага № 1

Цена 2 р. 21 к. (с приложением 11 карт.)

Издательство «Наука»

Москва, К-62, Подсосенский, 21

2-я тип. изд-ва «Наука»

Москва, Г-99, Шубинский, 10

