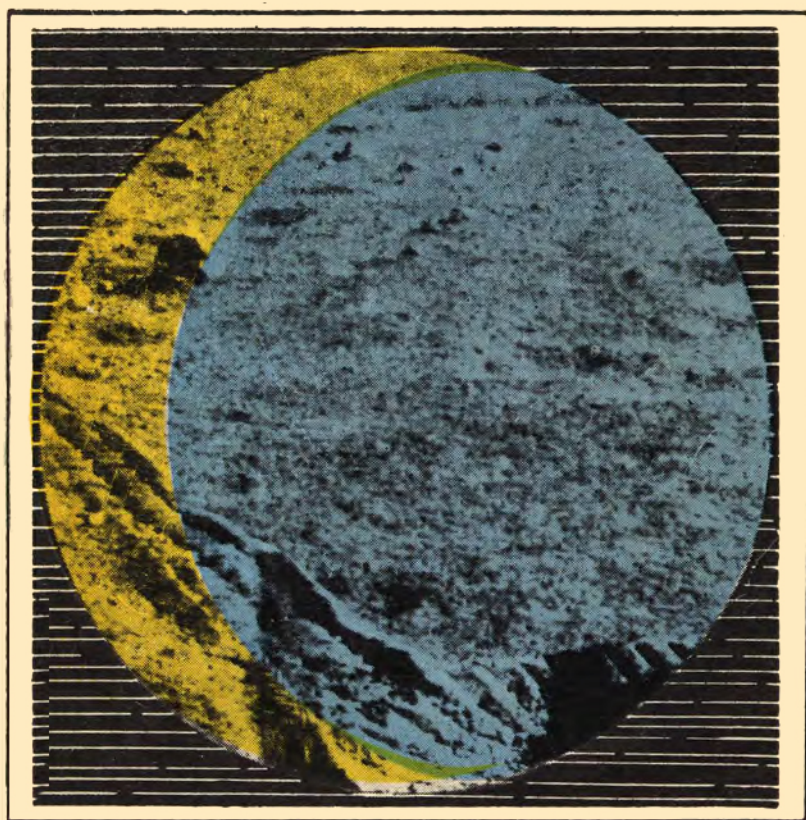


Н. А. НУЛИКОВ, В. Б. ГУРЕВИЧ

НОВЫЙ ОБЛИК
СТАРОЙ ЛУНЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Научно-популярная серия

К. А. КУЛИКОВ, В. Б. ГУРЕВИЧ

НОВЫЙ ОБЛИК СТАРОЙ ЛУНЫ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1974

Уже древние ученые задумывались о физической природе Луны. Однако все, что удалось узнать исследователям за многие столетия, не идет ни в какое сравнение с теми научными результатами, которые получены при помощи космической техники за последние пятнадцать лет.

О важнейших научных результатах исследования Луны средствами космической техники и рассказывается в этой книге. Авторы излагают материал на строго научной основе, но в достаточно популярной форме, не требующей от читателя специальной подготовки.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

За десять с половиной месяцев активной работы на Луне первый самоходный аппарат «Луноход-1» прошел по Моря Дождей 10,5 км. Много ли это? На первый взгляд кажется, что очень мало. Но ведь экипаж лунохода не спешил. Аппарат останавливался у всех интересовавших селенологов объектов, фотографировал, проводил различные измерения. Основной целью его было получить научную информацию, а не пройти максимальное расстояние.

Однако представим себе, что от места прилунения в северном полушарии Луны, на северо-западной окраине Моря Дождей, луноход отправился бы в дальнее путешествие на юг, например, к кратеру Тихо. Он пересек бы Море Дождей, Океан Бурь, Море Облаков (рис. 1). На панорамах местности, передаваемых луноходом, во время такого путешествия мы смогли бы увидеть практически все известные формы лунного рельефа. Попробуем для первого знакомства с Луной описать это «путешествие за три моря».

Отправная точка нашего маршрута в Море Дождей, одном из самых интересных лунных морей.

Моря — наиболее крупные элементы рельефа Луны, представляющие собой равнины, разумеется, безводны, часто округлой формы и несколько опущенные по сравнению с окружающей местностью. Благодаря более темной окраске они различимы с Земли даже невооруженным глазом. Поверхностный слой морей, как показывают его образцы, доставленные на Землю, имеет вулканическое происхождение: моря покрыты излившейся лавой. На рис. 2 представлена фотография центральной части Моря Дождей, сделанная с высоты 156 км. Она напоминает снимок застывшего лавового потока. Такие уступы, как на этой фотографии, на Земле часто возникают по периметру лавовых озер.

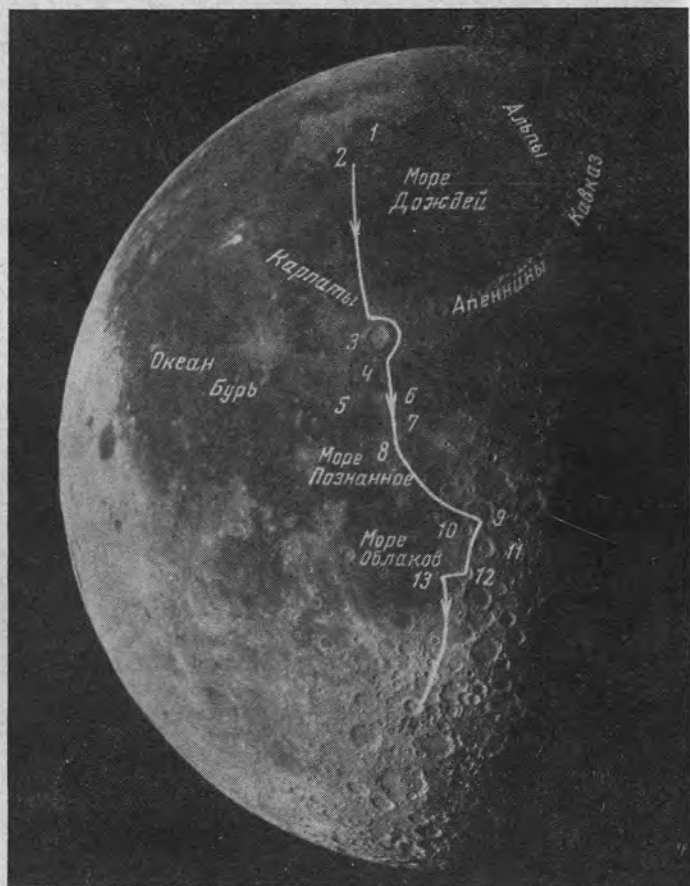


Рис. 1. Путешествие за три моря

1 — Залив Радуги;
 2 — Мыс Гераклид;
 3 — Кратер Коперник;
 4 — Кратер Фаут;
 5 — Кратер Рейнгольд;
 6 — Кратер Гамбар;
 7 — Кратер Тернер;

8 — Кратер Фра Мауро;
 9 — Кратер Альфонс;
 10 — Кратер Альпетрагий;
 11 — Кратер Арзахель;
 12 — Кратер Фебит;
 13 — Прямая Стена;
 14 — Кратер Тихо

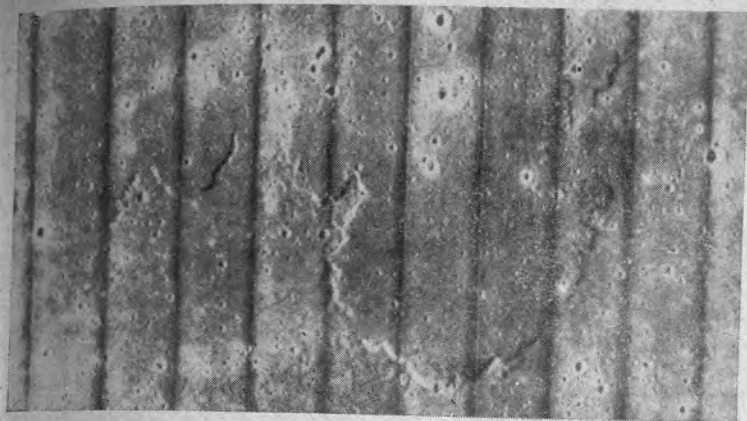


Рис. 2. Центральная часть Моря Дождей

(размеры изображенной области примерно 28×50 км)



Рис. 3. Колеса лунохода в Море Дождей

Верхняя часть надра защищена плотным светофильтром.
 Бедое пятно — Солнце

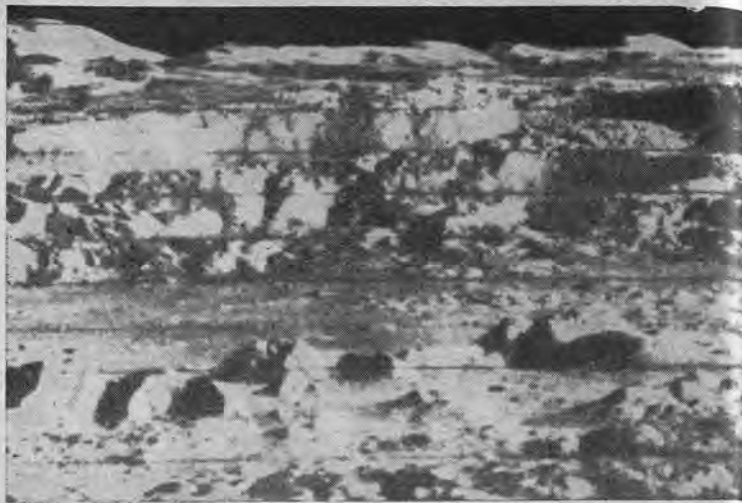


Рис. 4. Кратер Коперник

Снято телеобъективом с высоты 46 км

Относительно происхождения лунных морей существуют разные мнения. Согласно одному из них, моря возникли при падении на Луну гигантских метеоритов — планетезималей. По гипотезе Г. Юри, самая крупная планетезималь, поперечником до 200 км, упала именно в Море Дождей, по дороге выковырив воронку — Залив Радуги. Возникшие при этом разломы и перемещения масс привели к истечению лавы также в Океане Бурь, Море Облаков и Море Ясности и в большой степени определили облик видимого полушария Луны.

Море Дождей с севера окаймлено материком, тянувшимся на сотни километров, с востока его окружают горные хребты Альп, Апеннин и Кавказа, с юга — Карпаты. С места посадки лунохода горы на «побережье» не видны. Во все стороны простирается равнина с мелкими кратерами и ямками, с отдельными лежащими на ней камнями (рис. 3). Лишь на севере, вдали за горизонтом, в 40—50 км от лунохода видны вершины на мысе Гераклид.

Когда мы отправляемся в путь, Гераклид постепенно скрывается за горизонтом, и на равнине Моря Дождей, как в любом земном море, ориентирами служат только

светила — Солнце, звезды, Земля. Нужно следить, чтобы Земля все время оставалась впереди слева. Выдержав этот курс, мы после 900 км пути приблизимся к южному краю моря и, преодолев Карпатские горы, впервые сможем разглядеть вблизи большой лунный кратер. Характер местности меняется, она становится изрезанной, постепенно поднимается, и мы достигаем вала огромного, поперечником 90 км, кратера Коперник (рис. 4).

Лунные кратеры разделены на несколько классов. Основной признак классификации — происхождение. Долгое время две теории образования лунных кратеров — метеоритная и вулканическая — противостояли одна другой, однако теперь признаны справедливыми обе. Есть кратеры, вулканическое происхождение которых сейчас представляется бесспорным. Но есть кратеры, которые, безусловно, возникли при падении метеоритов; их называют ударными. К ним относится и Коперник.

Метеоритные кратеры делятся на первичные и вторичные. Первичные всегда всегда круглые (только на краях лунного диска благодаря перспективному сокращению с Земли они кажутся эллипсами), поэтому их часто называют цирками. У них плоское, ниже окружающей местности дно, в центре изредка — горка. Внешние склоны валов холмистые, на внутренних склонах часто располагаются террасы, по-видимому, следствие оползней.

Многие ударные кратеры имеют системы светлых лучей. Мы еще увидим их в конце путешествия.

На переднем плане фотографии (см. рис. 4) — центральная горка Коперника. Это нагромождение скал представляет собой остаток столкновения, взрыва, а не извержения. Дальше мы видим холмы на дне Коперника, а за ними — дальнюю стенку и террасы на ней.

Вторичные кратеры образованы не метеоритами, а выбросами при метеоритных ударах, поэтому они часто располагаются цепочками вокруг первичных кратеров. Иногда эти цепочки связаны с системами светлых лучей. Вторичные кратеры возникали при косом падении осколков после метеоритного взрыва и часто имеют овальную форму.

Огибая Коперник, чтобы продолжить путь, мы неоднократно встречаем вторичные кратеры, которые мешают нашему продвижению через материковую перемычку, разделяющую Море Дождей и Океан Бурь.

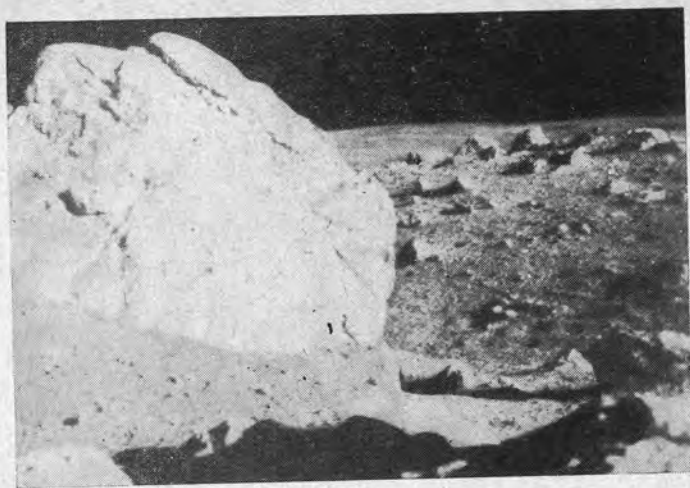


Рис. 5. Пейзаж в районе кратера Фра Мауро

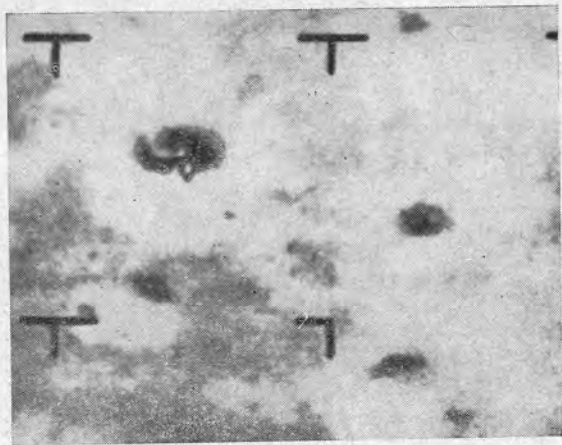


Рис. 6. Море Познанное. Вид с высоты 5 км

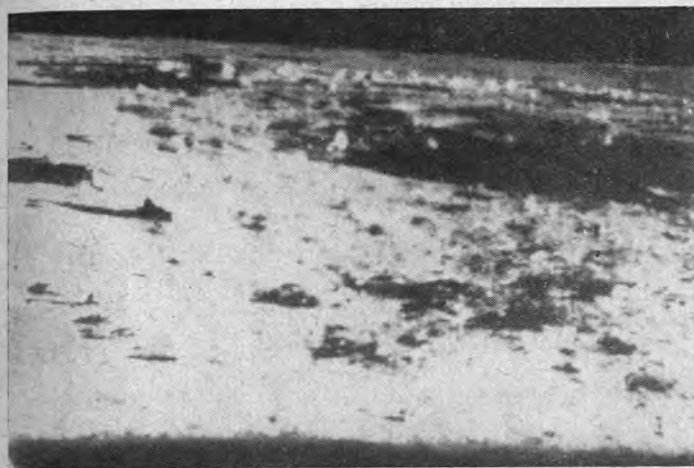


Рис. 7. Океан Бурь перед заходом Солнца

Здесь же, вблизи Коперника, расположены цепочки кратеров, вулканического происхождения которых признавали даже ярые сторонники метеоритной теории. Это — взрывные вулканы типа мааров, валы которых образованы продуктами извержений. Маары и на Земле обычно располагаются цепочками. Цепочки вулканов на трещинах, очень похожие на лунные, встречаются в Исландии. Предполагается также, что некоторые лунные кратеры (например, Региомонтан, лежащий в стороне от нашего маршрута) могут быть вулканами типа кальдер.

Оставив справа кратеры Фаут и Рейнгольд и слева — Гамбар и Тернер, мы достигаем кратера Фра Мауро, лежащего на восточном краю Океана Бурь, в Море Познанном (рис. 5).

Южнее него находится необычайный вторичный ударный кратер (показан стрелкой на рис. 6). В нем сидит, по-видимому, образовавшая его глыба. Диаметр кратера 200 м, а размеры глыбы, как она видна сверху, — примерно 90×45 м. Предполагая, что этот кратер относится к системе Коперника, и зная расстояние от Коперника (630 км) и энергию, необходимую для образования 200-метрового кратера ($3 \cdot 10^{13}$ калорий), Р. Болдуин подсчитал, каков должен быть объем этой глыбы и какова

ее высота. Высота получилась равной 28 м, что вполне правдоподобно.

Движемся дальше через Океан Бурь. Но на время отступим от южного курса и повернем на восток, чтобы подойти к еще одному очень интересному кратеру — Альфонсу. А пока осмотрим самую обширную равнину Луны — Океан Бурь. Мы видим ее на рис. 7. Закатное Солнце освещает почти всю поверхность океана, и лишь отдельные углубления покрыты тьмой. Правда, с высоты океанский ландшафт выглядит иным (рис. 8). Равнину местами пересекают складчатые горные хребты, извилистые трещины (в правом нижнем углу), купола (в центре снимка).

Такие формы рельефа мы еще не встречали. Купола — это возвышенности диаметром до 15 км и высотой до 500 м. У некоторых поверхность ровная; другие сплошь усыпаны камнями, так что напоминают ежей; поверхность третьих изрезана трещинами. Образовались они, по-видимому, при внедрении магмы в кору.

Неизвестно, как образовались лунные трещины и борозды. На Земле точных их аналогов нет. Иногда их сравнивают с грабенами — впадинами между двумя параллельно идущими сбросами. Борозды и трещины часто связаны с цепочками кратеров, похожих на вулканические. Это видно на очень эффектной, шириной 3—5 км трещине, которая лежит в стороне от нашего маршрута, — трещине Гигин (рис. 9). На ее дне насчитывается около десятка мелких кратеров; один большой кратер перекрывает ее посередине.

Выйдя с восточной окраины Океана Бурь в материковый район, мы вскоре достигаем кратера Альфонс. На его дне снова видим трещины. На них, как и на трещине Гигин, есть несколько вулканических кратеров (рис. 10).

Другой примечательный объект, связанный с вулканизмом, — это центральная горка Альфонса. В ней в 1958 г. Н. А. Козырев зарегистрировал вспышку. Был получен спектр вспышки, позволивший заключить, что она означала извержение газа.

Продолжая движение к югу, минуем кратеры Альпетрагий и Арзахель и достигаем кратера Фебит (рис. 11). Он интересен тем, что на его валу расположился так называемый паразитный кратер, который, очевидно, возник позже Фебита. В других частях Луны тоже



Рис. 8. Вид на Океан Бурь с высоты 46 км

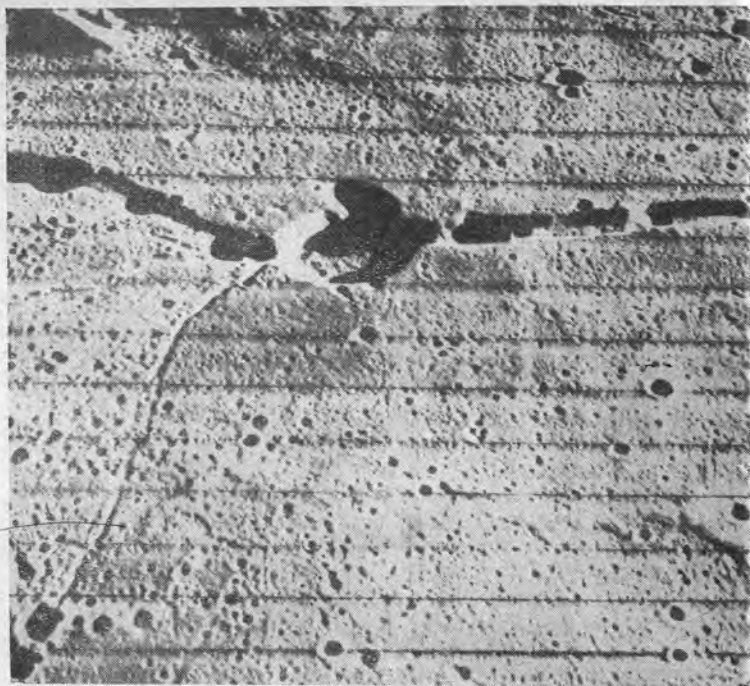


Рис. 9. Трещина Гигин

Снято широкоугольным объективом с высоты 62 км

наблюдаются наложения различных элементов рельефа. Их изучение служит мощным средством установления лунной хронологии. Всего в 80 км к западу от Фебита находится одна из главных достопримечательностей Луны — Прямая Стена. Чтобы рассмотреть ее, мы отклонимся от своего курса на запад. При этом сразу же за Фебитом выберемся на равнину Моря Облаков, и это существенно облегчит дальнейшее движение. Прямая Стена — гигантский сброс длиной около 100 км, высотой в несколько сот метров и крутизной около 40° .

Мы приближаемся к Стене со стороны гребня; конечно, спуститься к ее подножию луноход не может, и мы направляемся вдоль кромки Стены на юг. У ее южного конца видим несколько полузатопленных морем кратеров — фантомов (см. рис. 11).

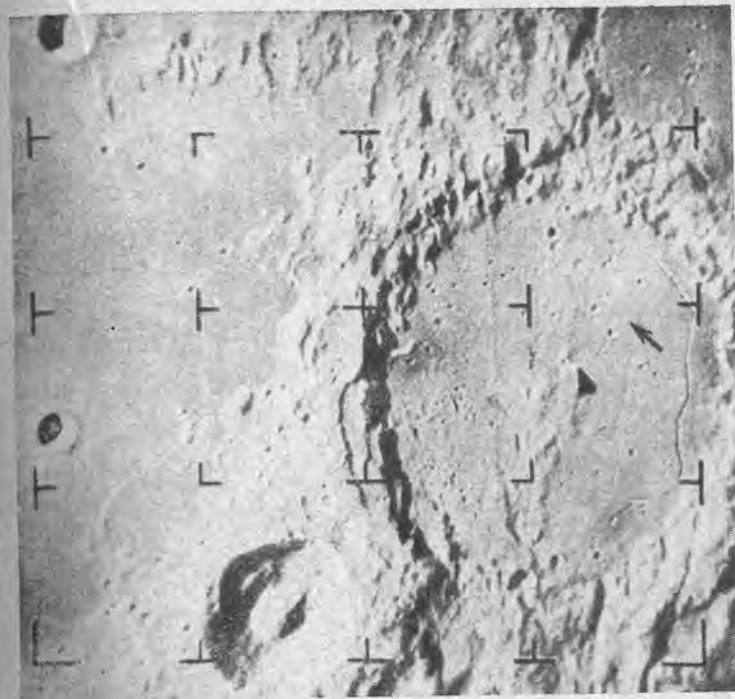


Рис. 10. Кратер Альфонс с высоты 420 км

Стрелкой показано место падения на Луну аппарата «Рейнджер-9»

Вскоре третья на нашем пути море — Море Облаков остается позади. Снова меняется характер местности. Она опять поднимается и становится все более неровной, что хорошо видно на фотомонтаже из снимков, сделанных автоматической станцией «Сервейор-1» (рис. 12). Выбирать дорогу по мере приближения к кратеру Тихо становится все труднее. Да и грунт здесь совсем не такой, как в морях. Равнинную поверхность с тонкой структурой (рис. 3) сменили неровные скальные породы.

Район, по которому теперь движется луноход, замечателен тем, что он лежит вблизи центра самой мощной на Луне системы лучей — системы кратера Тихо (рис. 13). Снимки лучей, сделанные с близких расстояний, — с окололунных орбит — не прояснили их природы. Ясно, что лучи — это выбросы материала из ударных кратеров;

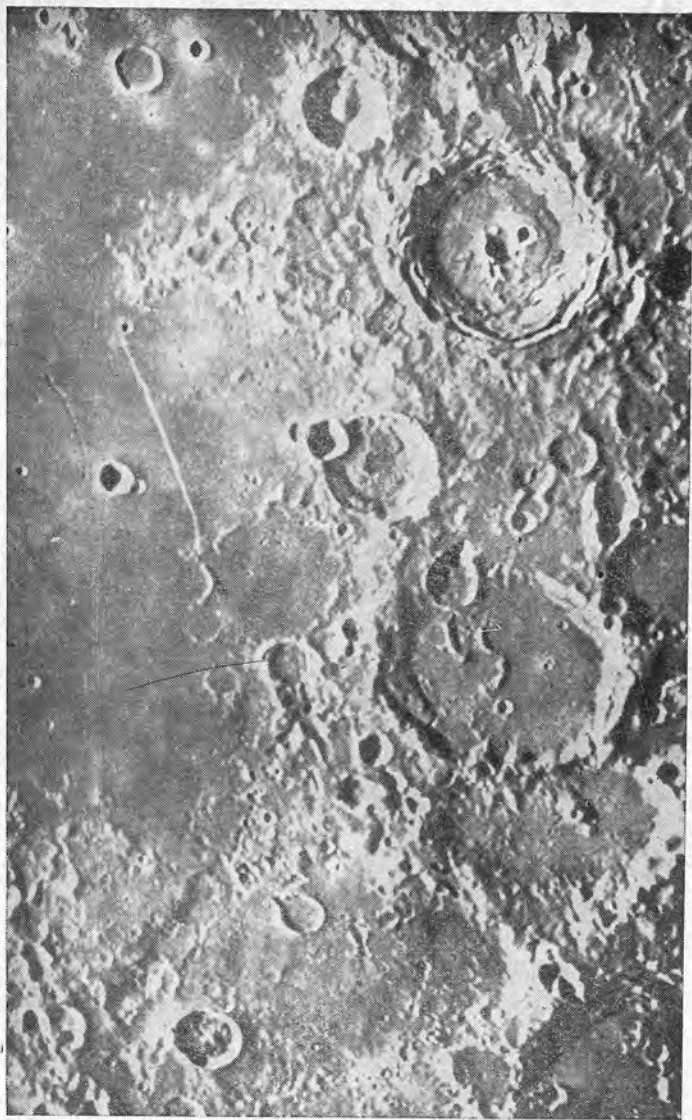


Рис. 11. Восточная окраина Моря Облаков
В центре — кратер Фебит. Снимок с Земли

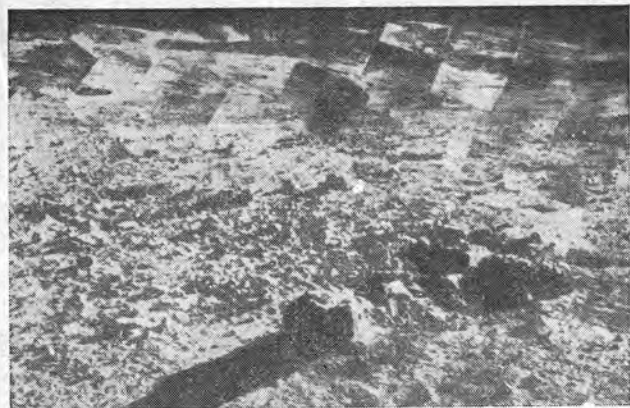


Рис. 12. Вид местности в 30 км к северу от кратера Тихо
(мозаичный снимок)

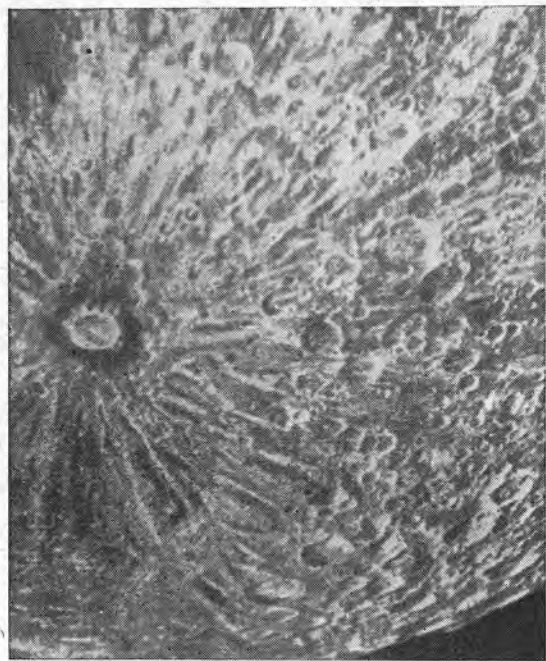


Рис. 13. Лучевая система кратера Тихо
Снимок с Земли

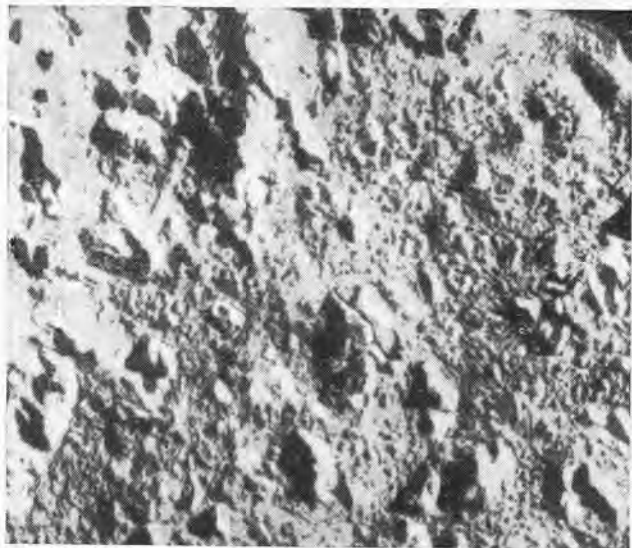


Рис. 14. Дно кратера Тихо

Снято телеобъективом с высоты 105 км

но почему их цвет отличается от цвета окружающей местности, пока можно только предполагать.

Наконец, после трех тысяч километров пути мы достигаем кратера Тихо. Где-то на его дне, в лабиринте скал и трещин (рис. 14), и заканчивается наше путешествие.

Первое знакомство с Луной окончено. Мы увидели вблизи то, что прежде всего бросается в глаза, когда наблюдаешь Луну в телескоп или рассматриваешь ее фотографии, — формы лунного рельефа. Это самые внешние элементы природы Луны. Для дальнейшего знакомства с Луной нужно узнать, что представляют собой ее поверхность и недра, каковы ее происхождение и история, как она движется и как взаимодействует с простирающимися в пространстве полями.

И не менее интересно проследить, как добывались все эти сведения, что дала нам классическая астрономия, а что удалось узнать лишь в последние годы, с использованием космической техники. Обо всем этом и будет рассказано в книге.

Трудно сказать, когда люди от простого созерцания небесных явлений впервые перешли к их изучению. Видимое движение Солнца и Луны, смена лунных фаз, солнечные и лунные затмения — вот первое, на что обратили внимание ученые древности. По-видимому, затмения умели предсказывать уже жрецы древнего Египта. Стоунхендж, сооруженный в 2000—1500 гг. до н. э. в Англии, назначение которого было неясно до недавнего времени, оказался обсерваторией, в которой система визирных направлений, закрепленных каменными глыбами, позволяла определять положения Солнца и Луны в разное время года, при их различном взаимном расположении, и весьма точно предсказывать затмения.

Очень давно ученые заинтересовались и физической природой Луны. Видимая невооруженным глазом неоднородность лунной поверхности наводила на мысль о каком-то подобии Луны и Земли. Так, Анаксагор и Демокрит (IV в. до н. э.) считали, что на Луне есть горы и долины. Первая известная нам специальная научная работа о природе Луны написана в I в. н. э. Плутархом. Он, в частности, доказывал, что Луна не светится сама, а отражает солнечный свет, и что пятна на ее поверхности не могут быть зеркальным отражением морей и суши Земли, как считали некоторые ученые в древности.

В конце первого тысячелетия до н. э. начала зарождаться теория движения Луны. Как известно, до гелиоцентрической системы мира Коперника была общепризнана геоцентрическая система Птолемея. Согласно Птолемею в центре мира находится Земля, а по круговым орбитам — деферентам — вокруг нее равномерно двигаются Луна, Солнце и планеты. Одни из греческих астрономов считали круговые орбиты удобным геометрическим построением, другие абсолютизировали окружность как траекторию дви-

жения. Так или иначе считалось, что небесные тела должны двигаться только по окружностям.

Чтобы объяснить несовпадение этой идеи с наблюдениями, древние греки вынуждены были ввести систему эпициклов — маленьких окружностей, по которым движутся планеты в то время, как центры эпициклов перемещаются по деферентам. Так, Птолемей с помощью эпицикла объяснил неравенство (неправильность) в движении Луны, называемое эвекцией. Другое неравенство — «уравнение центра» — учел Гиппарх, расположив лунный деферент эксцентрично относительно Земли. Любопытно, что этот метод деления движения Луны на среднее (по деференту) и отклонения от него (по эпициклам или эксцентричному деференту) сохранился и сейчас на совершенно ином уровне знаний и на новой математической основе.

Взгляды своих современников на природу Луны обсуждает Данте (конец XIII — начало XIV в.) в «Божественной комедии», во второй песне «Рая». Взгляды эти достаточно фантастичны.

Леонардо да Винчи и английский ученый Джилберт (изготовивший визуальную карту Луны — см. 11 главу) считали, что темные части Луны — это суша, а светлые — водная поверхность.

Так постепенно еще до появления телескопа возникали некоторые представления о Луне. Не следует только забывать, как отмечает историк астрономии Е. К. Страут, что «эти рациональные зерна тонули в мутном потоке богословско-теологической литературы, отстаивавшей незыблемость религиозного догмата о противоположности земного и небесного, ... об идеальной гладкой форме Луны и других небесных тел» *.

Новый период в изучении Луны — период телескопических наблюдений открыли в 1609—1610 гг. Томас Харриот и Галилео Галилей. Селенография — изучение лунной поверхности — получила инструментальную базу. В последующие столетия астрономические инструменты совершенствовались и прошли путь от простейших телескопов и от оптических систем, объективы которых укрепляли на крышах зданий, а окуляры, стоя внизу, держали в ру-

* Е. К. Страут. История исследования Луны. Диссертация (рукопись). М., 1966.

ках, через приборы с мерными приспособлениями на окулярах, через астрографы до фото- и телекамер лунных автоматических и пилотируемых станций.

Галилея можно считать основоположником селенодезии — дисциплины, занимающейся измерениями расстояний, высот и координат на Луне. Он предложил способ измерения высот лунных гор на ночной стороне Луны вблизи терминатора по тому, на каком расстоянии от терминатора их вершины еще освещаются Солнцем. Будучи несколько модифицированной, эта идея сохранила свое значение до нашего времени (теперь рассматривается не тень на горе от горизонта, а тень от этой горы на окружающей равнине при низком расположении Солнца).

Галилей знал, что на Луне не бывает облаков, так как контуры лунной поверхности всегда видны одинаково четко. При этом Галилей был уверен в существовании у Луны атмосферы. Первым, кто пришел к выводу о том, что атмосферы у Луны нет, был Христиан Гюйгенс (1629—1695). На эту мысль его навело наблюдение лунного края во время солнечного затмения.

Современник Гюйгенса Роберт Гук был одним из основателей селенологии. Он предложил два объяснения происхождения лунных кратеров — вулканизм и удары метеоритов. Как теперь установлено, на Луне есть кратеры и вулканического, и ударного происхождения, так что обе теории — и вулканическая (эндогенная), и ударная (экзогенная) соответствуют действительности. Другой современник Гюйгенса — Жан-Доменик Кассини был первым, кто сумел найти законы, описывающие вращение Луны вокруг оси. Эмпирические законы Кассини, основанные на его наблюдениях либрации (колебаний) Луны, впоследствии были теоретически обоснованы Лагранжем.

Открытие Кеплером законов движения планет и Ньютоном — закона всемирного тяготения привело к переориентации исследований Луны. На некоторое время картографирование Луны приостановилось и на первое место вышла теория ее движения как раздел небесной механики, вообще сильно потеснившей в XVIII в. другие отрасли астрономической науки. Некоторые уточнения в эту теорию внесли еще в докеплеровский период Абул-Вэфа в Багдаде (X в.) и Тихо Браге (XVI в.). Первый открыл лунное неравенство, называемое вариацией, а второй —

«годовое уравнение». Но только Майер, Эйлер, Клеро и Даламбер заложили основы современной теории, которая дает математическое описание наблюдаемого движения и строится на физических законах — законах небесной механики, причем Эйлер ввел важнейший метод вариации параметров.

Самому Ньютону в области исследований Луны принадлежит такое замечательное достижение, как разработка метода определения ее массы по величине возбуждаемых ею приливов в земных морях.

Во второй половине XVIII в. появился ряд новых исследований физической природы Луны.

Многочисленные наблюдения Луны полной, ущербной и во время затмений, изучение отдельных кратеров, различная интерпретация этих наблюдений вызвали споры о лунном вулканизме. Явления, которые можно было трактовать как извержения вулканов, описывал такой многоопытный наблюдатель, как Вильям Гершель. Существует карта с помеченными на ней кратерами, которые Гершель считал вулканами (кратер Аристарх и др.). По современным данным, в этих кратерах коэффициент отражения света больше, чем в среднем по лунной поверхности, и в полнолуние они действительно выглядят наиболее яркими. После критики со стороны некоторых астрономов, в частности Лаланда, Гершель стал осторожнее комментировать свои наблюдения.

В тот же период интенсивно обсуждался вопрос о лунной атмосфере. Среди сторонников ее существования можно назвать Фуши и Эйлера; среди тех, кто отрицал существование заметной атмосферы, — сербского астронома Бошковича.

Появились первые исследования отражательных свойств лунной поверхности. Эти работы связаны с именами Буге, известного главным образом исследованиями в области теории фигуры Земли, и Ламберта. Так была заложена основа современной фотометрии.

Следующий этап в изучении Луны, который Е. К. Страт датировал 1789—1895 гг., — это этап детальных зарисовок и картографирования лунной поверхности. Он начинается с работ Шрётера в Германии и Рассела в Англии. Шрётер, городской судья в Лилиентале, близ Бремена, в течение нескольких десятков лет вел зарисовки деталей поверхности Луны. Его зарисовки долго использовались

картографами. Шрётер первым начал определять высоту лунных гор по длине отбрасываемых ими теней.

Рассел тоже зарисовывал отдельные части поверхности Луны. По этим зарисовкам он составил большую карту Луны (поперечником 1,5 м). Чтобы соединить отдельные рисунки в карту, он измерил взаимное расположение на лунной поверхности нескольких десятков ориентиров; это позволило при построении карты соблюсти необходимые пропорции.

Крупнейший вклад в создание визуальных карт Луны внесли Лорман, Бэр и Мэдлер, Юлиус Шмидт. Каждый из них зарисовывал детали лунного рельефа со всей возможной тщательностью; каждый готовил для своих карт соответствующее «плановое обоснование», служащее для пропорциональной передачи размеров. Лорман первый использовал многочисленные измерения положений, размеров и высот зарисовываемых деталей. Мэдлер и Бэр одновременно с изданием своей карты выпустили книгу «Луна или общая сравнительная селенография», в одном из разделов которой приводятся цифровые данные, служащие «геодезической основой» их карты, — высоты или глубины и координаты отдельных точек, поперечники кольцевых гор и кратеров.

В то время (середина XIX в.) были очень распространены представления о том, что на Луне происходят отдельные изменения, связанные с вулканизмом или с иными причинами. Британская ассоциация развития науки выполняла даже специальную программу наблюдений для проверки сообщений о таких изменениях. Мэдлер же относился к возможности изменений на Луне скептически; эта точка зрения, подкреплённая его авторитетом крупнейшего специалиста по Луне, как это ни странно, привела к снижению интереса наблюдателей к Луне: какой смысл изучать детали, уже тщательно описанные Мэдлером, если измениться они не могут? Поэтому долгое время после карты Мэдлера новые карты Луны не составлялись. И только Ю. Шмидт на основе своих наблюдений, выполняемых в Афинах в течение более десяти лет, составил новую карту (1878), которая, по оценке журнала «Nature», является «чудом аккуратности картирования и точности черчения. Любую часть карты можно изучать с помощью лупы и не обнаружить грубой работы».

М. М. Гусев в Вильнюсе был первым, кто попытался

определить фигуру Луны, измеряя ее фотографии. Это были одни из самых первых снимков Луны, и тогда еще не было четкой методики измерений. Поэтому у Гусева радиус, направленный к Земле, получился на 2% больше полярного радиуса, что не соответствует действительности. Но эта работа 1859 г. представляет большой исторический интерес.

Нэсмит в Англии разработал теорию процесса возникновения различных лунных формаций под действием вулканических сил. Им и Карпентером проведены также исследования сравнительного возраста отдельных лунных образований.

Продолжала совершенствоваться теория движения Луны. На этом пути важнейшие результаты получили П. Ганзен из Готы, завершивший свою работу в 1857 г. изданием таблиц, Ш. Делонэ в Париже, С. Ньюкомб и Г. Хилл в Вашингтоне, Д. Адамс в Кембридже.

В этот период было объяснено вековое ускорение Луны как следствие приливного трения и уменьшения скорости вращения Земли. Лунная теория достигла такого совершенства, что на основе наблюдений Луны можно было делать некоторые выводы о вращении Земли.

Развернулись исследования вращения Луны на новой основе — на основе теории физической либрации (подробнее об этом будет рассказано во II части книги).

К середине XIX в. относятся и первые астрофизические исследования Луны: фотометрические измерения, исследования поляризации лунного света, измерение температуры лунной поверхности. Теоретически было показано, что Луна не должна иметь плотной атмосферы.

Стройную программу астрофизических исследований Луны наметил в 1873 г. профессор Петербургского университета Ф. Ф. Петрушевский. Он планировал топографические и фотометрические наблюдения и измерения частей Луны, измерения фотоспектральные, наблюдения поляризационные, измерения «силы химических лучей» различных частей Луны. Петрушевский предложил аналогичными методами исследовать земные горные породы. Эта идея позже нашла широкое применение. Но в то время по ряду причин планы Петрушевского в основном остались нереализованными.

В конце 90-х годов XIX в. в Ликской обсерватории (США) были получены первые фотографии Луны, по ка-

честву изображения деталей сопоставимые с визуальными зарисовками, и в 1896 г. был выпущен первый фотографический атлас Луны.

Вскоре начал выпускаться атлас Луны Леви и Пюизе, состоящий из снимков, сделанных в Парижской обсерватории. Нельзя сказать, что визуальные зарисовки Луны после этого полностью прекратились. Но некоторые астрономы, например Кригер, выполняли их теперь на фотографиях, дополняя и детализируя фотографические изображения.

В конце XIX в. начались работы по созданию каталогов координат пунктов лунной поверхности — необходимой «геодезической основы» для лунных карт. Эти работы тесно переплетаются с работами по изучению вращения Луны, так как координаты пунктов отсчитываются от лунного экватора, а его положение определяется параметрами физической либрации.

Измерениями координат пунктов почти одновременно начали заниматься Юлиус Франц в Германии и Сэмюэль Сондер в Англии. Франц принял метод, в соответствии с которым сначала со всей возможной точностью определялось положение восьми пунктов «первого порядка», равномерно распределенных по видимому полушарию Луны, а затем сеть «сгущалась» менее точными пунктами второго и далее — третьего порядков. Координаты исходного пункта сети — кратера Мейстинг А, к которому привязывались пункты первого порядка, определялись и определяются до сих пор совместно с параметрами, характеризующими вращение Луны. Всего в каталогах Сондера (1911) и Франца (1913) было более 4000 пунктов второго и третьего порядков, или примерно один пункт на 5000 кв. км.

Впоследствии работы по каталогизации и уточнению ранее вычисленных координат пунктов лунной поверхности продолжались, и мы имеем теперь каталоги Рота (1949, Вена), Болдуина (1963, Чикаго), Гаврилова, Думы, Кислюка (1967, Киев) и ряд других.

Период с 1895 по 1958 г. можно назвать периодом изучения Луны астрофизическими методами. За эти шестьдесят с лишним лет выполнены обширные исследования цвета, интенсивности отражения солнечных лучей, поляризационных свойств и температуры лунной поверхности, радиолокационные и радиоастрономические наблюдения

Луны, изучение ее атмосферы спектроскопическими, радиоастрономическими и другими методами.

Поверхность Луны изучалась с точки зрения геологии. Установлена последовательность формирования отдельных образований на лунной поверхности. Получил дальнейшее развитие ряд теорий формирования лунного рельефа. Предложен ряд гипотез относительно состава и физических свойств вещества, образующего лунную поверхность. Изготовлены новые атласы фотографий Луны и лунные карты. Разработана теория фигуры и гравитационного поля Луны.

Назовем еще несколько имен ученых, оставивших заметный след в истории исследований Луны.

С. Менье во Франции, А. П. Павлов в России и некоторые другие заложили фундамент сравнительной геологии — науки, цель которой, по словам Менье, — «распространить на всю видимую вселенную преимущество методов, применяющихся к изучению Земли, и, наоборот, применить к Земле результаты исследования неба, произведенного при свете земной геологии»*.

Объясняя происхождение лунного рельефа, Менье учитывал отсутствие у Луны атмосферы и гидросферы, а следовательно, и осадочных пород, в значительной степени определяющих облик земной поверхности. Он считал, что лунные кратеры образовались в эпоху, когда Луна была горячее и ее поверхность не обладала большой прочностью.

В одном из докладов А. П. Павлова (1854—1929), по словам академика А. А. Михайлова, основная мысль была в том, что различные образования на поверхности Луны могли возникнуть под влиянием эндогенных сил — прежней вулканической деятельности и проплавления коры с образованием округлых «морей» наподобие кальдер. Разницу в масштабах явлений он объясняет различной силой тяжести. Будучи геологом, Павлов уделял много внимания вопросам формирования рельефа Луны, так как считал, что без этого нельзя полностью понять историю Земли.

Американский геолог Дж. Гильберт (1843—1918) детально разработал метеоритную теорию формирования

* С. Менье. Сравнительная геология, или геология небесных тел. Пер. с франц. СПб., 1896.

рельефа Луны, с помощью которой он объяснял происхождение почти всех кратеров. Свою теорию он увязывал с возникшими тогда космогоническими идеями относительно образования Луны путем аккумуляции падающих на нее метеоритов. Гильберт предлагал также модель термической истории Луны, довольно близкую к современным представлениям. Экзогенную (метеоритную) гипотезу развивали А. Вегенер, Р. Болдуин, Г. Юри. Среди сторонников эндогенной гипотезы надо отметить Дж. Спэрра и А. В. Хабакова.

Наибольший вклад в изучение Луны астрофизическими методами (фотометрическими, радиометрическими, поляриметрическими) внесли в последние десятилетия Н. П. Барабашов, А. В. Марков, Н. Н. Сытинская, В. Г. Фесенков, В. В. Шаронов (СССР), О. Дольфюс и Б. Лио (Франция); в радиоастрономические исследования — В. С. Троицкий; в решение проблемы лунной атмосферы — Ю. Н. Липский и В. Г. Фесенков, Д. Койпер (США), О. Дольфюс. Хорошо известны работы А. А. Михайлова по затмениям Луны и Солнца, Ю. Н. Липского и Зд. Копала (Англия) по лунной картографии, А. А. Нефедьева, Ш. Т. Хабибуллина, А. А. Яковкина (СССР) и К. Козиела (Польша) по теории вращения Луны. Следует упомянуть работы по физике Луны В. Н. Жаркова, по истории и внутреннему строению Луны — Б. Ю. Левина и Г. Джеффриса (Англия), по химии лунного вещества — А. П. Виноградова. Многие фамилии не названы здесь только из-за недостатка места. И тем не менее на фоне обширных исследований, проводимых в других областях астрономии, Луна, говоря словами Копала, находилась в «астрономической полубезвестности». О ней вспомнили после 4 октября 1957 г. — дня, который ознаменовал революцию в астрономии: из наблюдательной она начала превращаться в экспериментальную науку.

Советские автоматические лунные станции

2 января 1959 г., менее чем через 15 месяцев после вывода на орбиту первого искусственного спутника Земли, с территории СССР была запущена первая космическая ракета. Ее траектория рассчитывалась так, чтобы обеспечить

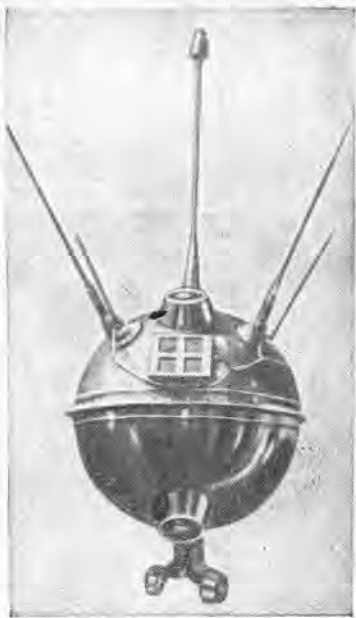


Рис. 15. Автоматическая межпланетная станция «Луна-1»

попадание на Луну или прохождение в непосредственной близости от нее. Это был первый в истории космонавтики полет к Луне. Советская программа исследования Луны с помощью космических летательных аппаратов начала воплощаться в жизнь.

Последняя ступень ракеты весом 1472 кг без топлива несла отделяемый приборный контейнер (вес 361 кг) с аппаратурой для выполнения ряда научных задач, среди которых — обнаружение магнитного поля и радиоактивности Луны.

Приборный контейнер (рис. 15), впоследствии названный станцией «Луна-1», имел на борту несколько радиопередатчиков для траекторных измере-

ний и для передачи информации и устройство для создания «искусственной кометы» — облака натриевых паров, которое фотографировалось с Земли для уточнения траектории.

«Луна-1» не встретила с Луной. Пройдя на расстоянии 6000 км над поверхностью Луны, она через несколько дней вошла в область пространства, где притяжение Солнца стало уже влиять на ее движение сильнее, чем притяжение Земли и Луны. Станция перешла на траекторию движения вокруг Солнца и превратилась в первую искусственную планету Солнечной системы.

Этот запуск во многом был экспериментальным: впервые аппарату, созданному человеком, была сообщена вторая космическая скорость, впервые проверена радиосвязь на расстояниях до 1 млн. км, впервые были подтверждены баллистические расчеты и опробованы методы контроля траектории с помощью наземных радиотехни-

ческих средств и путем оптических наблюдений за «искусственной кометой». Открылась эпоха полетов с Земли к другим небесным телам.

Следующая советская космическая ракета с автоматической станцией «Луна-2» была запущена 12 сентября 1959 г. После разгона до второй космической скорости последняя ступень ракеты и станция (т. е. контейнер с научными приборами и радиоаппаратурой) были разделены, и к Луне параллельными курсами полетели два космических объекта.

Станция «Луна-2» должна была провести исследования магнитных полей Земли и Луны, поясов радиации вокруг Земли, интенсивности и вариаций интенсивности космического излучения, тяжелых ядер в космическом излучении, газовой компоненты межпланетного вещества, метеорных частиц.

При запуске «Луны-2» был использован опыт полета первой космической ракеты, и «Луну-2» удалось вывести на расчетную траекторию с точностью, обеспечившей попадание в Луну. Точность прогнозирования движения ракеты была уже настолько высокой, что расчетный момент падения на Луну отличался от фактического всего на 150 секунд. Для контроля движения ракеты на среднем участке полета была создана искусственная комета, прошедшая успешное испытание на первой ракете.

14 сентября в 0 час. 02 мин. 24 сек. московского времени станция «Луна-2» достигла лунной поверхности. Первый космический перелет с Земли на другое небесное тело свершился.

Место падения первоначально было определено с погрешностью до 200—300 км. После обработки траекторных измерений район был уточнен: восточнее Моря Ясности, вблизи кратеров Архимед, Аристилл и Автолик. Существуют и более точные указания на место падения станции. Так, астрономы обсерваторий в Будапеште и Байе (Венгрия) и в Упсале (Швеция) утверждают, что в момент падения ракеты на Луну наблюдали облако поднятой пыли на северных склонах Апеннин, т. е. в районе, указанном в информации ТАСС. В Упсале это облако было даже сфотографировано.

Всего три недели отделяют запуск «Луны-2» от запуска «Луны-3» (4 октября 1959 г.). Но «Луна-3» не похожа на двух своих предшественниц. Иной внешний вид стан-

ции, иной состав аппаратуры, иные задачи, иная орбита. Словом, этот запуск не был повторением двух предыдущих.

Станция была сообщена скорость чуть меньше параболической (второй космической), т. е. она была по сути дела выведена на эллиптическую орбиту спутника Земли с очень большим эксцентриситетом и с расстоянием от Земли в апогее около 0,5 млн км. Станция должна была пройти вблизи и несколько южнее Луны. Лунное притяжение должно было отклонить ее путь к северу, чтобы она обогнула Луну и, двигаясь по новой эллиптической орбите, приблизилась к Земле со стороны северного полушария, где с ней удобнее поддерживать радиосвязь с территории СССР.

Возвращение станции к Земле создавало благоприятные условия для передачи с нее информации. А о том, какая информация была собрана и передана в первую очередь, говорил сам факт облета станции вокруг нашего спутника. Это, конечно же, фотографии невидимой с Земли стороны Луны. Основным оборудованием станции, весившей 278,5 кг и отделенной от ракеты-носителя сразу после вывода на орбиту, и были устройства, обеспечивавшие получение снимков и передачу их на Землю: фототелевизионная аппаратура с автоматической обработкой пленки, оптические и гироскопические средства ориентации станции относительно Луны и Солнца в период фотосъемки и радиотехнические устройства. Имелся также комплекс научной аппаратуры.

По эллиптической орбите искусственного спутника Земли станция совершила еще 11 витков, но с Луной больше не сближалась. Затем она, по-видимому, вошла в атмосферу Земли и сгорела.

Полет «Луны-3» примечателен тем, что впервые притяжение Луны было использовано для значительного изменения траектории полета. Умелое использование гравитационных полей Земли и Луны позволяет вообще осуществлять полеты по очень интересным траекториям; например, для облета Луны могут быть реализованы траектории, показанные на рис. 16.

Полетом «Луны-3» был завершён этап, когда на заданную трассу полета ракета выводилась подачей управляющих импульсов вблизи Земли. Дальнейшие технические задачи можно было решить лишь путем управления космическим аппаратом на участке подлета к Луне.

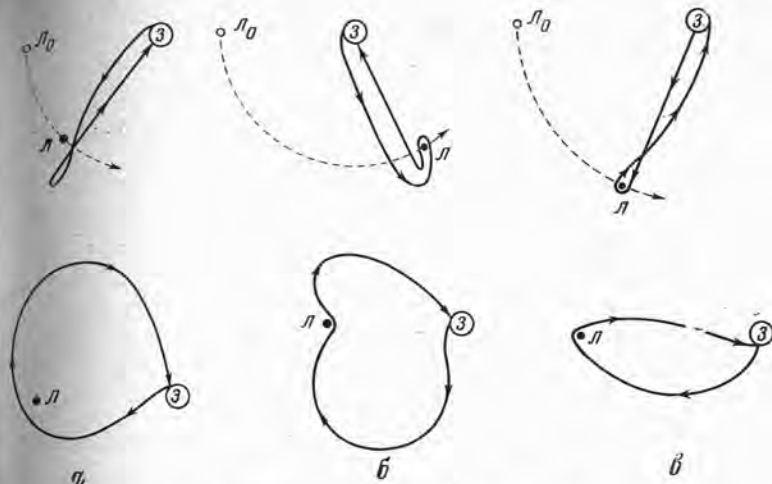


Рис. 16. Несколько возможных траекторий облета Луны (по В. А. Егорову):

- | | |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>а — облет с вертикальным возвращением в земную атмосферу;</p> <p>б — «долетная» траектория, на которой космический аппарат полностью за Луну не заходит;</p> <p>в — облет с касательным возвращением в атмосферу.</p> | <p>г — фактическая форма траекторий; в нижнем ряду — движение аппарата относительно линии, соединяющей Землю и Луну;</p> <p>Л₀ — положение Луны в момент старта космического аппарата;</p> <p>Л — в момент его наибольшего сближения с Луной;</p> <p>З — Земля</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Нужно было время для проработки новых идей, новых технических решений, для испытания новых систем и для отработки их в реальных условиях космического полета.

Наступил перерыв в 3,5 года, в течение которого космические исследования велись в других направлениях и который ознаменовался полетом Ю. А. Гагарина и первыми запусками советских ракет к Венере и Марсу; затем были предприняты новые запуски к Луне.

В 1963—1970 гг. к Луне было направлено 19 космических летательных аппаратов серий «Луна» и «Зонд», в том числе пять «Лун» для выполнения ряда исследований на трассе Земля — Луна и для решения задачи мягкой посадки на Луну, две — для посадки на лунную поверхность, пять — на окололунные орбиты, один

«Зонд» — на пролетную траекторию для опробования вблизи Луны оборудования, предназначенного для исследования планет, и четыре «Зонда» — для облета Луны с возвращением на Землю. «Луна-16» и «Луна-17» стоят в этом ряду на особом месте, и о них мы будем говорить отдельно, в пятой главе.

Станция «Луна-4», как и последующие станции этой серии, сначала вместе с последней ступенью ракеты-носителя была выведена на промежуточную орбиту спутника Земли. Время «ожидания» ракеты на околоземной орбите было использовано для уточнения параметров ее движения, что позволило далее со значительной точностью перевести ее на траекторию полета в сторону Луны. Через трое с половиной суток станция прошла на высоте 8,5 тыс. км над поверхностью Луны и далее, подобно «Луна-3», продолжала двигаться по сильно вытянутой орбите спутника Земли (расстояние от Земли в перигее около 90 тыс. км и в апогее — около 700 тыс. км). Затем под влиянием гравитационных возмущений со стороны Солнца и Луны она должна была выйти из сферы земного притяжения и превратиться в спутник Солнца.

9 мая 1965 г. запущена станция «Луна-5». На следующий день после старта была проведена коррекция ее траектории, обеспечившая попадание станции в заданный район Луны.

Всякая коррекция траектории состоит в том, что космическому летательному аппарату дается импульс скорости в определенном направлении. Векторная сумма скорости, имевшейся у аппарата, и скорости, полученной при коррекции, определяет собой его дальнейшее движение. Понятно, что нужно выдержать не только величину импульса (которая при известных массе аппарата и тяге двигателя определяется длительностью работы двигателя), но и его направление. Для этого аппарат должен быть определенным образом ориентирован в пространстве.

Для ориентации станции «Луна-5» перед ее коррекцией была использована система астроориентации, следившая за Луной и Солнцем.

12 мая в 22 час. 10 мин. московского времени «Луна-5» достигла поверхности Луны в районе Моря Облаков. Перед завершением полета на станции обрабатывались элементы системы мягкой посадки.

Месяц спустя, 8 июня 1965 г., стартовала ракета со

станцией «Луна-6». Схема ее полета совпадала со схемой полета предыдущей «Луны». За время полета «Луны-6» с ней проведено более десяти сеансов связи, в ходе которых с Земли передавались управляющие команды, а со станции — телеметрическая информация. Проводились траекторные измерения. В нужный момент, вечером 9 июня, была подана команда на проведение коррекции; система астрономической ориентации позволила выполнить необходимые маневры, был включен корректирующий двигатель, который, однако, вовремя не выключился; в результате станция прошла на значительном удалении от Луны.

Станции «Луна-7» и «Луна-8» были выведены на трассы полета к Луне соответственно 4 октября и 3 декабря 1965 г. Обе станции были снабжены системами мягкой посадки на поверхность Луны. На них имелась научная, телеметрическая и другая измерительная аппаратура, которая включалась как автоматически в соответствии с программой полета, так и по радиокомандам с Земли. Успешно была проведена коррекция траектории обеих станций, причем для коррекции станции ориентировались в пространстве с помощью солнечных и лунных датчиков.

При подлете станций к Луне выполнялись операции, необходимые для осуществления мягкой посадки. В обоих случаях полностью выдержать режим мягкой посадки не удалось. Станции прилунились в Океане Бурь, западнее кратера Кеплер, в районе кратеров Рейнер и Марий.

Большой опыт эксплуатации систем станций «Луна-4» — «Луна-8» давал основания считать, что при очередном запуске межпланетной станции этой серии мягкая посадка на Луну может быть успешно выполнена.

В этот же период для изучения Луны была использована одна из серии автоматических станций, предназначенных для исследования «дальнего» космоса, — станция «Зонд-3».

Запуск состоялся 18 июля 1965 г. сначала на орбиту спутника Земли, а с нее — на траекторию, обеспечивающую пролет станции вблизи Луны и дальнейший выход на гелиоцентрическую орбиту. Основная цель запуска — сбор научных данных в далеком космическом пространстве.

Дата запуска и траектория полета выбраны так, чтобы при прохождении станции около Луны можно было почти получить фотографию части ее обратной стороны,

оставшейся неотснятой в 1959 г.; время пролета выбрано такое, чтобы обеспечить осмотр поверхности при наиболее благоприятных условиях освещения. В течение 68 мин. сделано 25 снимков Луны; на Землю они были переданы позже, когда станция находилась уже в двух с лишним миллионах километров от Земли. Обратило на себя внимание высокое качество снимков. Даже на газетных репродукциях была видна масса четко выделяющихся деталей. Это неудивительно, так как каждый кадр передавался неоднократно с разложением почти на миллион элементов.

В дальнейшем изложении мы несколько отступим от хронологической последовательности и расскажем последовательно об аппаратах, совершивших мягкую посадку на Луну, о вышедших на орбиты спутников Луны и, наконец, о вернувшихся после облета Луны на Землю.

Падение или посадка на Луну, облет Луны, выход на орбиту спутника Луны — это задачи собственно космонавтики, т. е. баллистики (небесной механики) и управления движением космического аппарата. Но эти наиболее очевидные задачи космического полета — далеко не все его задачи. Всякий полет помимо решения той или иной задачи космонавтики преследует определенные научные цели. Так, можно сказать, что «Луна-3» была запущена для облета Луны; но, может быть, справедливее считать, что этот запуск был предпринят для фотографирования обратной стороны Луны, средством для чего был вывод космического аппарата на траекторию облета Луны.

Первым в истории летательным аппаратом, совершившим мягкую посадку на Луну, была советская автоматическая станция «Луна-9». Это событие произошло в 21 час 45 мин. московского времени 3 февраля 1966 г. западнее кратеров Рейнер и Марий, в Океане Бурь. Станция, запущенная 31 января, прошла по заданной траектории и выполнила все необходимые операции, детали которых были отработаны на предшествующих «Лунах». На расстоянии около 8,5 тыс. км от центра Луны станция была определенным образом ориентирована и далее сохраняла эту ориентацию с помощью оптических датчиков, следивших за Солнцем и Землей. На высоте около 75 км над поверхностью Луны по команде радиовысотомера была включена тормозная установка, погасившая скорость станции с 2600 м/сек практически до нуля. По достижении

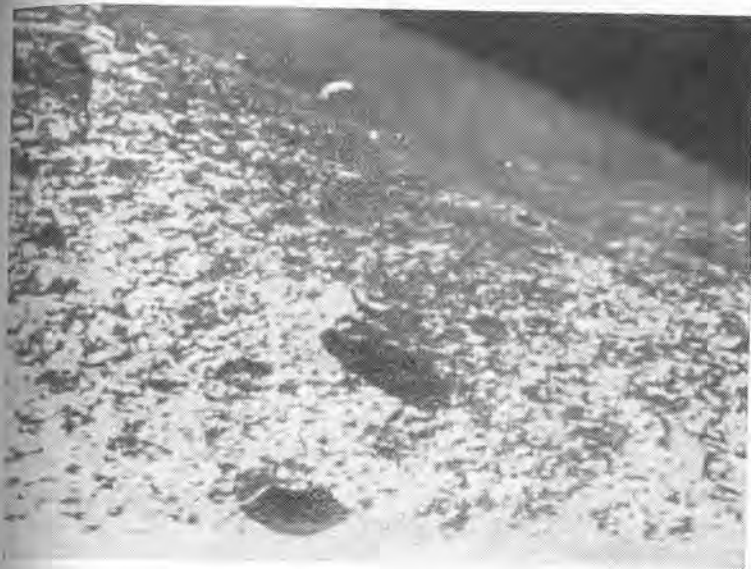


Рис. 17. Фрагмент панорамы, переданной станцией «Луна-9»

поверхности станция с системой амортизации отделилась от двигательной установки и прилунилась недалеко от нее. Затем раскрылись металлические лепестки, защищавшие телекамеру от механических повреждений. В открытом состоянии они придают устойчивость сферическому корпусу станции и служат в качестве антенны.

4 февраля со станции была передана круговая телевизионная панорама лунного ландшафта. Это был первый внеземной пейзаж, увиденный человеком (рис. 17). 5 и 6 февраля панорама местности была передана еще два раза. Между вторым и третьим сеансами передачи станция немного осела на грунте; при этом камера несколько сместилась, и это дало возможность подобрать из фрагментов второй и третьей панорам стереопары. Серия панорам, изображающая местность при различных высотах Солнца (от 7 до 27°) над горизонтом, представляла исключительную ценность для исследования структуры лунной поверхности (размеров впадин, высот, формы выступов и т. п.). Со станции передавалась и другая научная информация.

Очень важен сам факт осуществления мягкой посадки: ведь до этого времени не было стопроцентной уверенности, что поверхность Луны твердая и пригодна для посадки тяжелых космических аппаратов.

Станция «Луна-13», запущенная 21 декабря того же года и 24 декабря совершившая мягкую посадку в Океане Бурь, внешне напоминала «Луну-9»; однако этой станции был запланирован увеличенный объем научных задач, в связи с чем на ней были установлены дополнительные приборы: штамп-грунтомер для определения механических свойств самого наружного слоя лунного грунта и радиационный плотномер для определения удельного веса (плотности) породы. После раскрытия лепестковой антенны эти приборы специальными рычажными механизмами были вынесены на лунную поверхность за 1,5 м от станции. Станция была снабжена также прибором, определяющим длительность и величину перегрузки в момент прилунения, — динамографом. Показания динамографа использовались для оценки механических свойств (твердости) поверхностного слоя Луны.

«Луна-13» опустилась на лунную поверхность ночью, за шесть с половиной часов до восхода Солнца. Солнце взошло 25 декабря в четвертом часу утра по московскому времени и поднималось почти отвесно, поскольку станция находилась недалеко от лунного экватора. С подъемом находилась недалеко от лунного экватора. С подъемом Солнца тени от деталей рельефа укорачивались, но почти не меняли направления. Три круговые панорамы ландшафта были переданы при высоте Солнца над горизонтом 6, 19 и 32°, т. е. при существенно различной длине теней. К тому же отражательная способность лунной поверхности очень сильно зависит от условий освещения. Поэтому один и тот же ландшафт на трех панорамах, как и на панорамах «Луны-9», выглядит по-разному, и сопоставление этих панорам очень интересно для специалистов.

Первым искусственным спутником Луны стала автоматическая станция «Луна-10». Она стартовала 31 марта 1966 г. на орбиту спутника Земли, с которой была переведена на траекторию, проходящую вблизи Луны. Когда станция подлетала к Луне, ее развернули так, чтобы направить сопло двигательной установки против движения. Вблизи периселения был включен двигатель; скорость станции уменьшилась с 2,10 до 1,25 км/сек. Благо-

даря этому ее траектория, имевшая относительно Луны форму гиперболы, сжалась в эллипс, а сама «Луна-10» из межпланетной станции превратилась в спутник Луны. На орбите спутника она активно существовала с 3 апреля по 30 мая 1966 г., сделав за это время 450 оборотов вокруг Луны. Параметры орбиты «Луны-10»: высота над поверхностью в периселении около 350 и в апоселении около 1000 км, наклон к плоскости экватора 72°, период оборота около 3 часов. Под влиянием различных возмущений эти величины постепенно менялись.

По сообщению ТАСС от 10 апреля 1966 г., станция имела следующую аппаратуру для исследования Луны: трехкомпонентный магнитометр для изучения магнитного поля Луны; гамма-спектрометр для исследования интенсивности и спектрального состава ее гамма-излучения; счетчики для регистрации различных заряженных частиц с целью обнаружения ионосферы Луны; ионные ловушки для изучения солнечного ветра и поиска ионосферы Луны; датчики для регистрации микрометеоров; инфракрасный датчик для определения суммарного теплового излучения Луны; счетчики фотонов для измерения флуоресценции пород лунной поверхности.

Кроме того, сама станция как космическое тело, движущееся вблизи Луны, служила средством для изучения лунного гравитационного поля.

В сообщении ТАСС приводились первые научные результаты полета «Луны-10». Так, указывалось, что напряженность магнитного поля Луны 5 апреля составляла всего 15—20 гамм, причем было неясно, собственное ли это магнитное поле Луны или же «хвост» земного магнитного поля, который в этот день мог зацепить Луну. Вещество лунной поверхности по характеру радиоактивного излучения оказалось похожим на базальт. В окрестностях Луны были отмечены повышенная интенсивность потоков электронов и повышенная по сравнению с межпланетным пространством плотность микрометеоров.

«Луна-11», запущенная 24 августа и вышедшая на орбиту спутника 28 августа 1966 г., имела много общего с «Луной-10». Состав ее научной аппаратуры был почти таким же: приборы для изучения гамма- и рентгеновского излучения и флуоресценции лунной поверхности, для измерения концентрации метеорных частиц и интенсивности корпускулярных потоков.

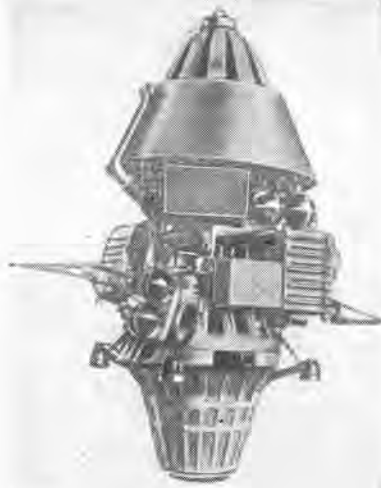


Рис. 18. АМС «Луна-12»

Элементы орбиты «Луны-11»: высота над поверхностью Луны от 160 до 1200 км, период обращения около 3 час., наклон орбиты к экватору около 27°. Таким образом, комплекс исследований, которые «Луной-10» выполнялись на орбите, достигающей высоких широт Луны, «Луна-11» повторила в близэкваториальной зоне. Ее активное существование прекратилось 1 октября 1966 г. после израсходования энергии бортовых источников тока. За время активного существования станция совершила 277 оборотов вокруг Луны; с ней проведено 137 сеансов радиосвязи.

Основные даты полета станции «Луна-12»: 22 октября 1966 г. — запуск; 25 октября — переход на окололунную орбиту с высотой от 100 до 1740 км и периодом обращения 3 час. 25 мин.; 26 октября — фотографирование участков лунной поверхности; 19 января 1967 г., после 602 витков по орбите и 302 сеансов радиосвязи, — прекращение активного существования.

«Луна-12» (рис. 18) — первый из советских искусственных спутников Луны, который был снабжен фототелевизионной системой. Поскольку для фотографирования Луны нужна определенная ориентация корпуса станции, было использовано то обстоятельство, что станция ориентируется перед торможением. Эта ориентация удерживалась после перехода станции на орбиту спутника Луны. Фотографирование началось, когда станция, двигаясь по орбите, достигла освещенной части поверхности Луны, и продолжалось, пока с высот от 100 до 340 км не была снята полоса лунной поверхности. Полученные снимки сначала были переданы на Землю ускоренно, в режиме просмотра; затем наиболее интересные из них передава-

лись вторично, в нормальном режиме, с разложением на 1100 строк. Мельчайшие различимые на снимках кратеры имеют 15—20 м в поперечнике.

Станция «Луна-12» продолжала исследования гамма-излучения и флуоресцентного излучения поверхности, плотности микрометеоров, корпускулярных потоков, гравитационного поля Луны, начатые «Луной-10» и «Луной-11».

«Луна-14», запущенная 7 апреля 1968 г. и вышедшая на орбиту спутника Луны три дня спустя, предназначалась для дальнейшего изучения гравитационного поля Луны, корпускулярных потоков от Солнца, космических лучей, а также для исследования условий прохождения радиосигналов между Землей и станцией при разных положениях станции относительно лунной поверхности, в частности в моменты захода станции за Луну.

По программе полета «Луна-15» существенно отличалась от предыдущих спутников Луны и была сходна со станциями, направленными к Луне позже, о которых будет рассказано в пятой главе. Запущенная с Земли 13 июля 1969 г. «Луна-15» 17 июля вышла на орбиту спутника Луны, на которой находилась четыре дня. В этот период выполнялись маневры на орбите, готовящие станцию к посадке в заданную точку Луны. Испытывались новые навигационные системы. Дважды проводилась коррекция орбиты. 19 июля станция была переведена на орбиту с высотой над поверхностью 221 км в апоселении и 95 км в периселении и с наклоном к плоскости лунного экватора 126° (поскольку угол между двумя плоскостями не может превышать 90°, то наклон 126° — понятие условное. Он означает «попятное» движение спутника, которое с северного полюса Луны наблюдается происходящим не против, а по часовой стрелке). 20 июля орбита была «опущена»: высота над поверхностью в апоселении уменьшилась до 110, и в периселении — до 16 км. Наклон к экватору стал равным 127°. 21 июля включена тормозная установка, станция сошла с орбиты и достигла лунной поверхности.

Следует пояснить, что при включении тормозного двигателя с целью посадки на Луну станция благодаря уменьшению горизонтальной составляющей скорости все круче отклоняется вниз. Но так как скорость ее движения по окололунной орбите всего около 1,5 км/сек, то эта скорость гасится до нуля сравнительно быстро (у «Луны-15» — за 4 минуты), и станция успевает спуститься с

орбиты всего на 10—20 км. Очевидно, в момент, когда ее скорость сведена к нулю, она и должна оказаться на поверхности Луны. Поэтому если нужно посадить спутник Луны, его сначала переводят на низкую орбиту (с высотой над поверхностью в периселении 10—20 км) и двигатель всегда включают вблизи периселения. Так делалось на советской станции «Луна-15» и последующих за ней станциях, так же поступали американцы при посадке на Луну кораблей «Аполлон».

Для уменьшения высоты периселения орбиты перед прилунением выполняется коррекция орбиты. Но коррекции часто проводятся и по ряду других причин: для задержки или, наоборот, опережения пролета над определенными районами Луны; для компенсации возмущений, вносимых в параметры орбиты аномалиями гравитационного поля Луны; для сближения и стыковки нескольких космических аппаратов. Среди причин можно назвать и такую «экзотическую», как увеличение высоты орбиты над лунной поверхностью с целью уменьшения времени пребывания спутника Луны в земной тени во время затмения Луны Землей, чтобы не допустить переохлаждения спутника и выхода из строя его топливных элементов.

В течение двух с небольшим лет — с осени 1968 по осень 1970 г. — четырежды был совершен облет Луны станциями серии «Зонд». Эти станции в отличие от «Луны-3» облетели Луну на сравнительно небольших высотах над поверхностью (от 1100 до 2400 км). С точки зрения баллистики это не только количественное, но и качественное отличие. Подлетев к Луне со стороны Земли и обогнув Луну, «Зонды» должны были сразу же двигаться обратно к Земле. Для такого искривления траектории им нужно было подлетать к Луне сравнительно медленно, чтобы их скорость лишь ненамного превышала круговую скорость около Луны. Поэтому в сферу преимущественного действия гравитационного поля Луны им также надлежало влететь медленно, а это значит, что и от Земли к Луне они должны были лететь с меньшей скоростью и по более округлым траекториям, чем «Луна-3». Время полета «Зондов» от Земли до периселения 3,5 суток — на одни сутки больше, чем «Луны-3».

Заметим, что время полета к Луне станций, не возвращающихся обратно, бывает меньше, чем время полета

«Луны-3». Так, «Луна-2» совершила перелет менее чем за двое суток. На более долгом пути несравненно сильнее сказываются ошибки выхода на трассу полета к Луне. Так, ошибка при наборе скорости в 1 м/сек при двухсуточном полете к Луне вызывает промах на 380 км, а при четырехсуточном — уже 1800 км. Поэтому «Зонды» в отличие от «Луны-3» практически не могли бы выполнить свои задачи без коррекций траектории.

«Зонд-5» и «Зонд-6» — первые советские космические аппараты, вернувшиеся к Земле от другого небесного тела и потому имевшие перед посадкой вторую космическую скорость. При возвращении первого из них было применено аэродинамическое торможение в атмосфере, после которого он спустился на парашюте в расчетном районе Индийского океана; при посадке «Зонда-6» был использован способ управляемого спуска с учетом аэродинамической подъемной силы спускаемого аппарата. При этом аппарат длительное время летел в атмосфере, постепенно замедляя скорость, а затем спустился на парашюте на территории СССР.

Основные цели этих четырех запусков: облет Луны и возвращение на Землю со второй космической скоростью; фотографирование Луны и Земли; научные исследования на трассе полета и в окололунном пространстве. Расскажем о полете каждого из этих четырех «Зондов» несколько подробнее.

«Зонд-5» был выведен на траекторию полета к Луне 15 сентября 1968 г. с промежуточной орбиты спутника Земли. 17 сентября проведена коррекция траектории; 18 сентября станция облетела Луну, приблизившись к ней до 1950 км. При подлете к Земле проведена вторая коррекция, обеспечившая попадание станции в расчетный коридор входа в атмосферу. Наряду с другими исследованиями станция «Зонд-5» выполняла биологические эксперименты: на ней облетели Луну черепахи и мухидрозофилы.

«Зонд-6», запущенный 10 ноября 1968 г., облетел Луну 14 ноября, снизившись над ее обратной стороной до 2420 км. С высот от 10 000 до 3500 км фотографировалась лунная поверхность. Снимки, доставленные на Землю, по качеству лучше снимков, переданных «Зондом-3», благодаря отсутствию помех, обычно возникающих при передаче изображения по радио. Кроме того, те-

левизионное изображение разлагается на строки, а разрешение фотоизображения зависит только от качества оптики и зернистости эмульсии. На «Зонде-6» исследовались радиационная обстановка вдоль трассы Земля — Луна — Земля и плотность метеорных частиц. Последний эксперимент особенно интересен в связи с тем, что станция на своем пути встречалась с метеорным потоком Леонид. Продолжались биологические эксперименты, начатые на «Зонде-5».

Программы полета станций «Зонд-7» и «Зонд-8» очень сходны. Обе станции должны были провести измерения физических характеристик космического пространства, Луны и окололунного пространства и выполнить цветную фотосъемку Луны. Луна фотографировалась как с высоты около 10 000 км, так и с высот до 2000 км. Снимки с малых высот делались во время облета Луны. Они показывают и ее обратную сторону. Очень эффектно полученные «Зондом-7» снимки Земли, заходящей за лунный горизонт.

По-разному завершались рейсы «Зонда-7» и «Зонда-8». Если первый из них подлетал к Земле со стороны южного полушария, двигался в атмосфере с юга на север и приземлился на территории СССР, то «Зонд-8» приближался к Земле с севера, где с ним удобнее было поддерживать радиосвязь, а закончил полет в Индийском океане. Там его ждали корабли поисково-спасательной службы.

Осуществление запусков станций второго поколения («Луна-16», «Луна-17» и др.) не означает полного прекращения программ, описанных в этой главе. Так, 3 октября 1971 г. была выведена на окололунную орбиту станция «Луна-19», пока самый долгоживущий из советских спутников Луны. В июне 1972 г., спустя 9 месяцев после запуска, станция продолжала передавать многочисленную научную информацию. В частности, она передала на Землю множество снимков лунной поверхности с высоты около 130 км.

Глава 3

Автоматические лунные станции США

В рамках американской программы полетов к Луне были запущены четыре аппарата «Пионер» («Pioneer») на пролетную траекторию, семь аппаратов «Рейнджер» («Ranger») — на траекторию встречи с Луной, пять аппаратов «Лунар Орбитер» («Lunar Orbiter») и два «Эксплорер»

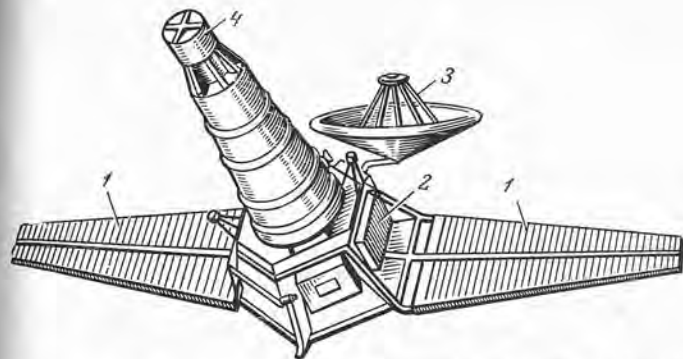


Рис. 19. Схема американской автоматической станции «Рейнджер»: 1 — солнечные батареи; 2 — контейнер с аппаратурой и телекамерами; 3 — остронаправленная антенна; 4 — малонаправленная антенна

(«Explorer») — для выхода на орбиту искусственного спутника Луны, семь аппаратов «Сервейор» («Surveyor») — для мягкой посадки на Луну, три малых искусственных спутника Луны с космических кораблей «Аполлон-15», «Аполлон-16» и «Аполлон-17».

Американская программа началась серией запусков аппаратов «Пионер». В августе — декабре 1958 г. были предприняты четыре запуска и все окончились неудачно. Удачнее прошел полет «Пионера-4». Запущенный 3 марта 1959 г., через два месяца после первой советской космической ракеты, «Пионер-4» содержал светочувствительный элемент, который должен был выдать сигнал при попадании Луны в его поле зрения, и счетчики Гейгера для измерения интенсивности радиации.

Из-за погрешностей вывода на трассу полета аппарат прошел в 60 тыс. км от Луны, втрое дальше, чем намечалось. На этом расстоянии ни светочувствительное устройство, ни счетчики Гейгера полезной информации о Луне не дали. При дальнейшем движении «Пионер-4» вышел из сферы действия Луны и Земли и превратился во вторую (после «Луны-1») искусственную планету Солнечной системы.

Последующие аппараты серии «Пионер» не предназначались для полетов к Луне. Так, «Пионер-10» в 1972 г. был запущен в направлении планеты Юпитер.

Проект аппарата «Рейнджер» («Странник») начал создаваться в 1959 г., когда в Национальном управлении аэронавтики и космонавтики (НАСА) обдумывали пилотируемый облет Луны. Аппараты «Рейнджер» создавались для получения крупномасштабных изображений лунной поверхности. Каждый из них был оснащен шестью телевизионными камерами (рис. 19), которые должны были включаться за 15—20 мин. до падения аппарата на Луну и вести передачу непрерывно до момента столкновения с Луной. Понятно, что камеры нацеливались на Луну заблаговременно с помощью системы ориентации.

Запуски аппаратов этой серии начались в 1961 г. Тогда для отработки аппаратуры два «Рейнджера» были выведены на орбиты искусственных спутников Земли. Затем за трехлетний период, с 26 января 1962 г. по 21 марта 1965 г., направлено к Луне семь аппаратов. Три из них достигли Луны, однако передать изображение ее поверхности не смогли. Один отклонился от расчетной траектории, пролетел мимо Луны и превратился в искусственную планету. Последние три аппарата успешно выполнили намеченную программу.

«Рейнджер-7» достиг лунной поверхности 31 июля 1964 г. В течение 17 мин. 13 сек., предшествовавших падению, он передал на Землю 4316 снимков лунной поверхности в районе маленького кратера Бонплан Р. Первый снимок передан с высоты 2200 км, последний, сделанный с высоты около 300 м, аппарат успел передать лишь частично. Снимки были хорошего качества. На последних, сделанных с малой высоты, видны кратеры диаметром около 1 метра. Один из снимков «Рейнджера-7» воспроизведен на рис. 6. Юго-восточная окраина Океана Бурь, где упал «Рейнджер-7», в ознаменование этого события называется теперь Морем Познанным.

17 февраля 1965 г. был запущен «Рейнджер-8», который за 23,1 минуты, предшествовавших прилунению, передал 7129 снимков поверхности Моря Спокойствия.

Исключительно интересен район, в котором прилунился «Рейнджер-9». Это дно кратера Альфонс, того самого, в котором в 1958 г. Н. А. Козырев и В. И. Езерский в Крымской астрофизической обсерватории наблюдали извержение или выделение газов из недр Луны. «Рейнджер-9» передал более 5000 снимков. На рис. 10 представлен один из этих снимков, сделанный за 170 сек. до момента прилунения.

Разработка двух следующих крупных серий космических аппаратов для исследования Луны — «Сервейор» и «Лунар Орбитер» — была тесно связана с разработкой программы пилотируемого полета на Луну. Решение таких научных задач, как изучение лунного гравитационного поля, физических условий на лунной поверхности, рельефа, механических свойств и химического состава лунного грунта, было необходимо не только для «чистой» науки, но и в прикладных целях, для обеспечения полета пилотируемого космического корабля: уточнения баллистических расчетов окололунных траекторий и выбора схемы мягкой посадки на Луну, оценки условий работы и работоспособности космонавтов на Луне.

Запуски по обеим программам начались летом 1966 г.; обе программы завершены в начале 1968 г.: последний из «Сервейоров» прекратил передачи с лунной поверхности в феврале 1968 г., а последний из «Орбитеров» замедлил движение, когда по команде с Земли был включен его тормозной двигатель, и упал на Луну 31 января 1968 г.

Работы по созданию «Сервейора» — аппарата для мягкой посадки на Луну — начались в 1960—1961 гг. Сначала предполагалось, что пилотируемые корабли «Аполлон» будут готовы в 1967 г. Этим и определялся срок завершения программы «Сервейор» — 1966 год. С 1963 по 1966 г. НАСА рассчитывало запустить не менее 15 аппаратов этой серии. Затем, как это часто бывает, обнаружились технические, а также финансовые трудности, в результате сроки были заметно отодвинуты, а намеченное количество запусков сокращено вдвое.

Первый «Сервейор» запущен 30 мая 1966 г. Официально объявленные цели запуска: испытания ракеты-носителя; испытания систем коррекции траектории и систем мягкой посадки; испытания средств связи; получение телевизионных изображений лунной поверхности и опор аппарата для оценки величины их погружения в лунный грунт.

После двух с половиной суток полета, за время которых была проведена одна коррекция траектории, в 9 час. 18 мин. московского времени 2 июня 1966 г. станция совершила посадку в Океане Бурь. После сеанса проверки состояния бортовой аппаратуры, проведенного по каналам телеметрии, станция перешла к передаче на Землю изображений лунной поверхности. Передачи велись до 14 июня

(до наступления лунной ночи) и в ограниченном объеме — в течение двух последующих лунных дней.

«Сервейор-2» из-за технических неисправностей не смог осуществить мягкую посадку. «Сервейор-3» был выведен на трассу полета к Луне 17 апреля 1967 г. и прилунился 20 апреля (заметьте, что все «Сервейоры», кроме последнего, садилась вблизи лунного экватора, в полосе, намечавшейся тогда для посадки кораблей «Аполлон»). Аппарат опустился в кратер диаметром около 200 м и глубиной около 15 м, вследствие чего горизонт на его снимках оказался очень близким. Вскоре после посадки началась передача на Землю телевизионных изображений и операции с ковшем-захватом, которые также контролировались с помощью телевидения. Аппарат работал до наступления лунной ночи 3 мая; впоследствии связь с ним не восстановилась.

Полет «Сервейора-4» закончился неудачно: за несколько секунд до расчетного момента мягкой посадки на Луну связь с ним внезапно прервалась. «Сервейор-5», запущенный 8 сентября 1967 г., передавал изображения лунного ландшафта сначала с разверткой на 200, а затем на 600 строк. В день прилунения начались эксперименты с альфа-анализатором химического состава грунта. Аппаратура «Сервейора-5» работала до наступления лунной ночи 24 сентября и в течение следующего лунного дня. Изображения, переданные во второй лунный день, были низкого качества, так как ночной холод отрицательно сказался на работе телевизионного передатчика.

«Сервейор-6» был запущен 7 ноября и посажен на Луну 10 ноября 1967 г. Это первый из «Сервейоров», опустившийся в сильно пересеченной местности (в Центральном Заливе). 17 ноября был выполнен эксперимент по перемещению аппарата путем кратковременного включения его двигателей. Объявленные цели этого эксперимента: повторная съемка ландшафта для получения стереоскопических изображений и повышения точности определения расстояний на местности; получение изображений грунта, на который действовала струя двигателей; получение изображений следов от опор аппарата на месте первоначальной посадки. Аппарат подпрыгнул на 3 м и опустился в 4 м от начальной точки. Спустя некоторое время возобновилась передача изображений, а альфа-анализатор при перемещении аппарата случайно перевернулся; поскольку

он «смотрел» теперь вверх, а не вниз и не мог давать информацию о грунте, с него стали снимать информацию о космическом излучении.

«Сервейор-7» был посажен в материковый район, удаленный от экваториальной зоны. Этот запуск был наиболее интересен тем, что он давал возможность сопоставить материковый район с экваториальными лунными морями по составу и механическим свойствам грунта и по характеру микрорельефа. Аппарат совершил посадку 10 января 1968 г. недалеко от кратера Тихо и выполнил исследования рельефа с помощью телевизионной камеры, механических свойств грунта с использованием ковша-захвата, химического состава грунта с помощью магнитов и альфа-анализатора. Был проведен эксперимент по применению телекамеры для регистрации лучей, посылавшихся с Земли лазерами через телескопы нескольких американских обсерваторий. Некоторые из световых посылок в телевизионных кадрах обнаружены не были; во другие наблюдались как светлые пятна на поверхности Земли. Передачи с «Сервейора-7» велись в течение двух лунных дней.

Запуск серии однотипных искусственных спутников Луны «Лунар Орбитер» имел целью: фотографирование Луны с близкого расстояния как для нужд селенографии, так и для выбора участков поверхности, пригодных для посадки кораблей «Аполлон»; изучение гравитационного поля Луны по возмущениям орбит «Орбитеров»; изучение метеорной и радиационной обстановки на трассе полета и вблизи Луны; отработку траектории полета к Луне, перехода на селеноцентрическую орбиту и маневров на селеноцентрической орбите.

Из ряда проектов, представленных разными фирмами, был отобран проект фирмы «Боинг»; по этому проекту и были изготовлены аппараты «Лунар Орбитер». Они имели четыре лепестка солнечных батарей; две антенны, вынесенные в противоположные стороны (параболическая и всенаправленная); компактный приборный контейнер, большую часть которого занимала фотоустановка с двумя фотоаппаратами. Вес каждого «Орбитера» — около 400 кг. Схема вывода всех аппаратов «Лунар Орбитер» на селеноцентрические орбиты одинакова: старт с Земли; выход второй ступени ракеты-носителя вместе с космическим аппаратом на круговую геоцентрическую орбиту; повторное включение второй ступени, обеспечивавшее переход на

трассу полета к Луне; одна-две коррекции траектории, включение тормозного двигателя при подлете к Луне, переводившее аппарат на эллиптическую окололунную орбиту. Последующие включения двигателя обеспечивали изменение параметров орбиты в ту или иную заданную сторону. По выполнении программы двигатель снова включался для уменьшения скорости аппарата и обеспечения его падения на Луну.

Как выполнялась программа «Лунар Орбитер»?

Первый из аппаратов 14 августа 1966 г. вышел на заданную окололунную орбиту с высотой около 50 км над поверхностью в периселении и около 1800 км в апоселении и с наклоном к экватору 12° . За 76 дней пребывания «Орбитера-1» на окололунной орбите было получено по 215 снимков каждым из двух фотоаппаратов. Фокусное расстояние одной из камер в восемь раз больше, чем у другой; поэтому с помощью этой камеры надеялись получить снимки с разрешением порядка 1 м на поверхности (при съемке с высоты 50 км), которые должны были дать возможность решить, пригодны ли снятые участки для посадки пилотируемых кораблей. Однако все снимки длиннофокусной камерой получились смазанными из-за недостаточной компенсации сдвига изображения, возникающего при движении аппарата по орбите. Снимки второй камеры получились хорошие и представляют большой научный интерес.

29 октября после включения тормозного двигателя «Лунар Орбитер-1» упал на обратной стороне Луны. Неделю спустя был запущен «Лунар Орбитер-2». Он также был выведен на орбиту с небольшим наклоном к лунному экватору, так как основное его назначение — фотографирование ряда участков поверхности в полосе между экватором и 5° с. ш. и в диапазоне долгот до $\pm 45^\circ$. На одном из этих участков предполагалось увидеть следы падения аппарата «Рейнджер-8» (и действительно, на этом участке был обнаружен кратер, который, по мнению американских специалистов, своим происхождением обязан именно падению «Рейнджера»). В течение месяца каждая из двух камер сделала по 211 снимков.

«Лунар Орбитер-2» находился на орбите спутника Луны до 11 октября 1967 г. Было проведено несколько коррекций орбиты; в частности, 15 ноября 1966 г. орбита была опущена (изменилась высота периселения с 200 на 50 км),

а 8 декабря — повернута (наклонение к экватору изменилось с 12° на $17,5^\circ$). После включения тормозного двигателя аппарат упал на обратной стороне Луны.

«Лунар Орбитер-3» продолжил фотографирование все той же экваториальной полосы. Он вышел на окололунную орбиту 8 февраля 1967 г. и оставался на ней до 9 октября этого года. Фотографирование лунной поверхности продолжалось неделю — с 15 по 23 февраля; на Землю было передано 182 пары снимков участков лунной поверхности как в экваториальной полосе, так и в ряде других районов видимой и невидимой сторон Луны. На одном из снимков виден стоящий на лунной поверхности аппарат «Сервейор-1». Остальное время пребывания аппарата на окололунной орбите было использовано для других исследований.

Снимков, переданных тремя «Орбитрами», оказалось достаточно для выбора мест посадки кораблей «Аполлон». Поэтому два оставшихся аппарата было решено использовать для фотографирования других районов Луны. Для этого нужно было, во-первых, вывести аппараты на полярные орбиты и, во-вторых, вести съемку с большей высоты, поскольку каждая фотокамера может сделать ограниченное количество снимков. По расчетам, фотографирование с высоты порядка 2500 км должно было дать разрешение на поверхности около 60 м при размерах участка, попадающего в кадр второй камеры, примерно 200×900 км, и первой камеры — 2000×2000 км.

Предполагалось, что «Лунар Орбитер-4» отснимет всю видимую сторону Луны и отдельные участки невидимой, а «Лунар Орбитер-5» — большую часть невидимой стороны и в более крупном масштабе — те участки видимой стороны, которые покажутся особенно интересными на снимках «Орбитера-4». Поэтому над видимой стороной Луны его орбита должна была быть значительно ниже.

«Лунар Орбитер-4» выведен 8 мая 1967 г. на окололунную орбиту с периселением на высоте 2700 км над видимой стороной Луны и апоселением в 6000 км над обратной стороной Луны. Наклонение орбиты к экватору $85,5^\circ$. Фотографирование велось до 26 мая. Получено 163 пары снимков, охватывающих 99% видимой и незначительную часть невидимой стороны Луны. Часть снимков имела дефекты из-за нарушения температурного режима фотоаппаратуры. В последующем аппарат использовался для других исследований.

«Лунар Орбитер-5» находился на окололунной орбите с 5 августа 1967 г. по 31 января 1968 г. За это время было проведено несколько маневров. Интересно, что один из маневров был предпринят для сокращения времени пребывания аппарата в земной тени во время затмения 18 октября 1967 г., чтобы не допустить его переохлаждения (была увеличена высота орбиты). С 6 по 18 августа велось фотографирование Луны (получено 212 пар снимков); была также сфотографирована Земля, а в январе 1968 г. «Орбитер-5» сам был сфотографирован с Земли. На снимке 60-дюймового телескопа Аризонского университета он выглядит как звезда 12-й величины, хотя по команде с Земли он был развернут так, чтобы солнечные батареи отражали к Земле падающий на них солнечный свет. С помощью «Орбитера-5» изучалось также гравитационное поле Луны. Изучение эволюции орбиты этого спутника Луны привело к открытию масконов.

Всего аппараты «Лунар Орбитер» передали на Землю 833 пары снимков. Наиболее интересные из них вошли в альбом, выпущенный НАСА в 1970 г. Несколько участков поверхности было сфотографировано под разными углами; эти снимки образуют стереопары.

По особой научной программе был запущен искусственный спутник Луны, имевший конструкторское наименование «IMP-6» («Interplanetary Monitoring Platform», т. е. «межпланетная наблюдательная платформа») и включенный после запуска в серию «Эксплорер» («Эксплорер-35»). Запуск его произведен 19 июля 1967 г., а 22 июля он вышел на окололунную орбиту с высотой над поверхностью 745 км в периселении и 7750 км в апоселении.

«IMP» — серия космических аппаратов для регулярного изучения радиационной обстановки в межпланетном пространстве и связей между Солнцем, Луной и Землей. Изучаются взаимодействия частиц и полей, природа солнечного ветра и космических лучей. Все эти аппараты, кроме «IMP-6», выводились на сильно вытянутые орбиты спутников Земли.

Среди прочей аппаратуры «IMP-6» имел специальный радиопередатчик, направлявший сигналы к поверхности Луны. Отраженный сигнал улавливался на Земле, и по его характеру судили об отражающих свойствах лунной поверхности. По мере движения спутника точка отражения радиосигнала перемещалась по лунной поверхности. После-

дующий анализ показал, что некоторые участки поверхности лунных морей отражают иначе, чем остальная поверхность. Исходя из этого было выдвинуто предположение, что эти участки покрыты слоем сравнительно свежей лавы, еще не разрушенной метеоритной бомбардировкой. Отсюда был сделан вывод, что Луна до недавнего времени сохраняла сейсмическую активность.

Еще один «особый» спутник Луны, «Эксплорер-49», запущен с Земли 10 июня 1973 г. Его конструкторское наименование — «RAE-B» («Radio Astronomy Explorer», т. е. «радиоастроном»). Как и искусственный спутник Земли «RAE-A», запущенный в 1968 г., «RAE-B» предназначен для регистрации радионизлучений от различных космических радиисточников, для чего он снабжен целой серией разных антенн.

Последние три американских спутника Луны — единственные из всех космических объектов, выведенные на орбиты не ракетами, а... пружинными толкателями. 3 августа 1971 г., 25 апреля и 16 декабря 1972 г. они были сброшены в окололунном пространстве с основных блоков кораблей «Аполлон-15», «Аполлон-16» и «Аполлон-17». Эти небольшие (диаметр 35 см, длина 80 см, вес 35 кг) спутники предназначены для исследования гравитационного и магнитного полей Луны и регистрации заряженных частиц (протонов и электронов) в окололунном пространстве. Первый из них прекратил передачу информации спустя полгода после запуска; второй упал на Луну через пять недель после запуска.

Новые запуски к Луне в США пока не планируются.

Глава 4

Программа «Аполлон»

Американская программа экспедиций на Луну «Аполлон» — крупнейшая по продолжительности реализации, по затратам, по числу занятых в ней людей и организаций программа космических исследований. Она включала создание мощной ракеты-носителя «Сатурн-5», космического корабля, специального стартового комплекса и системы наземного обеспечения полета. Программа предусматривала серию запусков кораблей «Аполлон» с постепенным усложнением задач — от непилотируемого полета по око-

лоземной орбите через пилотируемый полет вокруг Земли и облет Луны до посадки на Луну.

В значительной степени на программу «Аполлон» работали программы «Сервейор» и «Лунар Орбитер», а также пилотируемые полеты по околоземным орбитам. Колоссальное сосредоточение средств и людских ресурсов на программе «Аполлон» объясняется тем, что, по мнению руководителей НАСА, пилотируемые полеты к Луне эффективнее, чем непилотируемые, и ряд операций, которые выполняют космонавты, не может быть выполнен автоматами. Одну из причин успешной реализации программы они усматривают в активном участии космонавтов в управлении полетом.

Ракетно-космический комплекс «Аполлон — Сатурн-5» включает в себя ракету-носитель «Сатурн-5», состоящую из трех ступеней. Стартовый вес ракеты до 3000 т, из которых более 2000 т — вес топлива первой ступени. В целом первая ступень, заправленная топливом, весит около 2300 т, вторая ступень — около 500 т. На низкую геоцентрическую орбиту выводятся третья ступень ракеты с уже частично израсходованным запасом топлива и полезный груз — космический корабль «Аполлон» общим весом 130—135 т, из которых около 44 т — вес космического корабля.

Корабль состоит из основного блока с маршевым двигателем и лунной кабины, разделенной на посадочную и взлетную ступени. Лунная кабина устанавливается на ракете под основным блоком. На нее направлен маршевый двигатель основного блока. Поэтому двигатель нельзя включать, пока кабина и основной блок не будут в полете состыкованы головными частями.

Вес корабля распределяется следующим образом (данные «Аполлона-11» и «Аполлона-12»): основной блок 29 т, из которых 19 т — вес топлива; лунная кабина 15 т, включая 11 т топлива; взлетная ступень лунной кабины 4,8 т и посадочная ступень 10,2 т; из этого веса топливо составляет примерно 2,6 и 8,2 т соответственно.

Общая высота системы на старте 110 м. Из них 85 м — высота ракеты и 17,7 м — высота корабля; сверху находится система аварийного спасения. Длина основного блока 10,7 м, лунной кабины — 7 м (3,8 м взлетная и 3,2 м посадочная ступени).

Тяга двигателей первой ступени ракеты около 3500 т,

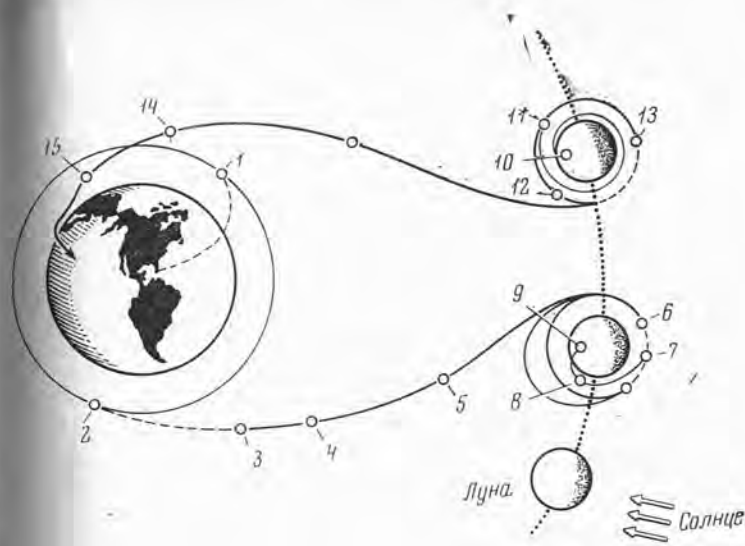


Рис. 20. Схема полета корабля «Аполлон-11» на Луну и обратно

- | | |
|----------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|
| 1 — выход на орбиту ИСЗ; | 9 — посадка; |
| 2 — второй старт; | 10 — старт с Луны; |
| 3 — перестроение отсеков; | 11 — сближение и стыковка взлетной ступени с основным блоком; |
| 4 — отделение последней ступени; | 12 — отделение взлетной ступени; |
| 5 — коррекция траектории; | 13 — переход на трассу полета к Земле; |
| 6 — включение маршевого двигателя для выхода на селеноцентрическую орбиту; | 14 — отделение кабины экипажа от основного блока; |
| 7 — отстыковка лунной кабины от основного блока; | 15 — вход в атмосферу |
| 8 — торможение; | |

второй — 450 т, третьей — 90 т, основного блока — 10 т, посадочной ступени (регулируемая) — от 0,5 до 5 т, взлетной ступени — 1,6 т. Известно, что для взлета ракеты нужно, чтобы тяга двигателя превышала ее вес. Спрашивается, как же при тяге двигателя 1,6 т взлетает с Луны взлетная ступень лунной кабины, весящая 4,8 т? Все дело в разнице величины силы тяжести на Земле и на Луне. 4,8 т на Земле — это 800 кг на Луне, т. е. вдвое меньше тяги двигателя.

Корабли «Аполлон» стартовали с Восточного космодрома США. Ракета с кораблем собиралась в монтажном корпусе в вертикальном положении прямо на стартовом

столе; затем стартовый стол с установленной на нем ракетой и с башней обслуживания переезжал на место старта.

Полет проходил по схеме, изображенной на рис. 20.

Прежде чем стали возможными лунные экспедиции, был проведен ряд непилотируемых запусков, в которых испытывалась ракета-носитель и отрабатывался космический корабль. Так, в феврале 1966 г. совершил 40-минутный полет «Аполлон-1», включавший только основной блок и систему аварийного спасения. «Аполлон-2» не был космическим кораблем как таковым. Это название получил запуск, в котором испытывалась ракета-носитель и изучалось поведение в невесомости горючего. На «Аполлоне-3» в августе того же года изучалось поведение корабля при запусках двигателя и при возвращении в атмосферу со скоростью, немного превышающей первую космическую (8 км/сек).

Полет «Аполлона-4» состоялся в ноябре 1967 г. Для запуска впервые была использована ракета «Сатурн-5». После восьми витков корабля вокруг Земли ему была сообщена дополнительная скорость, он перешел на эллиптическую орбиту, удалился от Земли на 18 тыс. км, а затем вернулся на Землю, войдя в атмосферу со скоростью 11 км/сек.

«Аполлон-5» состоял только из лунной кабины. Ее вывели на геоцентрическую орбиту в январе 1968 г. В этом полете имитировались различные режимы спуска на Луну; затем была отброшена посадочная ступень, а на взлетной ступени отрабатывалась работа двигателя, соответствующая взлету с Луны на окололунную орбиту. На «Аполлоне-6» в апреле 1968 г. в основном повторялась программа «Аполлона-4» и в последний раз перед полетом с людьми испытывалась ракета «Сатурн-5».

В октябре 1968 г. 11-суточный полет по околоземной орбите на корабле «Аполлон-7» совершили Уолтер Ширра, Уолтер Каннингем и Дон Эйзел. Лунная кабина еще не была готова; поэтому «Аполлон-7» состоял лишь из основного блока, неполностью заправленного топливом и весившего 15 т вместо номинальных 29 т.

По первоначальной программе при втором пилотируемом полете предполагалось испытать весь комплекс оборудования корабля «Аполлон» на низкой геоцентрической орбите, а при третьем полете — облететь Луну. Однако ко

второму полету лунная кабина была еще не готова, и было принято решение поменять очередность полетов. В результате космический корабль «Аполлон-8» с космонавтами Фрэнком Борманом, Джеймсом Ловеллом и Уильямом Андерсом 21 декабря 1968 г. был направлен к Луне. Корабль состоял из основного блока; вместо лунной кабины был установлен макет, соответствующий ей по габаритам.

Борман, Ловелл и Андерс первыми из людей увидели, как Земля, постепенно уменьшившись, превратилась в одно из небесных тел. Спустя трое суток после старта, при максимальном сближении корабля с Луной, на высоте около 130 км над лунной поверхностью был включен двигатель корабля, скорость полета уменьшилась и корабль перешел на окололунную орбиту с высотой над поверхностью от 112 км в периселении до 312 км в апоселении. Отделенная от корабля последняя ступень ракеты прошла мимо Луны и стала спутником Солнца. На селеноцентрической орбите корабль находился примерно 20 часов. Один раз за это время была выполнена коррекция орбиты: включив в периселении маршевый двигатель и несколько уменьшив скорость корабля, космонавты опустили орбиту; она превратилась в круговую с высотой над лунной поверхностью порядка 112 км. После восьми витков вокруг Луны был снова включен маршевый двигатель и корабль перешел на трассу полета к Земле. 27 декабря кабина экипажа вошла со второй космической скоростью в земную атмосферу и после аэродинамического торможения опустилась на парашютах в заданном районе Тихого океана.

В этом полете решался большой круг научных и технических задач. Кроме такой важной, имеющей самостоятельное значение цели, как полет человека к Луне, предусматривались испытания ракеты-носителя и основного блока корабля, отработка средств связи, навигации и управления кораблем, оценка эффективности участия космонавтов в управлении (маневры перехода на селеноцентрическую орбиту и схода с нее космонавты выполняли самостоятельно, находясь над обратной стороной Луны, вне зоны радиовидимости с Земли). Научные задачи полета: изучение физических условий в окололунном пространстве, дальнейшее изучение гравитационного поля Луны, оценка пригодности различных районов для

посадки на Луну (именно на основе мнения экипажа «Аполлона-8» был впоследствии выбран район посадки «Аполлона-11»), фотографирование лунной поверхности фото- и кинокамерами, в частности стереосъемка полосы, лежащей в плоскости орбиты корабля. Космонавты должны были также снимать Землю, солнечную корону, противосияние, зодиакальный свет, звезды. Все эти задачи были успешно выполнены.

Полет «Аполлона-8» способствовал увеличению популярности программы «Аполлон» в США и за границей. Эффективность изучения Луны космонавтами признали также те американские ученые, которые ранее отдавали предпочтение автоматическим станциям.

Корабль «Аполлон-9» (космонавты Джеймс Макдивитт, Дэвид Скотт и Рассел Швейкарт) совершил в марте 1969 г. десятисуточный полет по геоцентрической орбите. Основная цель полета — комплексные испытания корабля при возможно более полной имитации условий полета к Луне. На «Аполлоне-9» отрабатывался ряд этапов полета на Луну, включавших перестроение отсеков и отделение корабля от последней ступени носителя, переход двух космонавтов в лунную кабину, ее отделение и переход на другую орбиту, сброс посадочной ступени, встречу взлетной ступени лунной кабины и основного блока, обратный переход космонавтов в основной блок, сброс взлетной ступени. Проводился ряд научно-технических экспериментов; испытывалась бортовая аппаратура; фотографировалась Земля.

Цель полета корабля «Аполлон-10», который состоялся в мае 1969 г. (космонавты Томас Стаффорд, Джон Янг и Юджин Сернан), практически объединяла цели полетов «Аполлона-8» и «Аполлона-9». Были выполнены все этапы полета к Луне, кроме собственно посадки.

Двое с половиной суток, отведенных на полет по окололунной орбите, использовались не только для проверки систем корабля и отработки маневров, необходимых для посадки на Луну, но и для решения ряда научных задач. Основной из них было уточнение характеристик гравитационного поля Луны. Неполнота данных об аномалиях гравитационного поля серьезно беспокоила руководителей программы: отклонения в движении «Аполлона-8» от плоского эллиптического движения оказались столь велики и неопределенны, что его положение в пространстве могло

отличаться от вычисленного всего два часа назад на 4—5 км. Такие непредсказуемые эволюции орбиты могли помешать осуществлению посадки на намеченную площадку. Изучение движения «Аполлона-10» позволило затем уменьшить ошибки прогнозирования движения по окололунным орбитам в несколько раз.

С корабля велась съемка лунной поверхности, а также демонстрация поверхности по цветному телевидению. Особое значение придавалось визуальному осмотру и фотографированию с высоты около 15 км участка, намеченного для посадки «Аполлона-11». Эти крупномасштабные снимки предназначались для детального изучения участка посадки и полосы подхода к нему.

16 июля 1969 г. начался самый знаменательный из полетов по программе «Аполлон»: пилотируемый космический корабль впервые совершил посадку на Луну. Отвечая на вопрос о роли этого полета в истории космонавтики, советский космонавт К. П. Феоктистов сказал: «Думаю, что естественное стремление к самоутверждению свойственно не только отдельным людям, но и коллективам, и человечеству в целом. Высадка на Луну — это акт самоутверждения всего человечества... Но, конечно, значение высадки на Луну не исчерпывается одним только эмоциональным аспектом этого события. Я бы хотел подчеркнуть техническое и научное значение успешной высадки на Луну»*.

При выборе района посадки тщательно изучались фотографии лунной поверхности. Использовались данные визуальных наблюдений с «Аполлона-8» и «Аполлона-10». Учитывались свойства лунного грунта. Участки, которые были выбраны для посадки, лежат в полосе до $\pm 5^\circ$ широты и $\pm 45^\circ$ долготы на равнинной местности с небольшим количеством кратеров и камней и с безопасными подходами. Они «взаимозаменяемы». Если старт с Земли задерживается на несколько суток и по условиям освещенности нельзя посадить корабль на одном участке, то посадка должна производиться на другой, соседний участок. Основной участок находился в западной части Моря Спокойствия.

Посадку на Луну в лунной кабине совершили Нейл

* «Известия», 1969. 22 июля.

Армстронг и Эдвин Олдрин. Майкл Коллинз ожидал их в основном блоке на окололунной орбите.

Вот какими были первые впечатления космонавтов: «Выключив ракетный двигатель, мы проверили аппаратуру, а затем прильнули к иллюминатору. Пыль, поднятая двигателем, сразу осела, видимость стала хорошей. Мы опустились на пологой равнине, изъеденной кратерами, самый большой из которых имел диаметр 15 м. Горизонт был неровный, как бы холмистый; эти холмы, по-видимому, являются краями крупных кратеров.

Лунная поверхность в момент прилунения была ярко освещена и напоминала пустыню в знойный день. Поскольку небо черное, можно было вообразить, что находишься на усыпанной песком спортивной площадке ночью, под лучами прожекторов. Ни звезд, ни планет, за исключением Земли, не было видно*.

После проверки аппаратуры, отказавшись от отдыха, в 6 часов утра московского времени 21 июля Армстронг спустился из кабины на лунную поверхность. Через двадцать минут за ним последовал Олдрин. На поверхности они пробыли два часа и за это время установили приборы и телекамеру, собрали образцы грунта. Какое-то время они потратили на то, чтобы просто освоиться на Луне.

Главным в полете «Аполлона-11» было осуществление лунной экспедиции. Но наряду с этим космонавты имели и научные задания, основным из которых было собирание образцов лунного грунта для доставки на Землю. Эта задача считалась настолько важной, что одним из первых действий Армстронга после выхода на поверхность был сбор камней — создание «аварийного» запаса на случай, если понадобилось бы срочно взлететь с Луны. Камни брались без разбора и засовывались прямо в карман. И только потом начался сбор «документированных» образцов, каждый из которых фотографировали перед тем, как взять его в руки.

Космонавты собрали около 28 кг образцов и установили на Луне три прибора: сейсмометр, лазерный отражатель и лист алюминиевой фольги для определения состава солнечного ветра.

* Н. Армстронг. Исследование лунной поверхности. — «Земля и Вселенная», 1970, № 5.

Алюминиевую фольгу с ловушки солнечного ветра космонавты привезли обратно на Землю. Два других прибора остались на Луне. Лазерный отражатель исправен до сих пор, а сейсмометр работал около двух месяцев.

Спустя 21 час 36 мин. после посадки был включен двигатель взлетной ступени, и семь минут спустя она вышла на эллиптическую окололунную орбиту. 24 июля космонавты приводнились в Тихом океане.

В течение трех недель после приводнения проводились биологические и медицинские исследования. Космонавты находились в карантине. Их, а также привезенные ими образцы лунного грунта всесторонне обследовали, чтобы исключить возможность попадания на Землю лунных микроорганизмов. Правда, никаких признаков существования таких организмов эти обследования не выявили.

Мы не будем останавливаться на том, как проходили полеты следующих экспедиций. Ограничимся рассказом о работе космонавтов на Луне.

Район посадки «Аполлона-12», как и «Аполлона-11», — морская равнина. Этот район в Океане Бурь привлек селекционеров обилием выбросов из кратера Коперник. Непосредственно точка посадки была намечена рядом со стоящим на лунной поверхности аппаратом «Сервейор-3». Одной из целей экспедиции была частичная разборка этого аппарата и доставка деталей на Землю, чтобы в земных лабораториях изучить, как повлиял на материалы конструкции 31 месяц пребывания аппарата на Луне.

Если выход на поверхность Армстронга и Олдрина продолжался два часа, то Чарльз Конрад и Алан Бин пробыли на ней уже больше семи часов — дважды по три с лишним часа. За это время они настолько освоились с обстановкой, что Конрад мог заявить, что они достигли такого положения, когда человек может выполнять на Луне любую работу. В первый выход космонавты устанавливали приборы, собирали камни, взяли несколько колонок грунта высотой до 30 см, во второй выход совершили полутораклометровую прогулку (рис. 21), во время которой и достигли «Сервейора».

«Аполлон-12» доставил новый комплект приборов для экспериментов на лунной поверхности. В нем не было лазерного отражателя, но зато добавились магнитометр, детектор пыли, манометр для определения плотности лун-

ной атмосферы и несколько других приборов. Комплект был снабжен собственной радиоизотопной энергетической установкой. Большинство этих приборов работало значительное время после возвращения экспедиции на Землю и передало по радио немало интересных данных.

Интенсивные исследования вел также Ричард Гордон, ожидавший Конрада и Бина на околулунной орбите. С помощью шести камер, работавших в автоматическом режиме и делавших каждые 20 сек. по снимку, он сфотографировал сплошную полосу лунной поверхности. Кроме того, через длиннофокусный объектив он снимал районы, назначенные для посадки последующих экспедиций.

Как с борта корабля, так и с поверхности космонавты проводили телевизионные передачи. Правда, телекамера на поверхности почти сразу же вышла из строя, и даже такой «испытанный способ», как удар молотком, не вернул ее к жизни.

Вскоре после отлета от Луны космонавты наблюдали великолепную картину затмения Солнца Землей, когда солнечный луч сверкал сквозь узкий серп земной атмосферы, создавая невиданные ранее световые эффекты.

Третью экспедицию в составе Джеймса Ловелла, Джона Суиджерта и Фреда Хейса на корабле «Аполлон-13» постигла неудача. из-за короткого замыкания, при котором была прожжена стенка одного из кислородных баков двигательного отсека основного блока. Не совершив посадку на Луне, экспедиция возвратилась на Землю.

Следующая лунная экспедиция — на «Аполлоне-14» — началась 31 января 1971 г. В ней участвовали Алан Шепард, Эдгар Митчелл и Стюарт Руса. При посадке на Луну основным ориентиром служил кратер Конус (название условное). Другими ориентирами были группы из трех кратеров Триплет и двух кратеров Дублет. На последнем этапе полета лунная кабина прошла над Конусом и прилундился между Триплетом и Дублетом, в трудном для посадки, изрытом кратерами и усыпанном камнями месте.

5 февраля в 18 часов Шепард и Митчелл вышли на поверхность Луны. Они обнаружили много мягкой бурой пыли, сыпучей, как тальк. В пыль были полностью погружены опоры посадочной ступени.

Далее шла обычная последовательность действий: сбор «аварийных» образцов грунта, установка телекамеры,

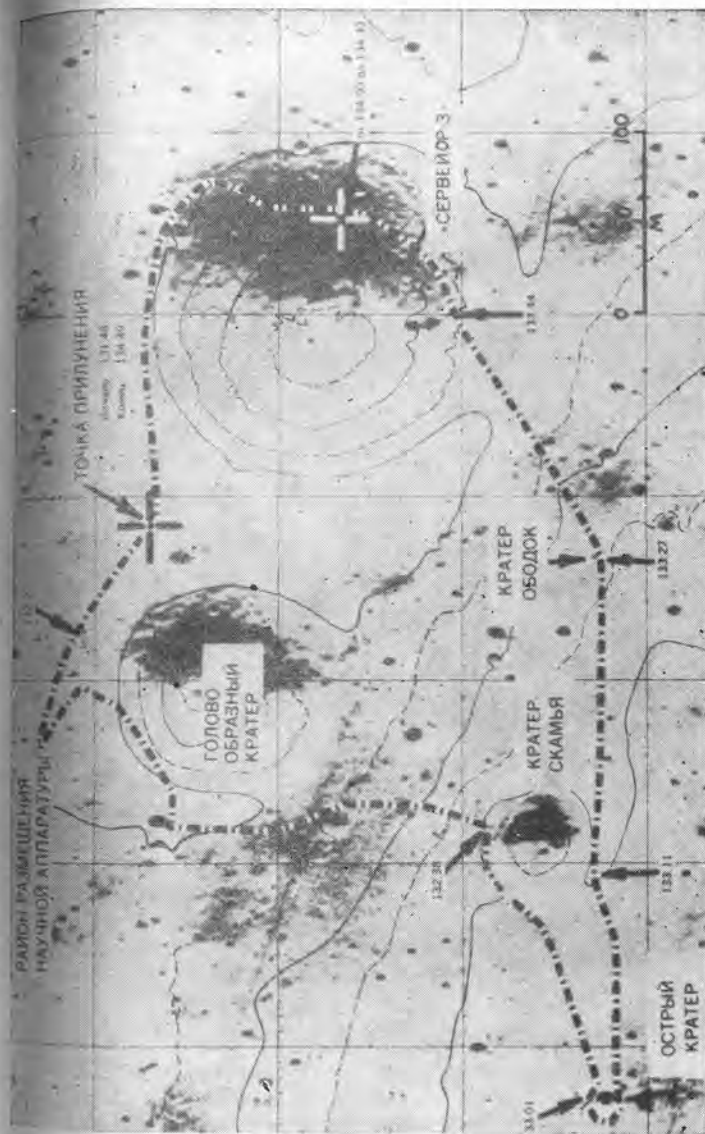


Рис. 21. Маршрут Конрада и Бина («Аполлон-12») Время в часах и минутах дано от момента старта с Земли

остронаправленной антенны и приборов. Место развертывания комплекта приборов находилось почти в 300 м от лунной кабины, и космонавты везли приборы на тележке.

После установки приборов Митчелл прошел вдоль цепи геофонов, подрывая пиропатроны. Космонавты собирали также камни и сделали множество фотоснимков. Продолжительность этой прогулки составила около пяти часов.

Второй выход космонавтов на поверхность состоялся на следующий день и продолжался 4,5 часа. Погрузив магнитометр и приборы для геологических проб на тележку, космонавты направились к кратеру Конус. По пути останавливались у кратеров Триплет. По мере приближения к Конусу подъем становился круче и идти было все тяжелее. Хотя космонавтам позволили несколько выбиться из графика, но кратера они так и не достигли. На максимальном удалении от кабины они, по указаниям селенологов, снова взяли образцы камней, а затем направились в обратный путь. После завершения работы с приборами, взяв последние образцы грунта, космонавты вернулись в кабину и вскоре взлетели с Луны.

Техническое оснащение экспедиций постепенно улучшалось, возрастало количество имевшихся в их распоряжении научных приборов. На «Аполлоне-14» был более сложный комплект приборов, чем на «Аполлоне-12»: появился лазерный отражатель, были добавлены геофоны и гранатомет, тележка для транспортировки некоторых приборов и образцов. Последующим экспедициям было запланировано еще больше экспериментов и, в частности, походы на такие расстояния, которые пешком не удалось бы преодолеть. Эти корабли пришлось снабдить двухместными автомобилями с питанием от аккумуляторов и с запасом хода до 60 км. На поездки отводилось до 20 часов, а общее время пребывания на Луне было доведено до трех суток. Усложнялись и эксперименты на окололунной орбите, в частности выполнялся запуск малых спутников Луны.

На «Аполлоне-15» (экипаж — Дэвид Скотт, Джеймс Ирвин и Альфред Уорден) предусматривались: отработка техники посадки на Луну в очень пересеченном районе у подножия Апеннинских гор (там, где к Апеннинам подходит трещина Хэдли), бурение скважин и установка в них приборов для измерения потоков тепла из глубины, сбор

образцов грунта, фотографирование с поверхности Луны и с окололунной орбиты, развертывание комплекта приборов, испытания и эксплуатация лунохода, запуск спутника Луны. Экипаж совершил три поездки. Первая и самая важная — в угол равнины, примыкающий к подножью горы Хэдли-δ и одновременно к трещине Хэдли, в очень интересное для селенологов место, вторая — вдоль скопления кратеров, которые, как считали астрономы, должны были образоваться одновременно при падении в этом месте множества тел, по-видимому, возникших при взрыве большого метеорита, создавшего кратер Автолик, и, наконец, третья — снова к трещине Хэдли.

После возвращения из третьей поездки космонавты установили луноход так, чтобы его телевизионная камера передала старт взлетной ступени с Луны. И взлет действительно наблюдался с Земли по цветному телевидению.

Если посмотреть на снимок полной Луны, то можно увидеть огромный светлый материк правильной округлой формы, вклинившийся как полуостров между сплошной цепью морей — Нектара, Спокойствия, Паров, Облаков, прерываемой в одном месте Центральным Заливом. Почти посередине этого горного массива, в 80 км к северу от центра кратера Декарт, состоялась пятая высадка космонавтов на Луну («Аполлон-16»). Посадка происходила в сложных условиях, с нерасчетной орбиты. Перед прилунением космонавтам пришлось маневрировать, пока они не нашли безопасное ровное место. Это место оказалось дном кратера с крутыми склонами; другого подходящего места для посадки поблизости не было. Район, намеченный для работы этой экспедиции, вообще очень неровный. Местность сплошь изрыта кратерами диаметром до километра, из которых особенно интересны два молодых 800-метровых кратера, обладающих небольшими системами светлых лучей. Один из них, расположенный в пяти километрах к северу от места посадки, условно назван Северным Лучистым кратером, а второй, в шести километрах к югу, — Южным Лучистым. В программу работы на Луне входили поездки к обоим кратерам и подъем на вал Северного кратера. Селенологов очень интересовали горные породы, оказавшиеся на поверхности Луны сравнительно недавно, после образования этих молодых кратеров. Была запланирована также короткая, трехкилометровая поездка к двум небольшим кратерам, расположенным запад-

нее места посадки. Все три поездки состоялись; общее пройденное расстояние составило 27 км.

На лунной поверхности космонавты Янг и Дьюк оставили много научных приборов, в их числе астрономический прибор — ультрафиолетовую электрофотографическую камеру-спектрограф. С собой они увезли 96 кг образцов лунных горных пород.

Одиннадцатый и последний пилотируемый полет по программе «Аполлон» состоялся в декабре 1972 г. Юджин Сернан, который уже летал на «Аполлоне-10», и Харрисон Шмитт высадились на Луну в районе кратера Литтров (юго-восточный край Моря Ясности); Рон Эванс остался в основном блоке.

Некоторые показатели этой экспедиции были рекордными для полетов по программе «Аполлон»: время пребывания на Луне — 75 часов, общее время работы вне лунной кабины — 22 часа, протяженность поездок по Луне 36 км, скорость передвижения до 18 км в час, вес привезенного на Землю грунта 113 кг. Одно из самых важных научных достижений экспедиции — обнаружение участков поверхности оранжевого цвета. Оранжевая окраска грунта, по-видимому, — результат воздействия на него извергавшихся из недр газов. Ряд данных для науки дали оставленные «Аполлоном-17» на Луне приборы.

Глава 5

Новый этап в советской космической программе исследований Луны

«Луна-16» — первый космический аппарат, предназначенный для решения таких задач, какие не могли выполняться американскими автоматическими станциями и советскими станциями первого поколения. Эти задачи сродни тем, которые решались американскими лунными экспедициями: доставка на Землю лунного грунта и перемещение по Луне с целью изучения уже не только места посадки, а определенного района Луны. Кроме этих основных новых станций решали ряд других научных и технических задач.

Второе качественное отличие новых лунных станций — сложная программа полета, многократное маневрирование на окололунной орбите для обеспечения посадки в зар-

нее намеченную точку поверхности, что также сближает эту программу с программой «Аполлон».

Наконец, новые станции имеют унифицированную посадочную ступень, на которую может быть установлена ракета для взлета с Луны, или луноход, или иной агрегат.

Посадочная ступень этих станций — самостоятельный ракетный блок, имеющий жидкостный реактивный двигатель, топливные баки, приборные отсеки, амортизирующие опоры, антенны. В приборных отсеках посадочной ступени расположены аппаратура управления, стабилизации и ориентации, научные приборы, радиоаппаратура. Снаружи находятся датчики системы астроориентации.

В вариантах «Луна-16», «Луна-18» и «Луна-20» посадочная ступень служила стартовым устройством ракеты «Луна — Земля»; на ней смонтировано грунтозаборное устройство. В варианте «Луна-17» и «Луна-21» на посадочной ступени был установлен луноход.

«Луна-16» была запущена с Земли 12 сентября 1970 г. 17 сентября она перешла на окололунную орбиту, а затем в течение трех дней выполняла маневры для обеспечения посадки в определенную точку — это необходимо, чтобы станция смогла вернуться на Землю. 20 сентября в 8 час. 18 мин. московского времени «Луна-16» совершила мягкую посадку в северо-восточной части Моря Изобилия. Через некоторое время приступило к работе грунтозаборное устройство, оснащенное буром. Бур представляет собой трубку с резами на торце, которая по мере бурения заполнялась грунтом. Специальное приспособление не дает колонке грунта высыпаться из бура после окончания бурения и подъема бура. Буровой механизм укреплен на подвижной штанге с несколькими электроприводами. С помощью этой штанги он устанавливается на грунт в рабочее положение, а после бурения подводится к приемному отверстию возвращаемого аппарата.

Место бурения выбиралось после анализа изображения, переданного телефотометром. Весь ход бурения контролировался оператором на Земле. При перегрузках или перегреве бура бурение приостанавливалось, а затем возобновлялось. По окончании бурения бур вместе с грунтом был введен в приемное отверстие возвращаемого аппарата. Размеры цилиндрической колонки грунта: длина 35 см, диаметр около 2 см. Ее вес несколько превышал 100 г.

Буровая установка и телефотометр, показывавший мес-

то бурения, после извлечения колонки грунта становились ненужными. Поэтому они были установлены на посадочной ступени и остались на Луне.

Возвращаемый аппарат помимо контейнера, который после закладки в него грунта герметически закрывается, имеет парашют, передатчики, аккумуляторы и другое оборудование. К расположенному ниже цилиндрическому приборному отсеку возвращаемый аппарат крепится металлической лентой, снабженной пиротехническим замком. Когда ракета приближается к Земле, пиропатрон по радиокоманде подрывается и освобождает возвращаемый аппарат.

В приборном отсеке размещаются источники тока, приборные системы управления и радиоаппаратура.

Двигательная установка, расположенная под приборным отсеком, состоит из однокамерного жидкостного ракетного двигателя, сферических топливных баков, системы трубопроводов, управляющих сопел. Двигатель имеет сравнительно скромные размеры, так как вес станции на Луне составляет всего $\frac{1}{6}$ земного веса, что существенно облегчает задачу преодоления сил лунного тяготения при взлете с Луны.

Взлет с Луны был произведен в 10 час. 43 мин. 21 сентября. Трое суток спустя отделившийся от ракеты возвращаемый аппарат со скоростью 11 км/сек ворвался в земную атмосферу. Сопrotивление воздуха замедлило его движение, причем перегрузки доходили до 350 единиц (конечно, для пилотируемого корабля такая схема посадки неприемлема). Когда скорость упала до 300 м/сек, открылись тормозной, а затем основной парашюты и аппарат совершил посадку на территории Казахской ССР.

Колонку грунта из материкового района Луны должна была доставить «Луна-18». Однако прилунение ее не удалось: в момент, когда станция уже должна была коснуться лунной поверхности, связь с ней внезапно прекратилась.

Задачу посадки на материке успешно решила запущенная полгода спустя «Луна-20». К месту посадки она полетала над Морем Изобилия, над стоящей на Луне посадочной ступенью «Луны-16». Границу Моря Изобилия и материковой перемычки между Морями Изобилия и Кризисов станция пересекла, двигаясь уже на малой высоте, и прилунилась на маленькой ровной площадке в сильно

пересеченной местности, недалеко от кратера Аполло-вий С. После 27,5 часов пребывания на Луне, выполнив всю программу, станция направилась к Земле и достигла ее 25 февраля.

Как же оказалось возможным вернуть «Луны-16» и «Луны-20» на Землю без коррекций траектории? Здесь сыграло роль то обстоятельство, что сфера притяжения Луны со всех сторон охватывается сферой притяжения Земли. Выйдя из сферы притяжения Луны, станция почти во всех случаях падает на Землю. Важно лишь обеспечить ее попадание в намеченный район Земли. Для этого нужно выполнить три условия: посадить станцию в заданную точку Луны, стартовать с Луны вертикально в заданный момент времени и развить заданную скорость. Ошибки в положении ракеты, которые могут возникнуть в начале полета, по мере приближения к Земле становятся все менее заметными, «пучок траекторий» сгущается.

Станция «Луна-17» с самоходным аппаратом на борту выведена на промежуточную геоцентрическую орбиту и с нее — на трассу полета к Луне 10 ноября 1970 г. Благодаря двум коррекциям станция точно вышла в намеченную точку окололунного пространства и после торможения перешла на орбиту спутника Луны высотой 85 км. После маневров она была переведена на орбиту с низким (около 19 км) периселением. Наконец, 17 ноября был включен двигатель для торможения и посадки и станция опустилась в Море Дождей.

Это описание перелета в общем уже выглядит трафаретным. Мы достаточно быстро привыкаем к самым поразительным вещам, и они начинают казаться простыми и обыденными. Между тем полет к Луне по-прежнему и даже в большей степени, чем в 1959 г., — сложнейшая операция, требующая непрерывного внимания и большого напряжения всего командного комплекса.

Спустя 2 часа 40 мин. после посадки со станции сопел по трапу и начал работу самоходный аппарат «Луноход-1» (рис. 22). Он состоял из самоходного шасси, на котором установлен герметичный корпус, наполненный внутри и обвешанный снаружи многочисленной аппаратурой, и в частности, шестью системами передачи изображения — телекамерами и телефотометрами. Запас его хода не лимитировался источниками тока (аккумуляторы непрерывно подзаряжались от солнечных батарей) и зависел только от

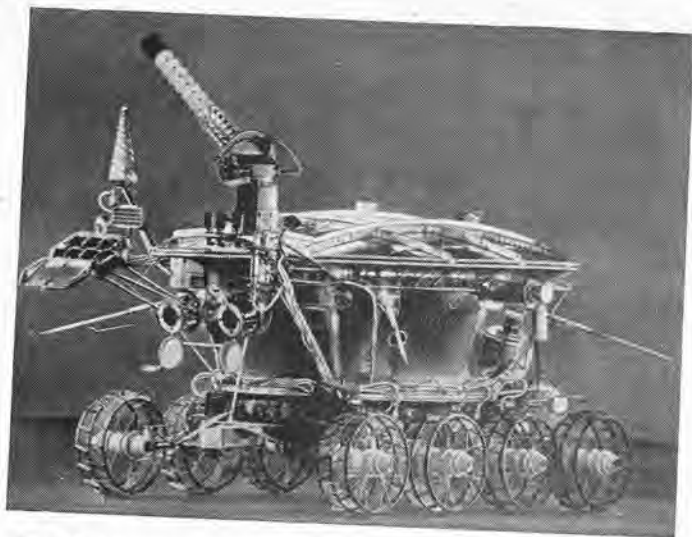


Рис. 22. «Луноход-1»

жизнеспособности оборудования. Он мог пройти значительное расстояние — вопрос только в том, сколько на это потребовалось бы времени, учитывая небольшую скорость лунохода и местами малую проходимость местности.

Научные задачи, запланированные «Луноходу-1», состояли в следующем: передача на Землю панорам и стереоскопических изображений ландшафта, изучение топографических и геолого-морфологических особенностей местности, определение химического состава и физико-механических свойств грунта, исследование радиационной обстановки на Луне, исследование рентгеновского космического излучения, эксперименты с лазерным отражателем.

Среди технических задач, решавшихся на луноходе, была отработка методов его вождения с дистанционным управлением.

Управляя луноходом экипаж, который находился у командных пультов на Земле, в Центре дальней космической связи. Наблюдая на телевизионных экранах окружающую луноход «дорожную обстановку» и анализируя поступающую с него телеметрическую информацию, члены экипажа намечали дальнейший путь лунохода и по радио подавали соответствующие команды. Обязанности в экипаже

распределялись следующим образом. Водитель определял возможность движения по местности, которую он видел в телевизионном кадре, и выдавал команды «вперед», «стоп» и т. п. Штурман по данным от бортовых навигационных приборов вел прокладку трассы. Бортинженер с группой специалистов контролировал состояние систем лунохода и условия его движения (наклоны корпуса и пр.). Оператор остонаправленной антенны непрерывно наводил ее на Землю, что было необходимо для сохранения достаточного уровня радиосигналов. Командир дублировал водителя в выдаче команд и руководил движением в соответствии с выработанной заранее программой.

Движение лунохода в основном происходило в так называемом «старт-стопном» режиме, когда решение о движении принималось только при остановках. Продвинув луноход на несколько метров, его останавливали и принимали новое решение. Основную роль в выборе этого режима движения сыграло то обстоятельство, что радиоволна от Луны до Земли и обратно идет три секунды и реакция экипажа лунохода на изменения дорожной обстановки не могли не опаздывать на этот срок. Если бы водитель обычного автомобиля руководствовался информацией о движении, постоянно опаздывающей на три секунды, то он быстро и неминуемо разбил бы свою машину. Такая опасность не исключалась и для лунохода, несмотря на его небольшую скорость. Поэтому на нем и был введен такой режим, а также предусмотрена автоматическая остановка движения при опасных кренах, нагрузках на оси и т. д.

А коль скоро был выбран «старт-стопный» режим движения, отпала необходимость в обычной частоте следования телевизионных кадров. Эта частота была снижена до долей кадра в секунду, что позволило существенно упростить передатчик.

График работы лунохода зависел от времени лунных суток. Двигался он больше всего утром, при небольшой высоте Солнца над лунным горизонтом. Днем, когда Солнце поднималось высоко, исчезали тени и видимость резко ухудшалась, выполнялись операции, не связанные с движением. К вечеру луноход снова начинал двигаться, но не так интенсивно, как утром: нужно было накапливать на ночь энергию солнечных батарей. Перед заходом Солнца луноход останавливался, закрывалась панель солнечной батареи, а аппаратура переводилась в дежурный, не тре-

бующий большого расхода энергии режим. Лазерный отражатель направлялся на Землю. Двигаться ночью, при температуре колес до минус 125°C было нельзя.

«Луноход-1» проработал 11 лунных дней. Все эти дни были насыщены исследованиями. Прошел он по лунной поверхности 10,54 км, из них 0,2 км — за четыре сеанса в первый день, 1,5 км — за 8 сеансов во второй, 1,9 км — за 7 сеансов в третий и т. д. На рис. 23 показан маршрут «Лунохода-1» за первые три дня (17 ноября 1970—20 января 1971), нанесенный на схему, составленную в процессе топографической съемки местности.

Для выполнения топографической съемки были разработаны методы использования навигационной информации о движении аппарата, фотограмметрической обработки фотоснимков и определения азимутов по изображениям на фотопанорамах Солнца, Земли, посадочной ступени, дальних ориентиров и по направлениям теней. Отдельные элементы этих работ заимствованы из земной геодезии.

На «Луноходе-1» всесторонне исследовались механические свойства грунта. При этом использовались датчик фактически пройденного пути (девятое колесо), прибор для внедрения в грунт конусно-лопастного штампа, датчики тока двигателей колес, датчик наклонов лунохода. О свойствах грунта позволяют также судить глубина и форма колеи от колес лунохода.

По сопоставлению количества оборотов ведущих колес и девятого колеса определялась пробуксовка. Было установлено, что выбранная конструкция колес в общем обеспечила уверенное движение аппарата. Пробуксовка на горизонтальных участках, которая колебалась от 0 до 15%, объясняется неоднородностью грунта под колесами и его неровностью. На склонах пробуксовка возрастала до 20—30%. Грунт на колеса не налипал.

Конусно-лопастный штамп, которым за первые три месяца работы лунохода было выполнено более трехсот измерений прочности лунного грунта, при каждом измерении опускался на грунт и вдавливался в него или до предельной глубины, определяемой его размерами, или до того момента, когда сопротивление грунта достигало 20 кг. Тем самым определялась характеристика грунта, называемая его несущей способностью. Оценивалась она по удельному давлению на штамп при полном погружении штампа в грунт (на 44 мм).

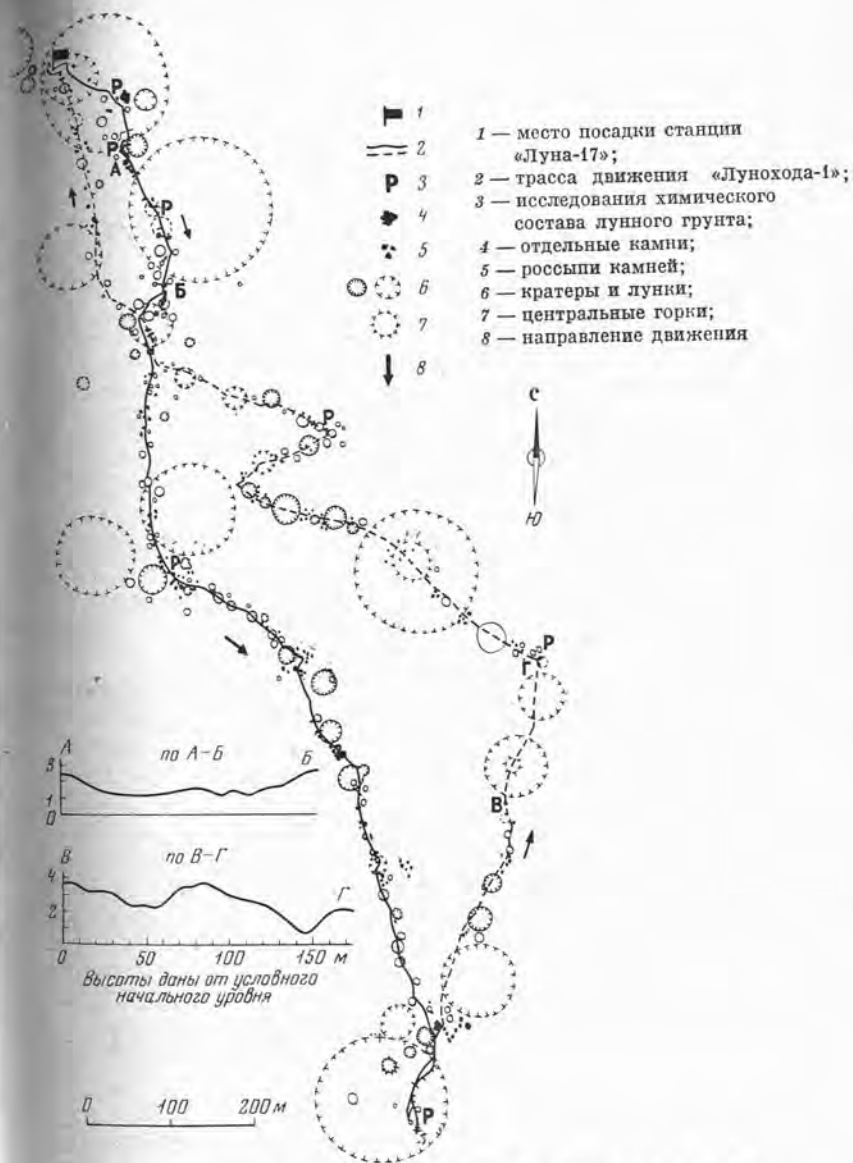


Рис. 23. Топографическая схема маршрута «Лунохода-1» за первые три лунных дня

В разных местах по трассе лунохода несущая способность грунта менялась в пять раз: от 0,2 до 1 кг/см². Несущая способность самого верхнего слоя гораздо меньше — 20—30 г/см².

Чтобы можно было определить свойства грунта на глубине, в некоторых местах луноход многократно разворачивался на месте. На этих «вытоптанных» площадках, где верхний слой грунта толщиной 8—10 см был стерт, несущая способность составляла уже 1 кг/см².

Опустившись в грунт, штамп поворачивался либо на 90°, если сопротивление вращению было меньше известного предела, либо до возникновения предельного усилия. При этом определялось сопротивление вращательному срезу, характеризующее сцепление частиц грунта.

Много интересных данных о грунте дало изучение переданных луноходом фотопанорам, на которых отпечатались следы его колес. По снимкам можно определить глубину колеи, крутизну ее стенок, характеризующую липкость грунта, размеры и форму частиц. Получены новые данные о камнях. Некоторые из них достаточно прочны, другие же под колесами разрушались. Это, по-видимому, были не настоящие камни, а слипшиеся частицы реголита.

Типичный лунный пейзаж по трассе лунохода показан на рис. 3 (стр. 5).

Ценность использования лунохода для анализа химического состава грунта в том, что он позволяет дать ответы на вопросы о степени однородности состава лунной поверхности и о связи химического состава с рельефом. Особенно интересно такое исследование в районе, где есть разные формы рельефа: кратеры, гряды, разломы и т. д.

На луноходе использован спектрометрический метод анализа химического состава грунта по его рентгеновскому излучению. Аппаратура для этого эксперимента состоит из радиоактивных источников, облучающих грунт, детекторов, регистрирующих излучение грунта, и электронной части. Источники и детекторы установлены в 30 см от грунта, между колесами. Аппаратура успешно работала и дала несколько десятков замеров состава грунта вдоль трассы лунохода.

16 января 1973 г. станцией «Луна-21» на Луну был доставлен «Луноход-2». Место посадки, внутри кратера Лемонье, напоминает район прилунения «Аполлона-17»: оба района расположены на восточном краю Моря Ясности и

разделены расстоянием всего в полторы сотни километров. «Луноход-2», имевший существенно увеличенную по сравнению с «Луноходом-1» мобильность, обследовал большой и интересный район. Кратер Лемонье — как бы залив Моря Ясности в материковой области, т. е. представляет собой зону перехода от моря к материку. Материк обрывается к кратеру уступом высотой (у места посадки) до 1 км. Восточнее места посадки тянется на 16 км тектонический разлом — трещина шириной до 0,5 км.

По этому району луноход прошел 37 км. Результаты его 4-месячной работы — 86 панорам и более 80 000 телевизионных снимков поверхности; объемные изображения местности; обильные данные о механических свойствах и химическом составе грунта, о напряженности магнитного поля («Луноход-2» имел магнитометр, которого не было на первом луноходе) и др.

ОБЛИК ЛУНЫ

Глава 6

Луна как небесное тело

Размеры и расстояние от Земли. Первым, кто попытался определить расстояние до Луны, был Аристарх Самосский (III в. до н. э.). Его весьма остроумный метод изложен в трактате «О величинах и расстояниях Солнца и Луны». Аристарх определил угловое расстояние между центрами Солнца и Луны в момент, когда Солнце освещало ровно половину лунного диска. Он справедливо считал, что в этот момент центры Луны, Земли и Солнца расположены в вершинах прямоугольного треугольника с прямым углом при центре Луны. Решая этот треугольник, Аристарх определил, что Луна ближе Солнца в 18—20 раз. Двадцатикратная ошибка вполне простительна Аристарху, так как рассматривавшийся треугольник очень вытянут по направлению к Солнцу и даже малая ошибка измерения угла очень сильно искажает результат. Надо также учитывать, что терминатор (граница дневной и ночной сторон Луны) весьма неровен и определить момент измерения угла было очень трудно.

Аристарх дал также метод одновременного определения радиуса Луны и расстояния от Земли, выраженных в земных радиусах. Метод основан на измерении угловых размеров земной тени, проходящей по Луне во время лунного затмения. Этим методом Гиппарх определил радиус Луны примерно в 0,25, а расстояние — в 59 земных радиусов, с ошибкой всего в несколько процентов.

Более точные измерения расстояния до Луны выполнялись много веков спустя, когда стало уже известно, что это расстояние быстро и сложно меняется, поэтому дальнейшие измерения давали уже не непосредственно расстояние до Луны, а размеры ее орбиты. Наиболее надежно большая полуось орбиты определялась по параллактическому смещению Луны на фоне звезд, фиксируемому при одновременном наблюдении Луны с нескольких обсерваторий.

Многочисленные измерения дали для большой полуоси величину 384 400 км.

Начиная с середины нашего столетия в астрономию стал входить новый, радиолокационный, способ определения расстояний до светил по времени прохождения этих расстояний радиосигналом. В 1959 г. этим способом получена величина полуоси, равная 384 400,4 км ± 1,2 км. Ненадежность этого значения обусловлена главным образом тем, что радиус Луны известен лишь с точностью до 1 км.

На рис. 24 показана запись сигнала радиолокационной станции при локации Луны. Первый всплеск — это сигнал, отраженный ближайшей точкой лунной поверхности (центром видимой стороны Луны). Чем дальше от центра диска (и от Земли) отстоят отражающие точки, тем уровень сигнала слабее. К краю диска он падает до нуля.

Самые последние измерения расстояния до Луны выполнены методом светолокации. Возможность светолокации появилась после того, как корабли «Аполлон», «Луна-17» и «Луна-21» доставили на поверхность Луны несколько лазерных отражателей.

Лазерный отражатель представляет собой блок высококачественных призм, каждая из которых отражает свет строго параллельно падающим на нее лучам. Поэтому посланный на отражатель световой сигнал возвращается к источнику света, даже если поверхность отражателя не совсем перпендикулярна падающему лучу. Американские отражатели состоят из 100 либо из 300 элементов, французские отражатели на луноходах — из 14 элементов.

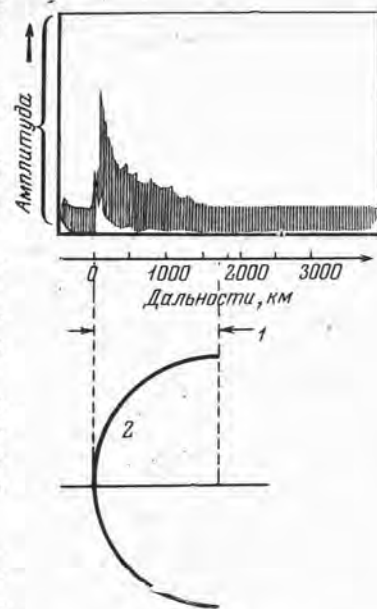


Рис. 24. Радиосхо от Луны

1 — радиус Луны;
2 — лунный диск

Мощный лазер через телескоп направляет с Земли свет на отражатель; отраженный поток принимается тем же телескопом. Ошибка измерения пройденного светом расстояния составляет всего несколько метров.

И тем не менее надо сказать, что один-два отражателя дают очень немного полезной информации. Максимум того, что можно сделать с их помощью, — это точно измерить расстояние, которое является расстоянием не от центра Земли до центра Луны, а лишь от обсерватории на земной поверхности до отражателя на поверхности Луны. Первый объект относительно центра Земли, а второй — относительно центра Луны расположены довольно неопределенно, и приводить измеренные расстояния к расстояниям между центрами Земли и Луны мы можем пока лишь с погрешностью, исчисляемой несколькими сотнями метров.

С помощью лазерной локации возможно также уточнение характеристик вращения Луны, географических координат земных обсерваторий и селенографических координат отражателей, но для этого нужно иметь до десяти отражателей в разных точках лунной поверхности. Реализация программы локации этих отражателей должна занять от одного до трех лет.

Линейный радиус Луны в настоящее время определяется как функция расстояния и углового радиуса. Угловой же радиус определяется либо по фотографиям Луны на фоне Солнца при частных солнечных затмениях, либо измерениями лунного диска гелиомером. Поверхность Луны имеет довольно сложную форму, поэтому, строго говоря, о радиусе Луны говорить нельзя. Но если иметь в виду радиус шара, объем которого равен объему Луны, то он, по современным данным, равен 1738 км. Площадь поверхности этого шара равна 38 млн. км², т. е. 1,7 площади СССР.

Масса. Первым, кто взялся за задачу определения массы Луны, был Ньютон. Измеряя высоту морских приливов в периоды совместного действия Луны и Солнца и в периоды их противодействия, он сопоставил солнечную и лунную составляющие приливов, чтобы затем найти отношение масс Луны и Солнца, от которого далее перейти к отношению масс Луны и Земли. Хотя Ньютон получил вдвое завышенное значение массы Луны, историки науки считают это замечательным достижением; так, по словам Артура Берри, «до Ньютона никто не подозревал возможности измерить массу Луны хотя бы в самой грубой форме, и самый

этот результат пришлось исторгнуть из хаоса бесчисленных усложнений, связанных с теорией и наблюдениями приливов» *.

Более современные и точные методы определения лунной массы также основаны на изучении влияния Луны на Землю — на ее вращение или движение.

Влияние Луны на вращение Земли проявляется в прецессии и нутации ** земной оси. Константы, характеризующие величины прецессии и нутации, связаны известной зависимостью с лунной массой. Эти две константы неоднократно определялись из астрономических наблюдений. Вычисленное на этой основе отношение массы Земли и Луны, обозначаемое μ^{-1} , близко к 81,57.

Другой способ основан на измерении «лунного неравенства» в движении Земли вокруг Солнца, возникающего в результате движения Земли вокруг центра тяжести (барицентра) системы Земля — Луна. Лунное неравенство определяется расстоянием от барицентра до центра Земли, которое связано зависимостью с расстоянием от Земли до Луны и с соотношением масс. Этим способом было получено $\mu^{-1} = 81,27$.

Точность определения массы Луны удалось резко повысить в последние годы, когда ее стали определять по влиянию гравитационного поля Луны на движущиеся в этом поле космические летательные аппараты. Эд. Копал в своей книге «Луна» приводит значения μ^{-1} , полученные независимо по движению шести аппаратов «Маринер» и «Рейнджер». Шесть полученных значений различаются лишь в пятом десятичном знаке: все они лежат в пределах от 81,3015 до 81,3043. Это — прекрасная сходимость результатов и вместе с тем типичный пример того, как значительно повышается точность определения числовых характеристик тел Солнечной системы при переносе измерений в непосредственные окрестности этих тел.

Можно считать наиболее вероятным значение $\mu^{-1} = 81,303$, чему соответствует масса Луны $7,353 \cdot 10^{19}$ т (73,53 квинтиллиона тонн).

Движение и вращение. Пожалуй, единственный раздел науки о Луне, куда космическая эпоха практически не

* А. Берри. Краткая история астрономии. Пер. с англ. М., Изд-во Сытина, 1904.

** Прецессия — движение оси вращения в пространстве по круговому курсу, а нутация — малые колебательные возмущения этого движения.

внесла ничего нового, — это теория движения Луны. Она была разработана уже давно с замечательной точностью и совершенством.

Эту теорию следует считать крупнейшим достижением небесной механики, так как движение Луны очень сложно. Говорят, что она движется вокруг Земли по эллипсу. Но это не совсем так. Она действительно двигалась бы по эллипсу, подчиняясь в точности законам Кеплера, если бы в пространстве было только два тела — Земля и Луна и если бы масса каждого из них была сконцентрирована в одной точке. На самом деле Луна имеет определенные размеры, и кроме Земли ее притягивают Солнце и планеты, возмущая ее движение или, иначе говоря, уводя ее с кеплеровской орбиты.

Чтобы получить с высокой степенью точности пространственные координаты Луны (широту, долготу и расстояние от Земли) на определенный момент времени, нужно, например, для долготы написать формулу, в правой части которой будет не одно и не два слагаемых, а 655. В выражении для широты их будет более 300, для расстояния — более 150. Не случайно великий математик XVIII в. Л. Эйлер говорил: «Сколько раз в продолжение сорока лет я ни пытался развивать теорию Луны и определить на основании законов тяготения ее движение, всякий раз возникали такие трудности, что мне приходилось прерывать работу и дальнейшее исследование»*, а Ньютон жаловался, что от лунной теории у него болит голова и что она так часто заставляет его проспать, что он хотел бы никогда не думать о ней.

Теорию движения Луны создали крупнейшие астрономы и математики всех времен — от Гиппарха и Птолемея до Тихо Браге, Ньютона, Леонарда Эйлера, Клеро, Даламбера, Лапласа, Пуассона и др. Эти люди, писал С. Ньюкомб, один из крупнейших американских астрономов XIX в., принадлежат по интеллекту к немногим избранныкам человечества.

Когда нам нужно узнать координаты Луны для какого-то момента времени, мы, не задумываясь, обращаемся к «Астрономическому Ежегоднику СССР». Мы получаем в готовом виде, например, ее широту и долготу с точностью до $0'',01$, или до 19 м! Эту возможность мы имеем благодаря

* Л. Эйлер. Новая теория движения Луны. — В кн.: А. Н. Крылов. Собрание трудов. Дополнение к тт. V и VI. М. — Л., Изд-во АН СССР, 1937.

тому, что вся огромная работа по учету влияния возмущений на движение Луны выполняется при составлении «Астрономического Ежегодника».

Если в первой половине нашего века для расчета таблиц Луны в «Ежегодниках» использовались специальные таблицы ее движения, то после появления быстродействующих вычислительных машин координаты Луны стали вычислять непосредственно по формулам гравитационной теории ее движения. Для такого расчета не нужны даже текущие значения параметров лунной орбиты. Поэтому, например, нигде в специальной литературе вы не найдете диапазона изменений большой полуоси или эксцентриситета орбиты, а в популярных книгах они чаще всего приводятся из случайных источников, приближенно или просто с ошибками.

Об основной особенности вращения Луны — о совпадении периода вращения с периодом обращения — знали очень давно, задолго до изобретения телескопа. Считалось, что плоскость лунного экватора совпадает с плоскостью орбиты Луны и таким образом рисунок лунного диска совершенно неизменен. Более точно характер вращения Луны удалось определить лишь тогда, когда ее начали наблюдать в телескоп и обнаружили, что контуры поверхности Луны немного перемещаются по ее диску, т. е. Луна как бы покачивается относительно среднего положения. Это явление, называемое оптической либрацией, открыл в начале XVII в. один из пионеров телескопических наблюдений Луны — Галилео Галилей (он называл его «титубацией»). Но только Кассини сто лет спустя смог впервые вывести эмпирическим путем и сформулировать законы вращения Луны.

Согласно Кассини, Луна вращается вокруг своей оси с постоянной угловой скоростью и в том же направлении, в каком она движется вокруг Земли, а ось вращения медленно перемещается по круговому конусу вокруг оси эклиптики. Впоследствии, с развитием аналитической механики, когда к Луне была применена теория вращения твердого тела вокруг центра массы, под законы Кассини была подведена теоретическая база. Основная заслуга в этом принадлежит Лагранжу. Но одновременно Лагранж установил, что эти законы описывают вращение Луны лишь в первом приближении, что должны существовать небольшие отклонения от законов Кассини (физическая либрация Луны).

Суть физической либрации состоит в следующем. Плоскость экватора Луны не совпадает с плоскостью ее орбиты. Кроме того, Луна, вращаясь вокруг оси сравнительно равномерно, обращается вокруг Земли с переменной скоростью. Поэтому она несколько покачивается относительно направления на Землю. Луна не обладает полной сферической симметрией; поэтому при покачивании притяжение Земли создает в ней крутящие моменты. Величины и направления этих моментов все время меняются. Поэтому непрерывно меняются по величине и направлению возмущения во вращении Луны. Сложность их воздействия на вращение Луны усугубляется, во-первых, очень сложным характером покачивания Луны и, во-вторых, проявлением у нее гироскопического эффекта, при котором вызванный возмущением поворот может не совпадать с направлением возмущения.

Определить величину физической либрации, а вместе с тем и соотношение моментов инерции Луны, характеризующее несимметричность распределения ее массы, можно только путем наблюдений. Наблюдения для проверки теории и определения параметров вращения Луны, т. е. определения угла наклона экватора Луны к эклиптике и величины физической либрации, начали в Париже в 1806 г. Араго и Бувар по предложению Лапласа. С тех пор эти наблюдения ведутся довольно регулярно вот уже более 150 лет.

После периода поисков наилучшего метода этих наблюдений и формы представления результатов возникла методика, которая в главных чертах сохранилась и до настоящего времени. Разработал ее Ф. Бессель в Германии. Сам Бессель не воспользовался этой методикой. Но в Германии по намеченному им пути пошли Шлютер, Вихман, Гартвиг, Гайн. Так, Гартвиг наблюдал вращение Луны с 1877 по 1922 г. — 45 лет! В конце XIX в. изучением физической либрации Луны стали заниматься в России. Сложилась «казанская школа», к которой относятся А. В. Краснов, Т. А. Банахевич, А. А. Яковкин, И. В. Белькович, А. А. Нефедьев, Ш. Т. Хабибуллин и др. В последние десятилетия вращение Луны изучают также в Польше (К. Козиец), Австрии (Шрутка — Рехтенштамм), США (Уотс).

Эти наблюдения дают наклон экватора Луны к эклиптике I , некоторую функцию f главных центральных моментов инерции Луны (которая связана с амплитудой фи-

зической либрации) и одновременно — селенографические координаты кратера Мёстинг А, расположенного вблизи центра лунного диска. Но беда в том, что наблюдаемые эффекты (а обычно измеряется положение этого кратера на диске Луны) лежат на пределе точности самых аккуратных измерений. Поэтому каждый раз приходится привлекать очень большое количество наблюдательного материала (помните — 45 лет наблюдений Гартвига!) и обрабатывать его специальными математическими методами (способом наименьших квадратов) с теми или иными допущениями, диктуемыми необходимостью уменьшить огромный объем вычислительной работы. Несмотря на это, достоверные значения параметров вращения Луны до сих пор не получены. Так, угол I разные авторы получали в диапазоне от $1^{\circ}28'$ до $1^{\circ}33'$ (разброс больше 5%), а параметр f — в диапазоне от 0,6 до 0,9, что составляет 30% всего диапазона возможных значений этой величины.

Мы можем заключить, что наблюдения вращения Луны с земной поверхности в общем зашли в тупик. Они бесперспективны еще и потому, что по ряду причин недостаток их точности перерастает в качественные недостатки.

Применение космической техники — доставка на Луну астрономических приборов, которые смогут выполнить заданные им программы измерения положений звезд с целью уточнения характера вращения Луны — обновит знания и в этой области. Но пока еще подобные эксперименты не проводились.

Глава 7

Возраст Луны

Эволюция взглядов на происхождение Луны неотделима от эволюции взглядов на происхождение Солнечной системы в целом. Основные вехи в истории космогонии — это небулярная* гипотеза Канта — Лапласа, в соответствии с которой планеты образовались, когда от экватора очень быстро вращавшейся и постепенно сжимавшейся газообразной туманности — протосолнца — отделялись кольца, впоследствии слипшиеся в комки — планеты; привлекательная гипотеза Джинса, по которой звезда, прошедшая

* От nebulae (лат.) — туманность.

вблизи Солнца, своим притяжением вырвала из него струю вещества, затем распавшуюся на планеты; гипотеза столкновения Джеффриса, согласно которой звезда, вырванная из Солнца сгусток вещества, не прошла на расстоянии, а краем задела Солнце; гипотезы конденсации из пылевого облака, из которых наиболее известна гипотеза О. Ю. Шмидта.

В согласии с этими взглядами в разное время обсуждались в различных вариантах возможности отделения Луны от Земли, захвата Землей Луны, которая ранее была самостоятельной планетой, и образования Луны в околоземном пространстве.

Продолжающееся обсуждение гипотезы отделения Луны от Земли, по словам профессора Б. Ю. Левина, — курьезный эпизод в истории науки. Механическое обоснование этой гипотезы давно опровергнуто А. М. Ляпуновым и Э. Картаном, а недавние попытки спасти старую схему не выдерживают критики.

Гипотеза захвата Луны в древнюю геологическую эпоху не решает вопроса о происхождении Луны и исследует лишь эволюции ее орбиты. Эта гипотеза сталкивается с той трудностью, что траектория Луны при захвате должна проходить внутри предела Роша, где приливные силы должны были бы ее разорвать. Что касается недавнего (несколько десятков тысяч лет назад) захвата Луны Землей, то эта «гипотеза» больше всего похожа на шутку опубликованного ее журнала «Наука и жизнь». Вряд ли ее автор знаком с астрономией, например с тем фактом, что морские приливы и отливы, по силе соизмеримые с современными, действуют на Земле уже по крайней мере 120 млн. лет. Как заметил А. В. Хабаков, «стало быть, еще в мезозойскую эру Луна как спутник Земли находилась, можно сказать, на своем посту»*.

Остается идея, являющаяся составной частью космогонической гипотезы О. Ю. Шмидта, об аккумуляции Луны из околоземного роя частиц, подобно тому, как сама Земля сформировалась из околосолнечного роя. Причем околоземный рой мог пополняться по мере аккумуляции Земли и усиления ее гравитационного поля.

Аккумуляция Земли, по подсчетам В. С. Сафронова, продолжалась примерно 100—200 млн. лет. Примерно за

такой же срок образовалась и Луна. Разные методы определения возраста Земли указывают, что она возникла примерно 4,5—5 млрд. лет назад.

О возрасте Луны до недавнего времени можно было лишь строить предположения. Поэтому с таким интересом ученые ожидали образцов лунного грунта, чтобы определить их возраст и тем самым наметить некоторую хронологию в истории развития Луны.

Возраст минералов определяется по соотношению количеств содержащихся в них химических элементов, лежащих на концах цепочек атомных превращений. Например, изотоп калия K^{40} постепенно превращается в изотоп аргона Ar^{40} , а рубидий Rb^{87} — в стронций Sr^{87} . Зная скорость превращения и количество в минерале материнского и дочернего элементов, можно вычислить момент времени, в который начал образовываться дочерний элемент. Этот метод имеет ряд недостатков. Во-первых, неясно, какое событие при этом датируется: образование породы или какой-то из этапов ее последующей истории. Во-вторых, количество материнского и дочернего элементов в минерале на каком-то этапе его истории могло измениться, например, вследствие выщелачивания и исказить результат. Поэтому стараются датировать минералы сразу по нескольким атомным цепочкам, чтобы убедиться в сходимости результатов или понять причину их несоответствия.

Среди образцов камней и грунта, привезенных из Моря Спокойствия экипажем «Аполлона-11» и из Океана Бурь — экипажем «Аполлона-12», были базальтовые камни. Когда определили их возраст, оказалось, что он равен примерно 3,5 млрд. лет. Но из геологии известно, что базальт образуется при «переплавке» вещества в недрах или, говоря строже, при магматической дифференциации вещества.

Магматическая дифференциация — это химическое расщепление магмы с образованием из нее разных по составу горных пород. Наиболее вероятно, что дифференциация происходит с расплавленным веществом. Следовательно, к моменту формирования поверхностей Моря Спокойствия и Океана Бурь Луна успела пройти состояния первичного сгустка частиц, разогревания и расплавления ядра и его дифференциации, и, наконец, в ней имели место процессы, вызвавшие выход магмы на поверхность и об-

* Луна. Сборник, М., Физматгиз, 1960, стр. 291.

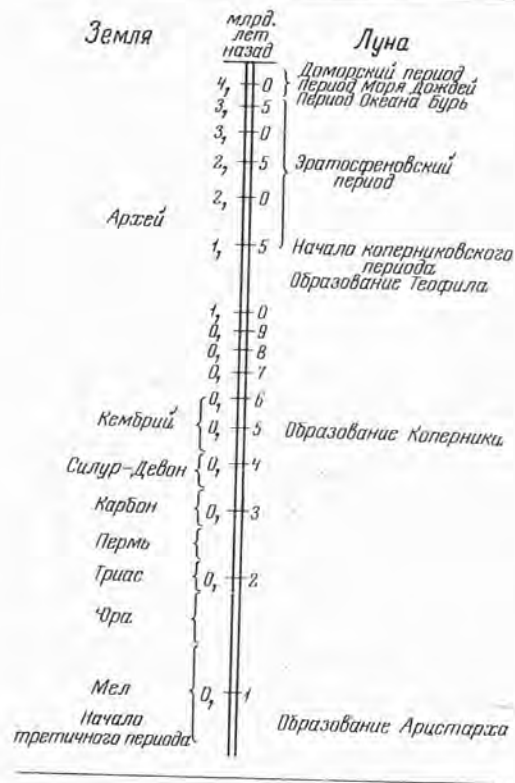


Рис. 25. Сравнительная хронология Земли и Луны

разование морей. Все это произошло более чем 3,5 млрд. лет назад. Так уточнилась одна из дат лунной истории. Интересно, что выполненные совсем недавно теоретические расчеты тепловой истории Луны сдвигали эпоху расплавления лунных недр на миллиард с лишним лет в сторону наших дней.

Возраст раздробленной породы (реголита), привезенной теми же экспедициями, оказался близким к 4,5 млрд. лет. Сначала это показалось странным: ведь реголит — это обломки тех же магматических пород. Но потом пришли к выводу, что эта цифра характеризует возраст веществ-

ва, вкрапленного в реголит и, по-видимому, заброшенного в моря с окружающих их материковых районов. Последующие экспедиции на кораблях «Аполлон» и «Луна-20» должны были подтвердить эти данные. И действительно, один из камней, доставленных на «Аполлоне-15» из района Апеннинских гор, имеет возраст около 4,5 млрд. лет, за что и получил название «образца дня творения». Его возраст — это примерно возраст самой Луны.

Таким образом, Луна и Земля возникли практически одновременно, что согласуется с гипотезой Шмидта (и не противоречит гипотезе захвата).

Разогревание и плавление Луны должны были начаться уже вскоре после ее аккумуляции, а может быть, даже до завершения аккумуляции. Возможно, что сначала плавилась наружные, а уже затем внутренние части Луны.

Существует несколько объяснений относительно источника энергии для разогрева Луны. Наиболее правдоподобные из них:

1) переход в тепло энергии приливных деформаций в Луне в те времена, когда вращение Луны еще не синхронизировалось с ее обращением вокруг Земли, а расстояние между Землей и Луной было гораздо меньше современного;

2) переход в тепло кинетической энергии частиц околоземного роя при их падении на формирующуюся Луну. Это тепло могло сохраняться в Луне и не излучаться в пространство лишь в том случае, если в период формирования Луна имела непрозрачную атмосферу.

В настоящее время лунные недра должны остывать, но очень медленно. Потеря тепла в них за счет теплопередачи от внутренних слоев к более холодным наружным слоям должна в значительной мере компенсироваться благодаря распаду радиоактивных элементов, которых в лунных базальтах обнаружено довольно много.

Интересно, что магматическая дифференциация должна была постепенно перемещать радиоактивные элементы ближе к поверхности. При этом все большая часть выделяемой ими энергии выходила наружу. Следовательно, в истории Луны должен был быть период, когда теплоотдача полностью компенсировала радиоактивный подогрев и от первоначального разогрева Луна перешла к стабильной температуре недр, а затем к медленному охлаждению, продолжающемуся и поныне.

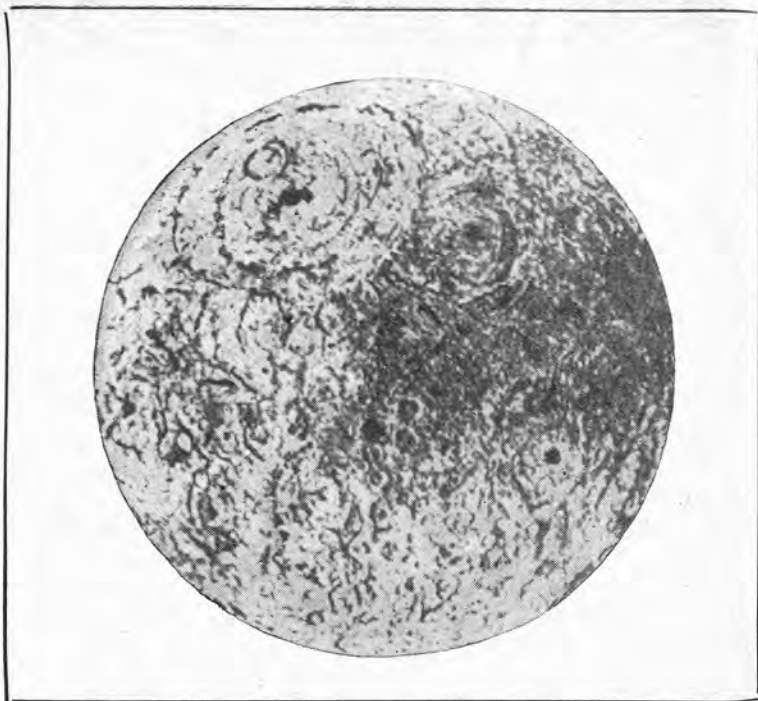


Рис. 26. Луна после крупнейшей в ее истории метеоритной бомбардировки около 4 млрд. лет назад

Другой аспект в изучении истории Луны — это установление времени и последовательности образования отдельных форм рельефа ее поверхности.

Историю возникновения лунного рельефа восстанавливают, изучая количество и наложение разных кратеров. Так, на территории кратера Коперник есть два ударных кратера поперечником больше 1 км. Частота падения метеоритов, могущих образовывать такие кратеры, примерно известна. В Геологической службе США подсчитали, что для падения на такой территории двух метеоритов нужно примерно 100 млн. лет. Лучи от Коперника перекрывают кратер Эратосфен, который, следовательно, должен быть старше. И действительно, по количеству кратеров на дне Эратосфена его возраст оценили в 400 млн. лет.

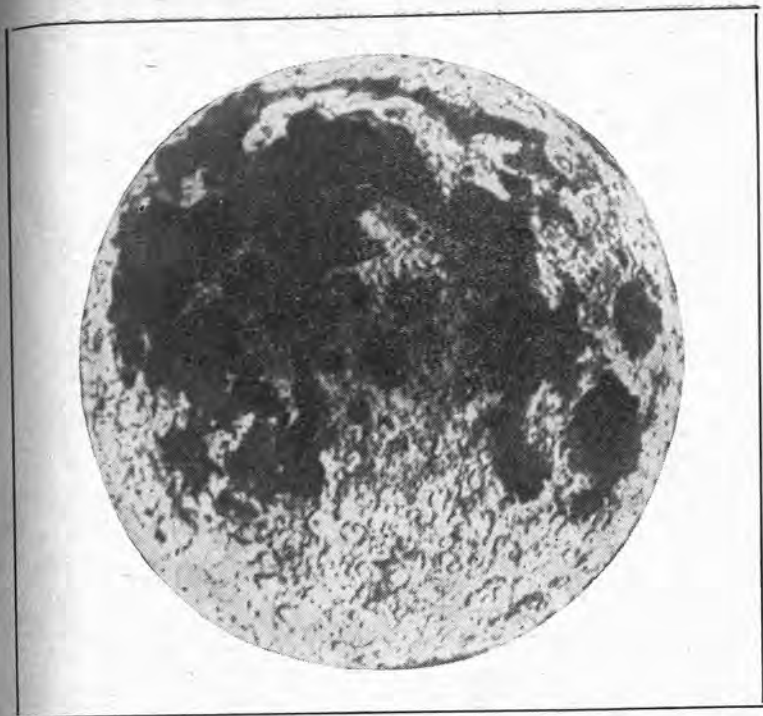


Рис. 27. Луна после заполнения лавой метеоритных воронок

На поверхности Моря Дождей в свою очередь есть вторичные кратеры Эратосфена; кратер Архимед затоплен лавой Моря Дождей; в Апеннинских горах заметны вторичные кратеры Архимеда.

Очевидно, что последовательность образования этих формаций такова: Апеннины — Архимед — Море Дождей — Эратосфен — Коперник. Но почти каждая формация лунного рельефа принадлежит к той или иной группе форм, родственных в геологическом отношении: например, молодые ударные кратеры с лучами или моря. Поэтому от изучения хронологических цепочек отдельных деталей можно перейти на более высокий уровень — к изучению последовательности геологических периодов.

Попытки установить эту последовательность предпри-

Недра и поверхностный слой Луны

нимались неоднократно. Правда, при единстве подхода к исторической геологии Луны разные исследователи получали несколько различающиеся результаты. Так, в работах начала XX в. принято было делить кратеры на доморские и послеморские, т. е. в истории формирования поверхности Луны намечалось три периода: два периода возникновения кратеров и между ними — период образования морей. А. В. Хабаков различает не три, а семь периодов: древнейший; гиппархский (период образования древних цирков); древний, или алтайский (в этот период возникли Алтайские горы); средний, или птолемеевский; океанский (когда возникли моря); новейший, или коперниковский; современный. Кратеры Коперник и Эратосфен он, как и американские геологи, относит к новейшему, коперниковскому периоду, а Апеннины — к гиппархскому периоду. Но есть и небольшие отличия. Так, Архимед отнесен Хабаковым к молодым кратерам.

В книге Эд. Копала «Луна» приводится диаграмма, иллюстрирующая сравнительные возрасты геологических периодов на Земле и на Луне (рис. 25). Эта диаграмма интересна тем, что на ней показана еще одна модель периодизации лунной истории. Можно заметить, что по датировке событий эта диаграмма не соответствует данным Геологической службы США. Возраст Коперника и Эратосфена, например, Копал считает вчетверо большим, чем американские геологи.

В заключение главы обратим внимание на две карты, воспроизводящие древний облик Луны. На первой (рис. 26) — Луна вскоре после удара, образовавшего круговую депрессию на месте Моря Дождей. Но «морей» еще нет. Вся поверхность выглядит так, как теперь выглядят материки. Рис. 27 показывает Луну после заполнения депрессий лавой, но до образования таких «молодых» кратеров, как Тихо и Коперник. Обе карты составлены в Центре астрогеологии США.

Лунные недра так же труднодоступны для экспериментального изучения, как и земные.

На Земле кроме бурения, которое пока позволяет проникнуть лишь на ничтожную часть земного радиуса, для изучения внутреннего строения используются сейсмические наблюдения, геодезические измерения и анализ магнитного и гравитационного полей.

Землетрясения представляют собой внезапное разрушение материала под действием напряжений, поэтому их распределение по глубине и географическим районам позволяет судить о величине напряжений и о прочности вещества земных недр. Так, очаги всех землетрясений лежат не дальше 750 км от поверхности, что свидетельствует об изменении прочности вещества на этой глубине; на этой же глубине меняются и другие свойства земных недр, например скорость распространения в них упругих волн.

Наблюдения за вертикальными и горизонтальными движениями земной коры позволяют судить о природе подстилающей ее мантии, в частности предполагать наличие в ней конвекционных потоков, отводящих тепло из глубины.

Наличие у Земли магнитного поля большинство гипотез связывает с хорошей электропроводностью ядра, которое может состоять из железа или сильно сжатых силикатов в металлической фазе. Сейсмические исследования показывают, что ядро Земли находится в жидком состоянии.

Аномалии (отклонения от средних значений) силы тяжести позволяют судить о распределении вещества в Земле. И хотя геофизики сталкиваются здесь с той принципиальной трудностью, что одному и тому же распределению аномалий на поверхности может соответствовать множество различных распределений вещества в недрах, правдоподобность распределения с геологической точки зрения помогает существенно ограничить диапазон возможных решений. Распределение массы на глубине по распределению аномалий на поверхности определяется методами интерпретации гравитационных аномалий, называемыми «аналитическим продолжением вниз».

При построении геофизических теорий учитываются также физические и химические свойства различных горных пород: их атомный состав, прочность, теплоемкость, радиоактивность и т. д.

Предположение об общности истории планет земной группы и, в частности, Луны позволяет распространить на Луну ряд обнаруженных для Земли закономерностей. При этом учитывается, что массы Луны и всех планет разные, поэтому в их недрах различны давление, плотность, распределение температуры и, возможно, различные состояния вещества. С учетом этих соображений и на базе современной геофизики был создан ряд теорий внутреннего строения Луны. Первая из них была разработана Джеффрисом в 1937 г., остальные возникли в начале и середине 60-х годов.

Каждая полная теория внутреннего строения Луны должна была предложить оценки распределения по глубине температуры, плотности, давления, ускорения силы тяжести, состояния вещества, модулей упругости и скоростей сейсмических волн. Теория не должна была противоречить уже известным данным о Луне (средняя плотность $3,34 \text{ г/см}^3$, магнитное поле отсутствует, ускорение силы тяжести на поверхности равно $1,62 \text{ м/сек}^2$ и т. д.). После изучения Луны экспериментальными методами геофизики можно будет выбрать истинную модель, то по крайней мере существенно сократить число моделей.

Что представляют собой недра Луны по разным теориям?

По Джеффрису, Луна однородна, т. е. возрастание плотности с глубиной обусловлено только увеличением давления вышележащих слоев при удалении от поверхности. Плотность в центре Луны при этом составляет $3,41 \text{ г/см}^3$, а давление — всего 46 тыс. атм (по сравнению с 3,5 млн. атм в центре Земли). Этого давления недостаточно для достижения той плотности и того состояния вещества, какие существуют в центре Земли. Наверху плотность, по Джеффрису, равна $3,28 \text{ г/см}^3$ (рис. 28, кривая 1). В других моделях однородной Луны получаются другие значения плотности: от 3,38 до 3,44 в центре Луны и от 3,26 до 3,30 наверху. Давление и ускорение силы тяжести в однородной Луне распределены примерно по закону, показанному на рис. 29.

Рис. 28. Распределение плотности в Луне по различным теориям

1 — однородная Луна; 2 — неоднородная однослойная Луна; 3—5 — неоднородная многослойная Луна

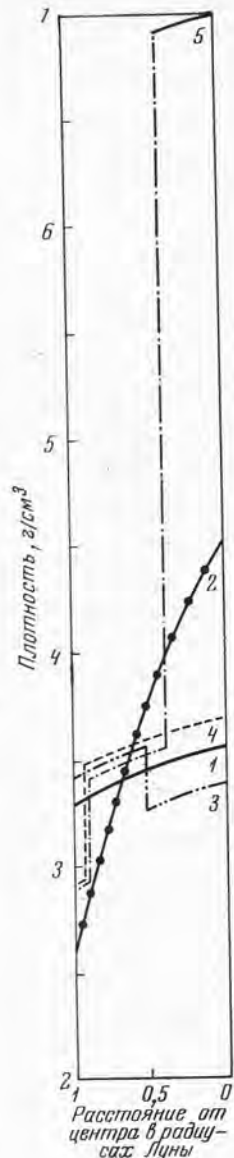
Предложены также модели неоднородной Луны, в которой плотность от поверхности к центру меняется от $2,60$ до $4,43 \text{ г/см}^3$ (рис. 28, кривая 2).

Как в моделях с однородным, так и в моделях с неоднородным распределением плотности предполагается возможное существование поверхностного слоя толщиной до 1 км с плотностью $2,5 \text{ г/см}^3$.

Распределение плотности связано с распределением температур. Возможны и такие законы изменения температуры с глубиной, при которых на известных глубинах нарастание плотности прекращается или даже она начинает уменьшаться. Это особенно относится к



Рис. 29. Характеристики недр однородной Луны



моделям Луны, предполагающим ее расслоение на кору, оболочку и ядро. Например, в «двухслойной» модели, в которой Луна имеет твердую оболочку толщиной около 550 км и жидкое ядро, на границе оболочки и ядра плотность падает на $0,2 \text{ г/см}^3$ (рис. 28, кривая 3). Некоторые модели предполагают наличие коры толщиной от 10–15 до 100 км с плотностью $2,6\text{--}2,8 \text{ г/см}^3$ (рис. 28, кривая 4). В одной из новых моделей Луны также предполагается существование коры низкой плотности, но только в материковых районах.

Возможно и более сложное — трех- и даже четырехслойное строение Луны: кроме поверхностного слоя некоторые авторы предполагают существование коры, оболочки и ядра (рис. 28, кривая 5), причем ядро в свою очередь может делиться на внешнее жидкое силикатное и внутреннее твердое (кристаллизующееся) силикатное или железное.

Что касается состава лунных недр, то здесь мы находимся в основном в области предположений. Породы, собранные на лунной поверхности, ответа на вопрос о составе недр не дают. Косвенные рассуждения состоят в следующем: средняя плотность лунного вещества ($3,34 \text{ г/см}^3$) определяется его составом, давлением вышележащих слоев и температурой. Приняв, что температура в недрах Луны близка к 1100°C , получим, что ее плотность при нормальной температуре и давлении была бы равна $3,41 \text{ г/см}^3$ (на 2% больше). Если же вещество Луны не просто разогрето, но и расплавлено, то его нормальная плотность $3,5\text{--}3,6 \text{ г/см}^3$.

Далее нужно смотреть, какие вещества этой плотности могли участвовать в образовании Луны. Это могло быть, например, то же самое вещество, которое образовало верхнюю мантию Земли («пиrolит»). Такая гипотеза особенно привлекательна тем, что предполагает общность состава Земли и Луны, вполне реальную при их одновременной аккумуляции. В этом случае Луна примерно на 45% должна состоять из кремнезема, на 37% — из окиси магния, на 8% — из окиси железа, а также из окислов алюминия, кальция, натрия, титана и ряда других элементов.

В последние годы для изучения внутреннего строения Луны применяются некоторые экспериментальные методы земной геофизики.

На Луну были доставлены сейсмометры, пригодные для регистрации как собственных колебаний Луны, так и коле-

баний, вызванных искусственно — падением на Луну ракет-носителей или взлетных ступеней кораблей «Аполлон». Были зафиксированы и те, и другие колебания. Так, сейсмометр, доставленный «Аполлоном-12», за полтора года работы отметил падения восемнадцати метеоритов, четырех искусственных объектов и около 60 собственно лунотрясений. Одновременные записи нескольких сейсмометров позволяют определить места ударов или очагов лунотрясений и оценить скорости распространения сейсмических волн.

Первые результаты этих исследований обрабатываются; пока еще нет окончательных выводов, но выявлен ряд интересных фактов. Оказалось, например, что на Луне есть сейсмически активные районы, с которыми связано большинство лунотрясений, что частота лунотрясений зависит от положения Луны на орбите, что колебания, возникающие при ударах о лунную поверхность, иногда затухают чрезвычайно медленно и Луна несколько десятков минут гудит, можно сказать, как камертон.

Организованы опыты с активными сейсмометрами — геофонами, состоящие в том, что сейсмические волны создаются взрывами, а затем регистрируются сейсмометрами, расположенными цепочкой недалеко один от другого. При таком сейсмическом зондировании получается детальный разрез расположенных внизу слоев на глубину до нескольких десятков километров.

В одном из таких экспериментов, выполненных на Луне А. Шепардом и Э. Митчеллом («Аполлон-14»), три геофона были поставлены на одной линии через 45 м; космонавты последовательно подорвали 13 зарядов, расположенных вдоль линии геофонов цепочкой через каждые 4 м, и установили гранатомет для запуска по команде с Земли четырех гранат, которые должны были взорваться на расстояниях 150, 300, 900 и 1500 м от геофонов. Этот эксперимент неоднократно откладывался, так как он мог нарушить работу приборов, стоящих рядом с гранатометом. Аналогичный эксперимент уже проведен на «Аполлоне-16».

Пробурены первые скважины, правда, пока всего... на 1,5–3 м. В них установлены приборы для измерения тепловых потоков, идущих из лунных недр.

Первое измерение силы тяжести на Луне было выполнено в 1969 г. на «Аполлоне-11» с помощью акселерометра — прибора для измерения ускорений. Этот опыт носит скорее символический характер, так как значение силы тяжести

было заранее известно из расчетов с погрешностью, близкой к погрешности этого акселерометра.

Было бы большой ошибкой думать, что изучение лунного грунта началось только с того момента, когда его образцы попали в земные лаборатории, или с тех пор, как на лунную поверхность были доставлены первые приборы.

За века своего существования наблюдательная астрономия создала много средств, позволяющих обойти основное препятствие — недоступность изучаемых ею объектов. Выработала она и методы для изучения поверхности Луны.

Поверхностный слой Луны в последние десятилетия изучался методами фотометрии, радиометрии и радиоастрономии. Фотометрия в данном случае изучает особенности отражения солнечных лучей от поверхности Луны. Изучая подобные отражения от земных пород, можно путем сравнения установить, что представляют собой лунные породы. Радиометрия дает возможность с помощью приборов, измеряющих тепловое действие света, определять температуру в разных местах лунной поверхности. Радиоастрономия изучает собственное радиоизлучение Луны.

Известно, что поверхность Луны плохо отражает солнечный свет. Самые светлые участки столь яркой на вид Луны отражают не более 15% падающего на них излучения, а темные — не более 5%. Даже такие темные земные породы, как базальт и диабаз, отражают сильнее. Кроме того, теплопроводность лунного грунта оказалась очень низкой. Поэтому ученые пришли к выводу, что лунное вещество напоминает губку или, согласно гипотезе Н. Н. Сытинской, черный пористый вулканический шлак. Такая его структура должна была возникнуть в результате ударов метеоритов, при которых каменная поверхность в вакууме спекается. Иную точку зрения имел Н. П. Барабашов: он считал, что лунная поверхность покрыта весьма пористыми туфообразными породами, возможно, раздробленными на частицы размером 3—4 мм. О том, что поверхностные слои Луны могут находиться в мелкораздробленном состоянии, писал еще в 1941 г. академик В. Г. Фесенков. Вообще же большинство советских ученых, по-видимому, разделяло метеорно-шлаковую гипотезу. Слой черно-бурого шлака должен придавать поверхности те свойства, которые мы и наблюдаем: пятнистость, шероховатость, неровность и очень плохую теплопроводность.

Фотометрические исследования под руководством профессора В. В. Шаронова показали, что на Луне нет покровов из сыпучих или порошкообразных материалов, а покровы из вулканического пепла не имеют широкого распространения.

Очень интересные данные были получены группой сотрудников Радиофизического института Горьковского университета под руководством В. С. Троицкого. На ЭВМ был рассчитан ход температур лунной поверхности в течение месяца для разных значений плотности и теплопроводности поверхностного слоя. Эти данные сравнивались с точно измеренной температурой искусственной Луны — диска диаметром около 4 м, установленного на высокой горе. Это дало возможность определить плотность и теплопроводность вещества в верхнем слое Луны. Получилось, что плотность его вдвое меньше плотности воды, а теплопроводность очень мала. Сравнивались также радиоизлучение Луны и известное радиоизлучение этого диска. Эти исследования показали, что по физическому состоянию вещество поверхности Луны похоже на пемзу, но по химическому составу отличается от нее. Можно было заключить, что на 60—65% оно состоит из окиси кремния (кварц), на 15—20% — из окиси алюминия (корунд), на 20% — из окислов калия, натрия, кальция, железа и магния.

Большой вклад в грунтоведение Луны внесли также зарубежные ученые Р. Болдуин, Т. Голд, Д. Койпер, Эд. Коул, Г. Юри.

Определенную роль в изучении грунта Луны сыграли уже космические аппараты «Луна-3» и «Зонд-3». Переданные ими снимки показали, что все образования на обратной стороне Луны принадлежат к типам, известным на ее видимой стороне, а потому там нас вряд ли будут ждать какие-либо геологические сюрпризы. Много полезной информации дали аппараты «Рейнджер», однако приверженцы каждой из моделей лунного грунта сумели интерпретировать эту информацию по-своему.

Первые прямые сведения о составе лунного грунта дали в 1966 г. искусственные спутники Луны «Луна-10» и «Луна-12». Установленные на них приборы показали, что по уровню радиоактивности лунная поверхность соответствует земным базальтам. Пород, подобных граниту, обнаружено не было. Позже состав лунного грунта измерялся альфа-радиометрами, доставленными на поверхность Луны

аппаратами «Сервейор». Было подтверждено сходство этих пород с базальтами. Исследования были продолжены на «Луноходе-1».

На аппаратах «Сервейор-3», «Сервейор-7» и «Луна-13» проводились эксперименты по определению механических свойств лунного грунта. Такие же эксперименты в гораздо более широких масштабах были продолжены «Луноходом-1», «Луноходом-2» и американскими космонавтами.

В последние годы на Землю было доставлено около 400 кг образцов горных пород из нескольких районов Луны. Это сделали пилоты шести космических кораблей «Аполлон» и автоматические станции «Луна-16» и «Луна-20» (рис. 30 и 31). Часть этих образцов изучается с применением современных физических и химических методов, а часть ждет новых, пока еще не разработанных методов исследований.

Итак, грунт сфотографирован во многих местах Луны. Приборы определяли его физический состав и механические свойства. На него садились космические аппараты, по нему ходили космонавты и передвигались колесные механизмы. Наконец, его образцы доставлены на Землю.

Получено огромное количество данных. Но фактические данные нужно еще систематизировать, обобщить, объяснить. И в этой области сделано меньше, чем еще предстоит сделать. Полученные данные вызвали много противоречивых мнений и новых вопросов. Они также показали, что Луна по составу поверхности более неоднородна, чем считалось раньше, и поэтому нужны пробы грунта из еще не исследованных районов.

Приведем некоторые фактические сведения о лунном грунте.

Поверхностный слой Луны по предложению американских геологов называется реголитом, что означает «рыхлая поверхностная порода». Реголит — это пласт обломочных пород толщиной до нескольких метров. Основная масса обломков не превышает нескольких миллиметров в поперечнике, но встречаются и огромные каменные глыбы. Интересно, что на Луне пока не обнаружено камней больше 20 м в поперечнике. Большая часть их менее 5—10 м.

Значительная часть поверхностного слоя измельчена в порошок, который легко слипается в комки. По слипаемости он напоминает влажный песок, хотя воды в нем нет совсем. В нем есть как угловатые, так и округлые оплав-

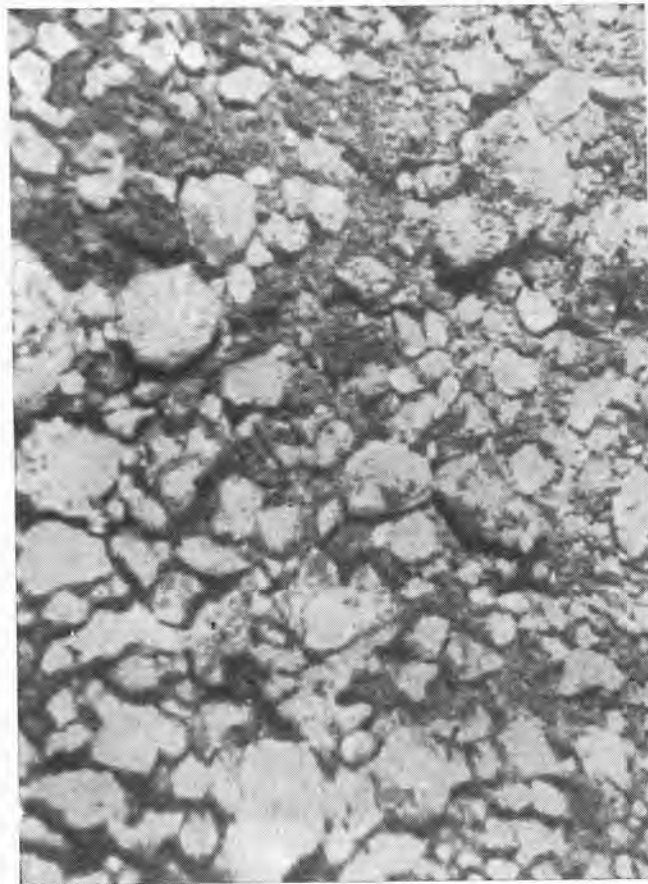


Рис. 30. Часть колонки лунного грунта, доставленного на Землю «Луной-16» (примерно пятикратное увеличение)

ленные частицы (рис. 32), количество и размеры которых с глубиной увеличиваются. Оплавленные частицы иногда похожи на застывшие капли стекла или металла. Это свидетельствует о том, что они образовывались в жидком состоянии и быстро застывали. Угловатые частицы — либо обломки излившихся на поверхность и застывших магматических пород — базальтов, либо брекчии — цементированные очень тонкозернистым материалом частички ре-

голита. В материковых районах место базальта занимает анортозит, происхождение которого пока достоверно неизвестно.

Местами реголит сплошь пылевидный. Количество пыли в разных местах Луны различно. Ее оказалось, например, очень много в месте посадки «Аполлона-12». При снижении лунной кабины газовая струя из двигателя подняла тучу пыли, закрывшую видимость, так что Ч. Конраду пришлось сажать кабину почти вслепую. Как он замечал впоследствии, непрофессиональный пилот вообще не справился бы с посадкой. Ноги Бина и Конрада при ходьбе довольно глубоко погружались в грунт. С другой стороны, в Море Спокойствия, где садился «Аполлон-11», пыль была почти незаметна. Армстронг писал, что, хотя грунт и казался мягким, след углублялся обычно меньше, чем на 1 см. Частицы грунта мелкие и слипающиеся, о чем можно судить по стечетливым отпечаткам ног. На валу и дне небольшого (до 5 м в диаметре) кратера следы были намного глубже (5 см).

Детально изучен теперь состав поверхностных слоев Луны. Но надо оговориться, что его можно рассматривать с четырех точек зрения.

1. С точки зрения минералогии — науки, изучающей минералы, т. е. однородные тела, образовавшиеся в природе при естественных процессах (к минералам не относятся газы и вещества органического происхождения). В минералогии исследуются физические свойства и химический состав минералов, выясняются пути их образования.

2. С точки зрения петрографии, занимающейся изучением горных пород. Горная порода — это минеральная масса значительных размеров, состоящая из одного или смеси нескольких минералов и примерно одинаковая в разных частях.

3. Можно изучать также молекулярный состав грунта, т. е. содержание в нем химических соединений.

4. Можно изучать атомный состав, т. е. содержание отдельных элементов.

Атомный состав лунного грунта впервые был определен из расшифровки показаний альфа-радиометра, установленного на станции «Сервейор-5». Впоследствии он неоднократно определялся как по показаниям приборов, находящихся на лунной поверхности, так и в земных лабораториях по образцам, доставленным с Луны.

рис. 31. Камень, доставленный с Луны экипажем «Аполлона-11». Экспонат американской выставки в Москве

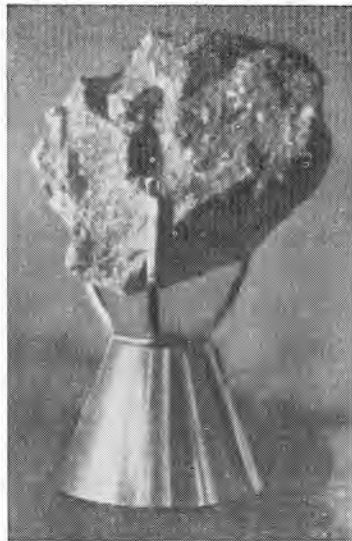
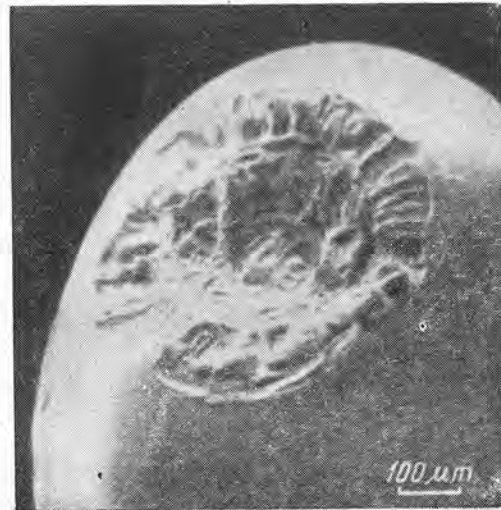


рис. 32. Частичка лунного грунта, изуродованная взрывом при ударе микрометеорита



Эти исследования показали, что в разных местах лунной поверхности содержится 19—23% (по весу) кремния, 3—17% железа, 7—13% кальция, 6—14% алюминия, 3—7% магния. В некоторых местах содержится необычно много титана. Так, в месте посадки «Аполлона-11» его оказалось 6%. Найдено несколько десятков более редких элементов — в общей сложности их меньше 1%. Все остальное (почти половина веса лунного грунта) — это кислород. В чистом виде из перечисленных элементов попадает только металлическое железо, обладающее необычной для Земли способностью не окисляться. Это железо скорее всего метеоритного происхождения, но возможно также, что свойство неокисляемости оно приобрело при возгонке (выделении) из базальта в вакууме.

Остальные элементы входят в состав химических соединений, основная масса которых в поверхностном слое Луны — это окислы кремния и металлов. Больше всего на Луне окиси кремния SiO_2 40—44%; далее по частоте распространения идут окислы железа FeO и алюминия Al_2O_3 : первого в разных местах Луны 6—21%, второго 11—23%, окиси магния MgO 7—12%, окиси кальция CaO 10—19%.

Разные районы Луны заметно различаются по химическому составу. Так, в материковом районе у кратера Аполлоний С, где села «Луна-20», окиси железа 6—7%, а в Море Изобилия, на расстоянии всего 120 км от Аполлония С, ее уже 17—19% (образцы грунта «Луны-16»). В одном и том же месте могут по данным химического анализа различаться кристаллические и раздробленные породы.

По химическому составу поверхностный слой Луны из морских районов в общем напоминает земной базальт. Но гораздо больше он сходен с эвкритами — одним из типов каменных метеоритов. Это дает ценную информацию для решения вопроса о происхождении Луны.

Теперь обратимся к минеральному составу лунного грунта. В зависимости от условий образования одним и тем же химическим составом могут обладать и разные минералы (хорошо всем известный пример — углерод, встречающийся в виде алмаза, графита и угля). Поэтому могло оказаться, что лунные минералы не нашли бы аналогов на Земле, хотя и совпадали бы с земными минералами по химическому составу. Отчасти это предположение оправдалось. Три минерала в доставленных на Землю лунных по-

родах оказались неизвестными геологам. Они были названы пироксмантанитом, ферропсевдобрукитом и хром-титанистой шпинелью. Остальные лунные минералы — это широко распространенные на Земле пироксен (химическая формула $\text{R}_2\text{Si}_2\text{O}_6$, где R — атом магния, кальция или железа), плагиоклаз, обычно состоящий из смеси молекул $\text{CaAl}_2\text{Si}_2\text{O}_8$ и $\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$, оливин R_2SiO_4 (где R — железо или магний), кристобалит SiO_2 , ильменит FeTiO_3 и чистое металлическое железо.

В грунте из морских районов Луны все эти минералы входят в состав базальтов, которые по минеральному и химическому составу достаточно близки к земным базальтам, но еще более сходны с эвкритами, как это видно из табл. 5 (см. Приложение), в которой указана доля каждого минерала в общем объеме породы. Плагиоклаз, кроме того, встречается в составе анортозита. В морских районах образцов этой породы найдено мало. Но зато из материкового района «Луна-20» привезла колонку грунта, состоящую на 50—60% из анортозита.

Петрографический анализ удается применять к более крупным частицам лунного грунта. Мелкие же его зерна в основном мономинеральные, и поэтому трудно сказать, к какой породе они принадлежали до дробления материала.

На поверхности Луны полностью отсутствует вода.

Что еще можно сказать о лунном грунте? Армстронг и Олдрин получили несколько стереоскопических снимков нетронутой поверхности Луны с очень близкого расстояния. На снимках оказалась неожиданная деталь: пятна тонкого слоя глазури на частицах грунта, что может быть результатом частичного расплавления вещества. Т. Голд (США) предположил, что не слишком давно (где-то в последние 100 000 лет) Луна подверглась внезапному общему нагреву, возможно, в результате вспышки Солнца, при которой на 10—100 сек. радиация возросла на два порядка.

Другая труднообъяснимая деталь — большое количество в лунном грунте инертных газов, особенно аргона-40. Обычно этот изотоп аргона образуется при распаде калия, и его используют для датировки пород калиево-аргонным методом, но его оказалось так много, что возраст Луны, определенный этим методом, получается равным 7 млрд. лет, что совершенно неправдоподобно. Для объяснения этого факта предложена гипотеза, что аргон выделился из глубины

Луны, а затем солнечным ветром был вбит в пылевые частицы. Другие инертные газы, по-видимому, просто занесены на Луну солнечным ветром.

Мы изложили «первичные» факты; дальнейшее изучение лунного грунта состоит в их интерпретации (но, как уже говорилось выше, разные авторы часто истолковывают одни и те же факты совершенно по-разному).

Теперь попытаемся понять, как лунный грунт приобрел свои физические свойства. Условий, в которых находится реголит, не имело ни одно вещество на Земле. В течение миллиардов лет реголит соприкасается с вакуумом. Он подвергается колебаниям температуры при смене дня и ночи. На него падают излучения самых разных длин волн и корпускулярные потоки. Метеориты взрываются и перемещают реголит, вследствие чего его частицы то оказываются на поверхности, то уходят вглубь, проводя снаружи лишь небольшую часть своей жизни.

Эти условия более или менее одинаковы на всей поверхности Луны, и по мере того как поверхностные породы превращались в реголит, они становились все более сходными по физическим свойствам и внешнему виду. Реголит из материковых районов в общем мало отличается от «морского», хотя в первом преобладает анортозит, а во втором — базальт. В реголите обнаружены также остатки метеоритного вещества.

На своеобразии условий образования поверхностного слоя лунных морей, где базальт, изливаясь из недр и оказываясь на поверхности, мгновенно вступал в контакт с вакуумом, обращает внимание академик А. П. Виноградов. Летучие элементы магмы в момент контакта должны были вырываться в вакуум, а остальные — сильно разбрызгиваться.

Исследовать состав лунных горных пород — значило получить свидетельства в пользу той или иной гипотезы о происхождении, истории и современном внутреннем строении Луны. Если исходить из гипотезы об аккумуляции Луны из околоземного роя частиц (каменных метеоритов), то ее химический состав должен быть близок к составу Земли (если не считать, что Луна потеряла легкие элементы) и соответствовать составу метеоритов.

При разогреве и плавлении первичного вещества в лунных недрах должны были происходить превращения, известные геофизикам по процессам, происходившим в обо-

лочке Земли. Как указывает академик А. П. Виноградов, эти процессы идут по механизму зонного плавления с разделением на легкоплавкую компоненту, в которой концентрируются вещества, понижающие температуру плавления, и остаточное вещество. Среди земных пород продуктами выплавки являются базальты, остаточным веществом — дуниты, ультраосновные породы. Базальт как более легкая порода (его плотность $\approx 2,97$ г/см³, а плотность дунита $3,26$ г/см³) в переплавленных недрах располагается выше; он же при излияниях лавы оказывается на поверхности. Таким образом, наличие базальта в лунных морях неоспоримо свидетельствует о том, что недра Луны прошли стадию переплавки. Можно судить и о том, какое первичное вещество подверглось переплавке. Оно действительно могло соответствовать каменным метеоритам — хондритам, богатым окисью железа в силикатной фазе.

Это только самые первые выводы о природе Луны, полученные при изучении ее поверхностных слоев. Исследования лунных пород продолжаются, и мы ждем решения многочисленных загадок Луны.

Глава 9

Лунные поля

Существование гравитационного поля Луны ощущается и на Земле. Именно оно вызывает «лунное неравенство» в движении Земли и океанские приливы. Его напряженность поддается измерениям. Благодаря измерениям напряженности поля тяготения Луны была определена масса лунного вещества, создающего это поле. Магнитное же поле Луны на Земле вообще неощутимо.

Гравитационное и магнитное поля Луны содержат в себе много интересных данных о ее природе. Поэтому в последние годы, как только стало возможным исследовать их вблизи, они стали объектом внимательного изучения.

Гравитационное поле Луны. Что такое гравитационное поле планеты? Частица, находящаяся в какой-либо точке пространства, притягивается каждой материальной частью планеты с силой, определяемой законом всемирного тяготения. Если найти равнодействующую сил, действующих на эту частицу от всех частиц планеты, то будут определены величина и направление силы, с кото-

рой эту частицу притягивает планета в целом. Выполняя такие расчеты для множества точек пространства в окрестностях планеты, можно установить закон изменения направления и величины ее силы тяготения. Этот закон и характеризует гравитационное поле планеты, т. е. поле, в котором ее масса определенным образом взаимодействует с массами других тел.

Гравитационное поле начинается в центре массы планеты и распространяется, по-видимому, до бесконечности; практически оно учитывается до таких пределов, в которых это поле заметным образом влияет на движение других небесных тел. В тех областях пространства, где притяжение данного тела сильнее притяжения других тел, его гравитационное поле считается основным, а в остальных областях — возмущающим.

Несколько по-иному обстоит дело на поверхности вращающейся планеты. Все частицы, находящиеся на поверхности (в том числе и частицы самой планеты), участвуют в суточном вращении. Кроме силы притяжения на них действует еще центробежная сила, направленная ортогонально оси вращения, т. е. под тупым углом (на экваторе — под углом 180°) к силе притяжения. Равнодействующая этих двух сил — общеизвестная сила тяжести — меньше силы притяжения планеты. К плоскости экватора она направлена под большим углом, чем вектор силы притяжения.

Рассмотрим чисто гипотетический случай, когда планета строго сферической формы и равномерной плотности не вращается. Сила тяжести в каждой ее точке совпадает с силой притяжения и направлена к центру планеты. Положим, что такая планета внезапно начала вращаться. Тогда вектор силы тяжести в каждой точке, не лежащей на полюсе или экваторе, отклонится от нормали к поверхности. Человеку, стоящему на поверхности, покажется, что он стоит на наклонной плоскости, причем в направлении к полюсу горизонт будет подниматься, а к экватору опускаться. Частицам массы планеты «будет казаться» то же самое, и они будут стремиться смещаться к экватору, как бы скатываясь с этой наклонной плоскости. Если бы отсутствовали жесткие связи частиц (планета была бы жидкой), то смещение происходило бы до тех пор, пока поверхность в каждой точке не сделалась бы ортогональной к вектору силы тяжести (причем в ходе перераспре-

деления масс сам этот вектор в каждой точке несколько менял бы направление!). Поверхность превратилась бы в эллипсоид; стоящему на ней наблюдателю она снова стала бы казаться горизонтальной, где бы он ни находился. Море, покрывающее планету, имело бы ту же форму — форму поверхности уровня моря, или уровенной поверхности.

Все, что сказано выше, относится к гидростатической теории фигур планет. Из названия теории следует, что планета рассматривается как жидкая масса, в которой отсутствуют напряжения и на которую действуют статические силы, т. е. силы, величина и направление которых относительно «тела» планеты постоянны во времени. Согласно этой теории, форма поверхности планеты определяется состоянием гидростатического равновесия (т. е. условием ортогональности к вектору силы тяжести, о котором говорилось выше). Эта теория устанавливает также соотношение плотностей вещества на разных глубинах.

Практически поверхность каждой планеты обнаруживает те или иные отступления от гидростатически равновесной формы. Усугубленные неравномерным распределением масс в недрах, они создают аномалии (неправильности) как поля силы тяжести на поверхности планеты, так и гравитационного поля вне ее.

Аномалии могут быть постоянными и переменными (типа приливных аномалий, когда движение приливных горбов по земной поверхности сопровождается небольшими колебаниями силы тяжести).

Интересно, что благодаря синхронности вращения и обращения Луны приливные горбы от земного притяжения не перемещаются по ее поверхности и форму Луны можно рассматривать в рамках гидростатической теории с учетом притяжения Земли. Для Земли же этого делать нельзя, так как приливные горбы лунных и солнечных приливов скользят по земной поверхности.

Над физической поверхностью Луны, на ней и под ней можно определить положения ряда уровенных поверхностей, расположенных примерно концентрически. Та из этих поверхностей, которая ограничивает объем, равный объему Луны, называется селеноидом. Физическая поверхность Луны местами проходит выше селеноида, а местами — под ним. Если бы высоты точек лунной поверх-

ности над нулевым уровнем определялись не геометрическим путем, а прокладкой нивелирных ходов на Луне, то эти высоты получались бы не относительно сферы, а именно относительно селеноида (или близкой к нему фигуры).

Форма селеноида и других уровенных поверхностей — важнейшая характеристика гравитационного поля. Это поле характеризуется также аномалиями силы тяжести и отклонениями отвеса в разных точках поверхности. Форму селеноида можно узнать лишь в результате изучения гравитационного поля Луны. Если считать, что форма селеноида отражает фигуру (форму) Луны, то здесь смыкаются задачи определения фигуры Луны и изучения ее гравитационного поля.

До того, как первые спутники Луны позволили экспериментально установить форму гравитационного поля Луны, астрономы могли рассматривать этот вопрос лишь теоретически и искать подтверждения своим выводам в некоторых косвенных данных.

Однородная (с равномерной плотностью) гидростатическая Луна по расчетам должна быть трехосным эллипсоидом. Отклонения его радиусов (полуосей) от среднего значения составляют всего +38, —11 и —27 м, т. е. уровенная поверхность однородной Луны должна быть почти сферической. Но этот вывод не подтвердился косвенными данными: если бы селеноид был так близок к сфере, то отклонения во вращении Луны (физическая либрация) были бы столь малы, что не наблюдались бы с Земли. Отсюда следует, что форма селеноида отличается от расчетной, а значит, Луна не находится в состоянии гидростатического равновесия. Чтобы возникала наблюдаемая физическая либрация, разница полуосей должна достигать 1 км.

Каким образом Луна оказалась неоднородной? Может быть, в прошлом, когда она была существенно ближе к Земле, ее форма соответствовала гидростатическому равновесию при постоянной плотности? Ответить на этот вопрос утвердительно мы не можем.

Вот и все данные о гравитационном поле Луны, которые можно было получить классическими методами.

При изучении гравитационного поля широко используется аппарат сферических функций, поэтому целесообразно дать о них краткую справку.

Сферической функцией (или сферической гармоникой) называется функция координат точки на сфере, состоящая из двух сомножителей, один из которых зависит только от широты, а второй — только от долготы.

Сферическая функция выглядит как волна: вдоль поверхности она плавно изменяется от наибольшего положительного до наибольшего отрицательного значения и обратно. Такое изменение может происходить как вдоль меридианов, так и вдоль параллелей. У некоторых функций в целом секторе сферы от полюса до полюса знак постоянен. Такие функции называются секториальными. Некоторые гармоники не зависят от долготы. Их нулевые значения делят сферу на широтные зоны, и эти гармоники называются зональными. Все остальные сферические функции называются тессеральными. На рис. 33, где показано несколько сферических функций, изменение окраски поверхности сферы соответствует изменению знака функции; m и n — индексы, характеризующие длину волны. Индекс n называется порядком функции. Чем выше порядок, тем в общем короче волны.

Сферические функции служат для численной характеристики распределения по сфере той или иной величины, например высоты поверхности над сферой среднего радиуса или отклонений величины силы тяжести от нормальных значений. Величина, описываемая сферическими функциями, вдоль поверхности сферы может меняться совершенно произвольно. При сложном характере изменения этой величины ее представляют суммой сферических функций разных порядков — рядом Фурье. Чем выше порядок функции, тем меньший участок сферы занимает каждая ее волна и тем более тонкие детали рассматриваемой величины удастся описать этой функцией. Поэтому чем точнее нужно охарактеризовать рассматриваемую величину сферическими функциями, тем более длинным должен быть ряд Фурье, тем функции более высоких порядков должны быть использованы. Однако раньше, до начала космической эры, не имело смысла применять для описания гравитационного поля Луны сферические функции третьего и более высоких порядков.

В 1966 г. были выведены на орбиты первые искусственные спутники Луны, и это существенно изменило положение. Уже тогда Э. Л. Акиму удалось по возмущениям в движении спутника «Луна-10» вычислить коэффициенты

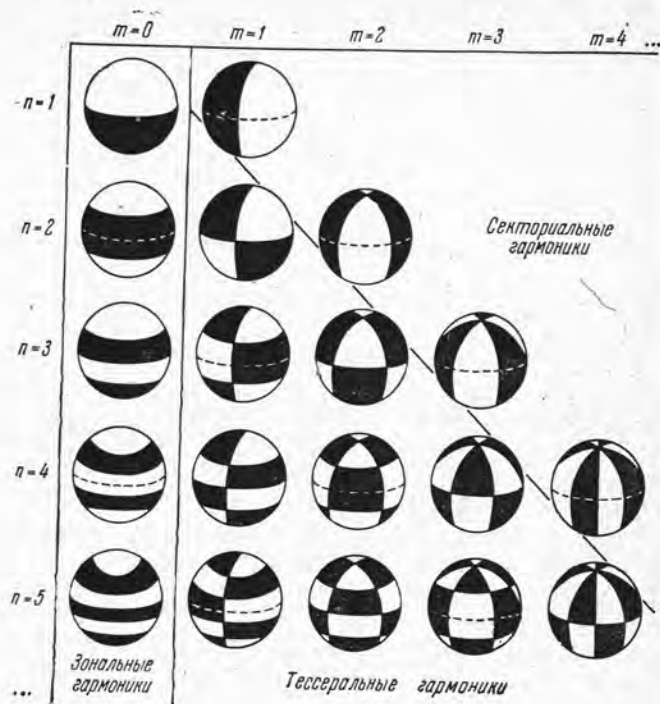


Рис. 33. Таблица сферических функций (m и n — индексы, характеризующие длины волн)

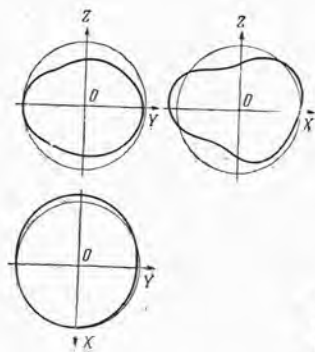


Рис. 34. Первый селеноид, вычисленный по спутниковым данным

гармоник второго, третьего и четвертого порядков потенциала силы тяжести на Луне. Он построил по этим данным уровневую поверхность, касающуюся физической поверхности в видимом центре лунного диска. Сечения этой поверхности по экватору (XY) и по меридианам 90° (YZ) и $0^\circ/180^\circ$ (XZ) представлены на рис. 34, где для наглядности масштаб вдоль радиусов увеличен в тысячу раз. Рисунок свидетельствует об асимметрии гравитационного поля видимой и невидимой сторон Луны и о грушевидности селеноида с вытянутостью на обратной стороне Луны, что соответствует форме селеноида, полученной теоретически для неоднородной Луны.

За этим первым опытом экспериментального изучения гравитационного поля Луны последовал ряд других работ. На рис. 35 воспроизведена карта гравитационного поля (аномалий силы тяжести) видимой стороны Луны, составленная в 1968 г. американскими учеными П. Мюллером и В. Сиогреном по результатам измерений движения спутников Луны «Лунар Орбитер».

Уточнение количественных характеристик поля тяготения Луны привело в 1967 г. к открытию масконов. Маскон — концентрация массы (mass concentration) или, точнее, избыточная концентрация массы в близповерхностном слое Луны, внешне никак не проявляющаяся и дающая о себе знать лишь по увеличению силы тяжести над нею. Хотя в общем-то не совсем верно, что она никак не проявляется: масконы различимы с Земли даже в театральные бинокль, потому что территориально совпадают с большими круглыми лунными морями. Но кто мог предположить еще несколько лет назад, что круглое море — признак избытка массы в недрах Луны под ним? Один маскон был обнаружен на обратной стороне Луны, в гористой местности, и это заставило группу исследователей из Корнеллского университета предположить, что в этом районе скрывается море диаметром около 1000 км. Они так и назвали его Скрытым Морем.

Первые шесть масконов были открыты в период передачи фотоинформации с аппарата «Лунар Орбитер-5». Наземными радиотехническими средствами со всей доступной точностью определялась траектория его движения вокруг Луны, что было необходимо для точной плановой привязки фотоснимков. Скорость измерялась доплеровским методом с погрешностью измерения вдоль



Рис. 35. Карта аномалий силы тяжести в видимом полушарии Луны
Изоаномалы в основном проведены через 20 миллигал (0,2 мм/сек²). Бросаются в глаза области больших положительных аномалий — масконы

луча лишь несколько миллиметров в секунду. При обработке этих измерений и было обнаружено, что скорость аппарата при пролете над круглыми морями несколько возрастала (временами на 0,5 м/сек, что составляло 0,02% его средней скорости). При этом также заметно возмущались элементы орбиты «Лунар Орбитера».

В 1968 г. были открыты масконы под морями Дождей, Ясности, Нектара, Влажности, Кризисов и под Заливом Зноя (см. рис. 35). Первое сообщение об этом сделали Мюллер и Сиогрен из Лаборатории реактивного движения в Пасадене,

Дальнейшее изучение гравитационного поля Луны, проводившееся в декабре 1968 г. во время полета по окололунной орбите корабля «Аполлон-8», привело к обнаружению масконов под морями Гумбольдта, Смита и Восточным, под двумя безымянными морями и под цирком Гримальди.

Избытки массы в масконах огромны. Так, избыток массы в Море Дождей должен составлять $2 \cdot 10^{-5}$ массы Луны, или $15 \cdot 10^{14}$ т (1,5 миллиона миллиардов тонн). Даже на высоте 100 км над поверхностью этот маскон добавляет 230 мгал (миллигал) — $0,23$ см/сек² к среднему значению ускорения силы тяжести, которое должно наблюдаться на этой высоте.

Как могли возникнуть эти избытки массы? Существует несколько теорий масконов, каждая из которых имеет свои сильные стороны и недостатки.

Так, по Мюллеру и Сиогрену масконы — это остатки падавших на Луну крупных метеоритов, планетезималей, имевших железо-никелевый состав, а потому и большую плотность, чем средняя плотность Луны. Эта гипотеза не объясняет, почему моря расположены главным образом в одном полушарии Луны, обращенном к Земле.

По Гилвари, масконы — это отложения плотных осадочных пород на дне лунных морей, которые некогда были настоящими, покрытыми водой морями. Это сравнительно неожиданная для наших дней гипотеза, так как большинство астрономов считают, что на лунной поверхности никогда не было значительного количества воды в жидком состоянии. Однако в поддержку своей гипотезы Гилвари приводит снимки, сделанные аппаратами «Лунар Орбитер» и «Аполлон-8», на которых видны образования, похожие на морские побережья, борозды, как бы прорезанные льдом или промытые водой, следы когда-то существовавших, как будто размытых кратеров.

В обеих гипотезах считается, что избыток массы в морях не уравновешен. Это находится в противоречии с теорией изостазии, согласно которой в равных сферических углах, исходящих из центра планеты, должна заключаться равная масса вещества, т. е. в тех районах, где наблюдается избыток массы на поверхности, должен быть дефицит массы на глубине. Отсутствие изостатической компенсации возможно лишь в случае, если вещество Луны обладает очень большой прочностью.

По гипотезе Каулы, масконы — результат метеоритных ударов, но образованы они не только веществом метеоритов. Каула считает, что масконы — результат перекомпенсации после сильных ударов метеоритов о лунную поверхность. При ударах крупных тел кора плавилась и образовывались моря. При этом начинались изостатические движения. Остывающая кора сопротивлялась этим движениям, поэтому они происходили преимущественно там, где кора была наиболее слабой, т. е. в морях. Вещество большой плотности выталкивалось там из недр наверх, и возник избыток массы.

Иную изостатическую модель масконов предложил В. С. Сафронов. Он исходил из того, что материковые районы Луны представляют собой скорее всего первичное вещество, никогда в истории Луны не плавившееся. Это вещество должно включать много летучих веществ; поэтому верхний слой толщиной с десяток километров может иметь плотность порядка 2 г/см^3 . С глубиной плотность постепенно возрастает и в $100\text{--}200$ км от поверхности становится близкой к средней плотности Луны — $3,34 \text{ г/см}^3$. Морские же районы Луны залиты лавой, плотность которой на всю $100\text{--}200$ -километровую глубину около 3 г/см^3 . Таким образом, вблизи поверхности в морях имеется значительный избыток массы; в то же время масса $100\text{--}200$ -километрового столба в морях примерно такая же, как в материках, чего и требует теория изостазии.

Изучение масконов и других неправильностей гравитационного поля Луны не только очень интересно для науки, но и имеет важное прикладное значение с точки зрения правильной организации космических полетов в окрестностях Луны. Как пример можно привести баллистический расчет движения космического корабля «Аполлон-11» по селеноцентрической орбите в течение суток перед отделением лунной кабины. В момент разделения движение должно было происходить по круговой орбите высотой 111 км над поверхностью. Но если бы «Аполлон-11» сразу был выведен на такую орбиту, ее параметры не сохранились бы в течение нужного времени. С учетом прогнозируемых колебаний высоты он был выведен на орбиту с высотой от 99 до 122 км, а далее за 20 час. орбита в лунном гравитационном поле эволюционировала к расчетному моменту времени в заданную круговую орбиту.

Лунный магнетизм. Магнитное поле характеризуется напряженностью, измеряемой в гаммах (γ). При напряженности поля в 1γ на единичную магнитную массу действует сила $10^{-3} \text{ г} \cdot \text{см/сек}^2$ (дин).

Напряженность магнитного поля Земли у магнитного экватора около $30\,000 \gamma$ и у магнитных полюсов — около $70\,000 \gamma$.

В 1959 г. станция «Луна-2» показала, что напряженность магнитного поля Луны не превышает 30γ . Магнитометры «Луны-10» в 1966 г. не зарегистрировали магнитного поля, которое превышало бы 1γ . Искусственный спутник Луны «Эксплорер-35» обнаружил поле в $6\text{--}10 \gamma$ (1967—1968 гг.). Магнитометр «Аполлона-12» на месте посадки в Океане Бурь обнаружил поле напряженностью 35γ , магнитометр «Аполлона-14» около кратера Конус, недалеко от Фра Мауро, — 100γ , магнитометр на луноходе «Аполлона-16» в одной из поездок — 313γ .

У Венеры и Марса заметные магнитные поля не обнаружены. Напряженность поля Юпитера по радиоастрономическим данным примерно $500\,000\text{--}1\,000\,000 \gamma$. Магнитное поле зарегистрировано также у Сатурна.

Проблему лунного магнетизма нельзя рассматривать отдельно от магнетизма Земли, планет и Солнца. Только совместное рассмотрение магнитных полей разных небесных тел позволяет понять природу планетного магнетизма и проверить некоторые предположения о внутреннем строении планет.

Магнетизм Земли ныне объясняют наличием в земном ядре электрических токов. Поддерживающая их разность потенциалов возникает благодаря конвекции (подъему более теплого и опусканию более холодного вещества) в ядре. Какую-то часть магнитного поля создают также электрические токи в верхней атмосфере Земли. «Упорядочение», соединение полей от отдельных источников в единое геомагнитное поле происходит благодаря быстрому вращению Земли.

В соответствии с этой теорией магнитное поле Юпитера должно быть очень сильным, что и установлено наблюдениями. Венера с ее медленным вращением заметного поля иметь не должна. Но непонятно отсутствие заметного магнетизма у Марса. Возможно, это связано с тем, что согласно расчетам ядро Марса должно быть существенно меньше земного. Для Луны измерения подтверждают тео-

рию. Но на лунной поверхности возможно существование магнитного поля, наведенного Солнцем. В связи с этим нужно остановиться на понятии «солнечного ветра» и на его взаимодействии с местными магнитными полями.

Вплоть до начала XX в. предполагалось, что межпланетное пространство совершенно пустое, если не считать метеорных потоков, отдельных метеоров и изредка появляющихся комет. Позже было найдено, что все окосолнечное пространство вплоть до орбит далеких планет заполнено крайне разреженными внешними областями солнечной короны, растекающейся со скоростью более 300 км/сек. Это и есть солнечный ветер. В нем разлетается от Солнца его магнитное поле. По мере удаления от Солнца и уменьшения плотности корпускулярного потока напряженность поля падает. В «спокойном» ветре около Земли и Луны она равна нескольким γ , при «порывах» возрастает до 10 γ и выше.

Набегая на Землю, солнечный ветер встречается с магнитным полем Земли, и между двумя полями устанавливается динамическое равновесие. Солнечный ветер несколько прижимает магнитное поле Земли к земной поверхности, а сам обтекает его; образуется фронт ударной волны, имеющий форму параболоида, вершина которого находится над центром дневной стороны Земли. Таким образом, над ночной стороной Земли солнечного ветра нет, но в эту сторону ударной волной сильно смещена земная магнитосфера.

В свете этого становится ясно, что если магнитного поля у Луны нет, то солнечный ветер должен достигать ее поверхности и на дневной стороне Луны может регистрироваться магнитное поле солнечного ветра. Когда Луна попадает в конус земной тени, должен регистрироваться хвост земной магнитосферы. Если Луна имеет слабое магнитное поле, солнечный ветер может «вбивать» его в грунт и тогда на поверхности будет регистрироваться опять-таки поле солнечного ветра; собственное же поле можно обнаружить только на ночной стороне Луны.

Все это не исключает местных магнитных полей, создаваемых в отдельных местах Луны магнитными породами, залегающими в ее недрах. Именно такие локальные поля зарегистрировали магнитометры кораблей «Аполлон».

До сих пор мы рассказывали о Луне. В этой главе речь пойдет о том, что находится вне Луны — о лунном небе, которое можно противопоставить Луне так же, как обычно противопоставляют небо и землю. Понятие лунного неба охватывает все, что можно наблюдать с лунной поверхности от горизонта до зенита.

Ночью и днем лунное небо черное. У Луны нет атмосферы. Малая сила лунного притяжения не могла удерживать около Луны мало-мальски заметного количества газов. Отсутствие атмосферы у Луны было доказано уже давно: об этом свидетельствовали и та четкость, с которой всегда видны с Земли контуры лунной поверхности, и кинематическая теория газов. При всем различии оценок плотности лунной атмосферы, существовавших до 1969 г., как верхний предел ее всеми признавалась величина в одну десятитысячную земной атмосферы, причем многие астрономы называли гораздо меньшие величины — одну миллионную земной атмосферы и еще меньше. Учитывая эту неопределенность, ионизационный манометр в комплекте приборов корабля «Аполлон» был настроен на диапазон атмосферных давлений от одной миллионной (10^{-6}) до одной триллионной (10^{-12}) доли земной атмосферы. Давления, измеренные манометром «Аполлона-14», лежали у нижней границы этого диапазона. Правда, временами давление существенно повышалось — обычно в моменты сдувания воздуха из лунной кабины, но иногда и от естественных причин, возможно, извержений газа из лунных недр.

На лунном небе можно наблюдать те же светила, что и на земном, лишь место Луны занимает Земля. Рисунок созвездий точно такой же, как и на земном небе. Днем на Земле атмосфера, рассеивая солнечный свет, затмевает звезды, и разглядеть их невозможно. С лунной поверхности звезды должны быть видны в любое время, но днем яркий лунный ландшафт ослепляет наблюдателя и, чтобы разглядеть звезды, глаза должны приспособиться к их слабому свету. Поэтому космонавты «Аполлона-11», как сообщил Н. Армстронг, вообще не видели звезд. Им, по видимому, мешала залитая солнечным светом лунная

поверхность, а также блики от поверхности в иллюминаторах скафандров.

Звезды выглядят не так, как они видны с Земли. Они не мерцают, не дрожат и не искрятся, кажутся просто точками. Ночью хорошо видны звезды даже у самого горизонта. Лунная небесная сфера медленно вращается в ту же сторону, что и звездное небо Земли — в северном полушарии это вращение происходит против часовой стрелки, в южном — по часовой стрелке. Полный оборот Луна делает за 27,3 земных суток. Поскольку направление лунной оси не совпадает с направлением земной географической оси, то и полюсы вращения не совпадают с земными. «Северный полюс мира» Луны находится в созвездии Дракона, примерно в 25° от Полярной звезды, а южный полюс — в созвездии Золотой Рыбы.

Уже немалое число фотографических снимков и телевизионных кадров, полученных либо непосредственно с лунной поверхности, либо с небольшой высоты над нею, содержит изображения различных небесных тел, видимых на небе Луны. С советского лунохода неоднократно передавались изображения Солнца и Земли. Аппараты «Сервейор» передали на Землю изображения Солнца, Земли, Юпитера, Сириуса и Канопуса. Хорошо известны снимки Земли, заходящей за лунный горизонт, привезенные на Землю станцией «Зонд-7». Светила с лунной поверхности наблюдались также американскими космонавтами.

Чтобы оценить роль этих первых визуальных, фотографических и телевизионных наблюдений Земли, Солнца, планет и звезд, нужно понять, какие надежды возлагают астрономы на лунные астрономические приборы и лунную обсерваторию.

Среди целей, для которых могут проводиться наблюдения светил с лунной поверхности, особняком стоят утилитарные задачи определения местоположения, т. е. задачи астрономической навигации. Первые опыты наблюдений такого рода уже имеются. Так, координаты «Лунохода-1» определялись именно по высоте Солнца и Земли над плоскостью горизонта.

Наблюдения светил, преследующие научные цели, можно разделить на астрофизические наблюдения и наблюдения с целью уточнения значений некоторых констант, называемых фундаментальными астрономическими постоянными.

Астрофизические приборы на Луне должны получать полный спектр электромагнитных излучений, тогда как до наземных обсерваторий доходят излучения лишь в нескольких сравнительно узких участках спектра. Астрофизические исследования на Луне уже начаты. Первые приборы для их проведения — это рентгеновский телескоп на «Луноходе-1», спектрометр частиц в солнечной плазме и ловушка солнечного ветра (на нескольких кораблях «Аполлон»), наконец, прибор, установленный на лунной поверхности экипажем «Аполлона-16», который объединяет электрографическую камеру для съемки небесных объектов в далеком ультрафиолете и спектрограф для получения спектров геокороны, звезд, туманностей и галактик.

К работам по определению астрономических постоянных можно пока отнести лишь эксперименты с лазерными отражателями. В будущем некоторые исследования в этой области могут быть проведены с помощью приборов, доставляемых на Луну автоматическими станциями.

Чем привлекает идея создания на Луне астрономической обсерватории? Прежде всего отсутствием атмосферных помех: рефракции, мерцания и дрожания звезд. Отсутствует на Луне и та составляющая фона неба, которая на Земле обусловлена самосвечением атмосферы. А это облегчает наблюдение протяженных слабосветящихся объектов, которых много в Солнечной системе: зодиакального света, внешних частей солнечной короны, противосияния, «хвоста» Земли, облаков Кордылевского.

Наблюдения Земли и околоземного пространства со стороны необходимы для разделения внешних и внутренних по отношению к Земле явлений, например геокороны и пыли. Можно разрешить ряд проблем, связанных с системой Солнце — Земля. Охарактеризуем кратко эти проблемы.

В середине текущего столетия было установлено, что Земля окружена протяженным пылевым облаком, не совсем однородным, но с заметной тенденцией убывания плотности по мере удаления от Земли. В конце 50-х годов были открыты радиационные пояса заряженных частиц, окружающие Землю и лежащие на высотах от 500 до 50 000 км над ее поверхностью.

С Луны можно непосредственно наблюдать пылевое космическое облако, окружающее Землю, попытаться

установить его связь с радиационными поясами Земли и по тому, как пылевые частицы рассеивают свет, изучать их распределение по размерам. Чем мельче частицы, тем более коротковолновое излучение они рассеивают. Методика таких исследований должна быть разработана заранее в земных условиях.

Далеки от решения вопросы о газовом «хвосте» Земли и противосиянии. Последнее представляет собой слабосветящееся пятно, расположенное около противоположной Солнцу точки неба и имеющее форму овала размерами $8 \times 12^\circ$, вытянутого вдоль эклиптики. Этот небесный объект всего на 15—20% ярче окружающих участков неба.

Известно, что на частицы околоземного пылевого облака, размеры которых меньше одного микрона, заметно действует отталкивающая сила светового давления со стороны Солнца. При возрастании солнечной активности, когда возникают корпускулярные потоки, движущиеся со скоростью до 2000 км/сек, сила давления значительно возрастает. Благодаря этому пылевая оболочка Земли должна вытягиваться в сторону, противоположную Солнцу, по аналогии с кометными хвостами. Противосияние как раз и может оказаться этим «хвостом» Земли.

Важно установить, существует ли противосияние при наблюдении с Луны или из космического пространства. Американские космонавты пытались сфотографировать противосияние из окрестностей Луны, но о результатах эксперимента не сообщалось. Наблюдается ли газовый или пылевой «хвост», направленный от Земли в сторону, противоположную Солнцу? Если он наблюдается с Луны, то это сыграет решающую роль в установлении истинной природы противосияния и «хвоста» Земли. Точно так же можно поставить изучение межпланетной пыли, ее структуры по длинам волн рассеянного излучения.

В последние годы доказано, что зодиакальный свет вызывается космической пылью, сосредоточенной главным образом около плоскости эклиптики. Возникает вопрос: имеется ли связь между зодиакальным светом и внешней солнечной короной — «ложной» короной, которая накладывается на «истинную» и является результатом рассеяния солнечного излучения на мелких твердых пылевых частицах, расположенных между Землей и Солнцем. Заметим при этом, что спектр у внешней (или, как ее

называют, фраунгоферовой) короны такой же, как у зодиакального света.

Обычно не удается наблюдать в деталях солнечную корону на расстояниях больше нескольких градусов от Солнца. Зодиакальный же свет может наблюдаться только при удалении от Солнца на $35-40^\circ$. Это и не дает возможности видеть стык солнечной короны и зодиакального света. С Луны же его можно увидеть; иначе говоря, можно непосредственно наблюдать зону перехода солнечной короны в окружающую межпланетную среду. Такие наблюдения позволяют судить о структурных особенностях зодиакального света вблизи Солнца и об их связи с солнечной активностью.

На поверхности Луны уже начато изучение солнечного ветра.

Наконец, на Луне несколько раз в год происходят солнечные затмения. Они видны сразу на всей обращенной к нам полусфере Луны и продолжаются по несколько часов. Наблюдая их, можно получить ценнейшие данные о земной атмосфере.

Глава 11

Картографирование Луны и ее форма

Когда картографирование Луны было поставлено на строгую основу математической картографии, возник вопрос о ее форме. Не зная форму кривой поверхности, невозможно правильно отобразить ее на плоской карте. Но что такое форма Луны? Можно ли считать ее поверхность сферой? Ведь телескопические наблюдения показывают, что края Луны имеют волнистое строение. Кроме того, установлено, что Луна несимметрична как относительно центрального меридиана, так и относительно плоскости экватора. В общем в ее форме не меньше неправильностей, чем в форме Земли. Поэтому уместно вспомнить, как искали выход из аналогичного положения при картографировании Земли.

При определении общей формы Земли существование рельефа игнорировалось. Этому способствовало столь благоприятное обстоятельство, как отсутствие рельефа на $\frac{2}{3}$ поверхности земного шара, покрытых водой. Можно было говорить о форме Земли как о форме поверхности

океана. Уже вавилонские жрецы считали Землю шаром, а в IV в. до н. э. доказательство сферичности Земли дал Аристотель. Сфера устраивала ученых до XVIII в., когда сначала геодезическими измерениями, а затем и теоретически было показано, что Земля сплюснута у полюсов и что форма поверхности океана — не сфера, а двухосный эллипсоид, или эллипсоид вращения. Его сжатие составляет всего около $\frac{1}{300}$, но эта маленькая цифра, переведенная в линейную меру, означала, что полярный радиус Земли меньше экваториального на 21 км! Максимальная разница расстояний различных точек земной поверхности от центра Земли за счет сжатия в несколько раз больше, чем за счет рельефа. Поэтому картографы вынуждены были заменить сферу как идеальную поверхность Земли на эллипсоид вращения (заметим здесь, что такая идеальная поверхность называется поверхностью относимости или референц-поверхностью. Если она имеет форму эллипсоида, то называется референц-эллипсоидом).

Впоследствии оказалось, что и эллипсоид неточно отражает форму поверхности океана, что эта поверхность местами проходит выше эллипсоида, а местами ниже него. Эллипсоид — геометрически правильная поверхность, но ведь форма океана подчиняется не законам геометрии, а законам тяготения! Его поверхность, как говорилось в главе 9, — это уровенная поверхность, которая в каждой точке перпендикулярна направлению силы тяжести. Без уровенной поверхности Земли — геоида — не обойтись в геодезии, потому что все геодезические приборы устанавливаются по направлению отвесной линии, а все высоты точек земной поверхности над уровнем моря получаются из измерений, выполненных этими приборами.

Геоид — геометрически неправильная поверхность. На карте его высот над эллипсоидом вращения он предстает как волнистая поверхность, которую лучше всего можно описать сферическими функциями. Но использовать эту поверхность в качестве картографической основы чрезвычайно неудобно из-за ее неправильности. На ней почти невозможно вести геодезические вычисления, например определять расстояния между пунктами или азимуты. Все это делают на эллипсоиде. Высоты же указывают над геоидом — в противном случае можно было бы столкнуться на карте с таким, например, явлением, как текущая вверх река.

Таким образом мы подошли к рельефу — для картографии это своего рода «чужеродное тело», не относящееся к общей форме Земли. Поэтому и отличают «поверхность уровня океана» от «физической поверхности» Земли, которая в океанах совпадает с геоидом, а на суше — с фактической поверхностью.

Итак, при изучении формы Земли отдельно рассматривают формы референц-поверхности, уровенной поверхности и физической поверхности. Эти же три поверхности рассматриваются и в работах по определению формы Луны.

Уровенная поверхность — это описанный в главе 9 селеноид. Изучение фигуры Луны сложилось так, что форма селеноида определялась независимо от формы физической поверхности Луны и известна сейчас лучше, чем последняя. Дело здесь в том, что, в отличие от Земли, на лунной поверхности никогда не велись геодезические измерения высот и высота рельефа до последнего времени определялась только геометрическими методами из наблюдений с Земли. По этой же причине высоты лунного рельефа отсчитываются не от селеноида, а от центра Луны либо от селеноцентрической сферы.

Первый селеноид по спутниковым данным, как уже говорилось, получил в 1966 г. Э. Л. Аким, использовавший сферические функции до четвертого порядка. Уже в 1968 г. были вычислены коэффициенты разложения гравитационного потенциала по сферическим функциям до четвертого порядка с добавлением зональных гармоник пятого — восьмого порядков. А в 1969 г. порядок разложения был доведен до тринадцатого. Необходимость дальнейшего увеличения порядка разложения вызывает сильные сомнения. Скорее работа должна пойти по пути уточнения коэффициентов отдельных гармоник, которые в своем большинстве имеют заметные ошибки и в таблицах разложения гравитационного поля, составленных разными исследователями, зачастую выглядят совершенно непохожими.

Теперь перейдем к референц-поверхности. Но здесь нужно коротко рассказать о методах определения формы Луны.

Методы определения формы Луны и положений точек на ее поверхности различны для краевой зоны (полосы шириной $10\text{--}20^\circ$ вдоль среднего положения лунного края), для

зоны терминатора и для центральных частей диска. Форма лунного края при различных либрациях измеряется или визуально с помощью специальных измерительных насадок, надеваемых на окуляр телескопа, или по фотографиям. Иногда используются также измерения моментов покрытий Луной звезд.

На базе этих исследований в разное время было предложено несколько моделей профиля лунного диска. Большинство их предназначено для обработки наблюдений Луны, при которых измеряются расстояния кратеров от лунного края. Эти модели создавались для наиболее точного отражения фактической формы края, какой бы она ни была. Такие модели предлагали в СССР А. А. Яковкин и Х. И. Поттер.

В моделях, служивших материалом для оценок при выборе референц-поверхности Луны, отдельные структуры лунного рельефа исключались из рассмотрения. Так, Б. Ю. Левин в своей модели пренебрег влиянием южного нагорья и пояса морей в экваториальной зоне, после чего получил эллипс, сжатый у каждого полюса на 1,25 км.

Существуют модели и иного назначения, где средний профиль Луны считается окружностью.

Перечисленные здесь модели краевой зоны Луны в какой-то мере противоречат друг другу; следствием этого была взаимная критика одних моделей авторами других моделей. Нас это смущать не должно. В данном случае мы имеем совершенно ясную цель: определение фигуры референц-поверхности Луны, и поэтому модели Яковкина и Поттера просто не будем принимать во внимание.

Измерения в зоне терминатора состоят в оценке его деформаций, обусловленных наличием гор и низин или негоризонтальностью поверхности, в определении положения терминатора, не искривленного рельефом, в сравнении фигуры этого «осредненного» терминатора с эллипсом и в оценке региональных (охватывающих большие территории) или локальных (местных) отклонений. Эффективность этого метода при исследовании фигуры Луны признается не всеми (но для определения высоты лунных гор над окружающей равниной он с успехом используется более 150 лет; идею его подал еще Галилей).

Наиболее строгий способ определения истинной формы центральной зоны видимого с Земли полушария Луны — это измерение пространственного расположения лунных

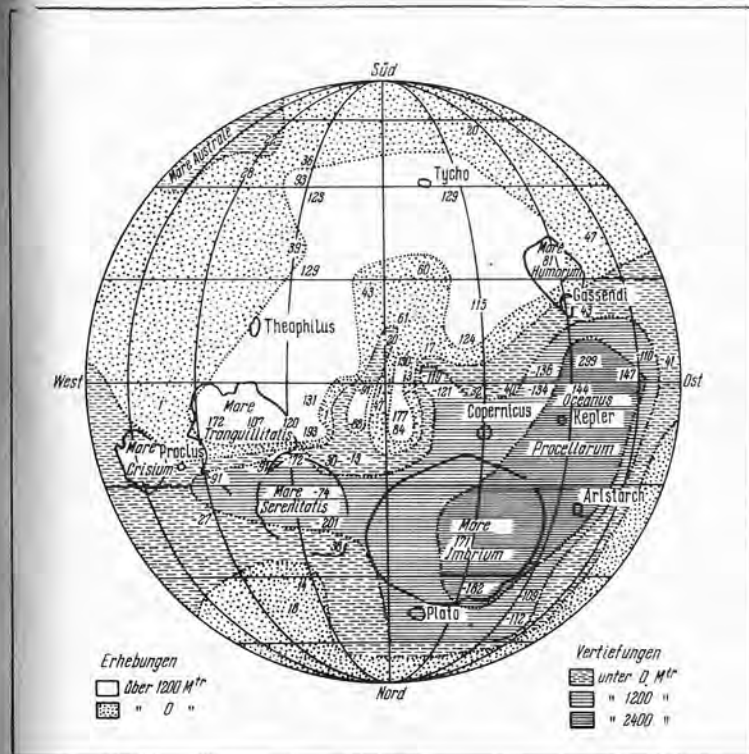


Рис. 36. Гипсометрическая карта Луны Ю. Франца (1901 г.)

образований на стереопарах фотографий Луны, полученных, когда контуры в центральной части диска Луны смещены за счет оптической либрации то в одну, то в другую сторону. Методы этих измерений известны из практики обработки аэрофотоснимков. Такой метод, как и любой другой, дает наибольшую ошибку определения положений точек лунной поверхности вдоль первого лунного радиуса (вдоль среднего направления на Землю), так как базис для стереопары получается все же небольшим. В центре видимой полусферы из-за этого хуже всего определяются расстояния точек от центра Луны. В краевой зоне эта причина увеличивает неопределенность положения пунктов

по касательной к поверхности, что не сказывается на точности определения формы Луны.

В начале нашего века Ю. Франц, измерив пять фотографий Луны при различных либрациях, построил карту лунного рельефа на некоторой сфере. Эта первая гипсометрическая карта Луны воспроизводится на рис. 36. Белым на ней показаны области, поднятые над сферой более чем на 1200 м. Наиболее темные области опущены глубже 2400 м. Обозначены также высоты отдельных пунктов (в десятках метров). В ходе этой работы Франц установил, что первый (направленный к Земле) лунный радиус больше ортогональных к нему радиусов примерно на 1,5 км.

По результатам Франца и Левина в качестве референц-поверхности для Луны, казалось бы, нужно принять эллипсоид. Но если учесть также, что разность полуосей этого эллипсоида меньше 2 км, что на Луне нет океана, диктующего «естественную» форму ее поверхности, и что для картографии и геодезии сфера гораздо удобнее эллипсоида, надо все же предпочесть сферу.

Итак, референц-сфера. Ее центр должен совпадать с центром массы Луны, а экватор — с лунным экватором. Целесообразно, чтобы ее объем равнялся объему Луны, тогда области отрицательных и положительных высот на Луне занимают более или менее равные территории. В настоящее время для радиуса Луны принято значение 1738 км. Некоторые авторы в последнее время называют другую цифру — 1735 км. Однако астрономы не торопятся бросаться за всеми новыми данными и за каждой новой цифрой, пока неясно, за счет чего получилось расхождение на три км с предыдущими данными.

Референц-сфера служит основой для лунной картографии. Ее экватор считается лунным экватором; от нее в стороны полюсов отсчитываются селенографические широты. Один из меридианов этой сферы (дуга большого круга, соединяющая полюсы) считается нулевым меридианом. От него отсчитываются долготы. От сферы вдоль селеноцентрических радиусов отсчитываются высоты точек физической поверхности Луны.

Совокупность пространственных координат (широт, долгот и высот) всех точек лунной поверхности и определяет собой форму физической поверхности Луны. Иначе говоря, она определяется высотами лунного рельефа над референц-сферой.

Как уже было сказано, для определения этих высот использованы многочисленные измерения в краевой зоне Луны, в зоне терминатора и в центре лунного диска. По результатам этих измерений были составлены сначала каталоги координат (включая высоты) пунктов видимого полушария Луны. По ним построены гипсометрические карты (карты рельефа). Первую такую карту мы видели на рис. 36. Из работ последних лет можно назвать карту И. В. Гаврилова (Астрономическая обсерватория АН УССР). Надо заметить, что карты, построенные по разным каталогам высот, обычно так сильно отличаются одна от другой, что кажутся картами поверхности различных небесных тел. Отсюда следует, что точность каталогов высот пока еще низка.

На кораблях «Аполлон» предприняты попытки уточнения лунного рельефа посредством измерения высоты корабля над поверхностью при его движении по окололунной орбите. Измерения имеют небольшие ошибки: для них использованы лазерные высотомеры. Однако обработка этих измерений, выполненных с орбиты, пролегающей в неправильном гравитационном поле Луны, достаточно сложна и может внести в результат собственные ошибки.

Может быть, из-за неизбежно больших погрешностей «обычных» гипсометрических карт и фактической формы физической поверхности в последние годы много усилий было затрачено на то, чтобы определить форму некоторой странной поверхности, которая из-за своей сложности не может служить референц-поверхностью и в то же время не является ни ровной, ни физической поверхностью Луны. Это — поверхность, описываемая сферическими функциями и проходящая через несколько сотен точек с известными координатами, разбросанных по видимой полусфере Луны. Ряд карт этой поверхности построен Гудасом в Греции, Миллсом в Англии и др.

На рис. 37 показана одна из таких карт, составленная Гудасом с использованием сферических функций до восьмого порядка. Как сильно влияет порядок разложения на форму получаемой поверхности, можно судить по рис. 38, где использованы те же исходные цифровые данные, но порядок уменьшен до шести. Столь заметное влияние порядка на получаемый результат в общем не в пользу этого метода. Но можно привести и другие аргументы за и против. За него то, что на такой карте лучше прослеживаются

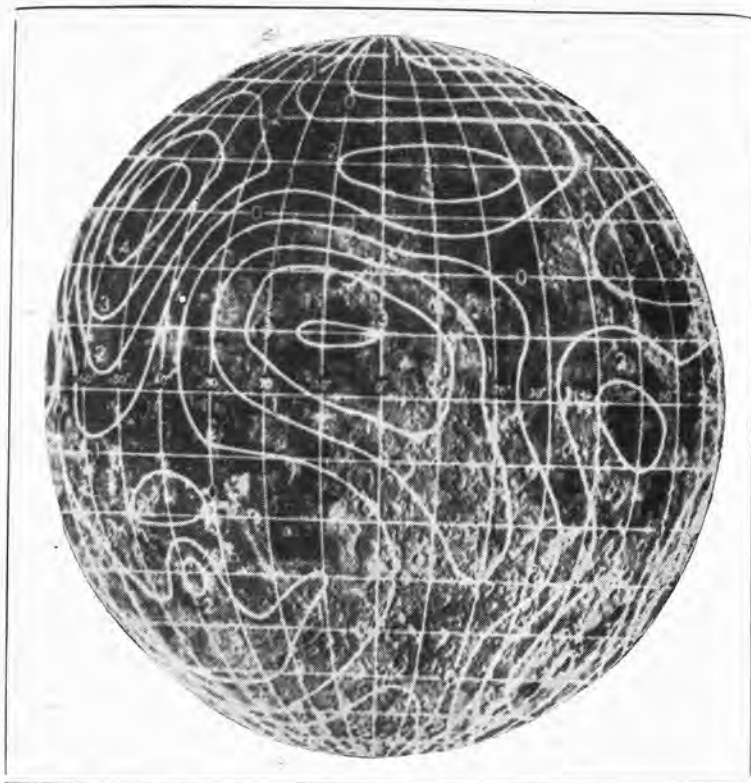


Рис. 37. Гипсометрическая карта Луны, основанная на гармоническом анализе высот 150 точек, содержащихся в одном из лунных каталогов (разложение по сферическим функциям до 8-го порядка)

тенденции в рельефе, они не затушевываются мелкими случайными отклонениями высоты отдельных районов, которая, к тому же, не везде еще достоверно известна. Не очень логично, кроме того, строить детальную гипсометрическую карту Луны, когда ошибки высот отдельных больших территорий относительно среднего уровня могут достигать многих сотен метров.

То, что получаемая карта в общем не характеризует ни рельеф, ни референц-поверхность, также против метода. По этой причине, например, профессор Б. Ю. Левин считает эти работы просто математической забавой.

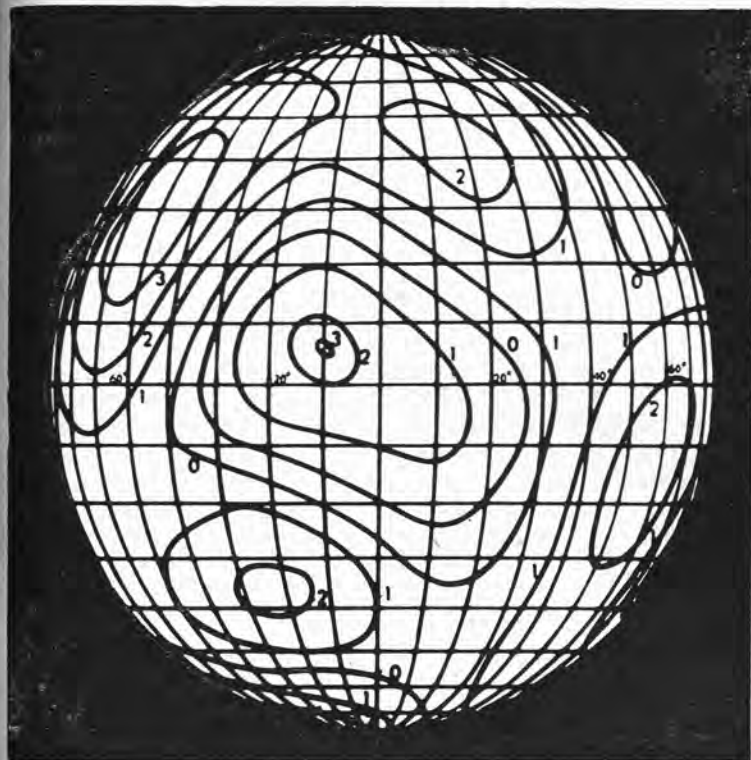


Рис. 38. То же, что на рис. 37, но порядок разложения уменьшен до шести

Говорят, что сферические гармоники в рельефе можно сопоставлять с гармониками гравитационного потенциала соответствующего порядка. Для однородной Луны между теми и другими должна существовать хорошо известная из теории взаимосвязь. По их несовпадению можно, следовательно, судить о степени неоднородности Луны. Но такой анализ неосуществим по двум причинам. Во-первых, при вычислении коэффициентов гармоник рельефа за неимением данных о невидимой стороне Луны произвольно принимается, что она симметрична видимой; во-вторых, предполагается, что высоты каталогизированных образований

равны высотам окружающей их местности, что в общем случае неверно. Что можно было бы сказать о гипсометрической карте Москвы, на которой за высоту Ленинских гор принималась бы, скажем, высота шпиля университета, а за высоту Комсомольской площади — уровень в туннеле метро? Между тем в лунных каталогах высот избавиться от такого разнобоя пока не удалось. И если это искажает обычные гипсометрические карты, то в разложениях по сферическим функциям сказывается в еще большей степени.

Данные о фигуре Луны, которые здесь приведены, в значительной степени основаны на измерениях обсерваторий. Лишь знанием формы селеноида мы почти исключительно обязаны спутникам Луны. Больших успехов, хотя и небывших, и нелегких, в деле уточнения формы физической поверхности Луны и составления хороших гипсометрических карт следует ждать от специальной аппаратуры на спутниках Луны, которая позволит измерять расстояния от спутника до проплывающей внизу местности и одновременно определять параметры его движения относительно центра массы Луны.

Лунная картография насчитывает четыреста лет. Самая ранняя из известных нам карт Луны составлена Джильбертом по визуальным наблюдениям в конце XVI в., еще до изобретения телескопа (рис. 39). Неудивительно, что эта карта очень неточна; на ней лишь прослеживаются наиболее отчетливые границы между светлыми материковыми и темными морскими районами Луны.

Первым увидел Луну в телескоп Галилей. В книге «Звездный вестник» (1610), где он собрал результаты своих первых телескопических наблюдений, приводятся пять зарисовок Луны в разных фазах (рис. 40). Галилей, по видимому, не был искусным картографом. Ни одна из деталей его зарисовок не может быть надежно идентифицирована с известными контурами лунной поверхности. Возможно, что он не задавался целью нарисовать карту Луны. Ему важно было показать, что Луна похожа на Землю, что она вовсе не является идеальным телом совершенно особой, «небесной» природы. Это мнение подтверждается тем, что имевшийся у Галилея телескоп позволял ему наблюдать сравнительно мелкие детали лунной поверхности. Сохранились зарисовки кратеров, причём один из них — с центральной горкой, и горного хребта.



Рис. 39. Карта Луны Джильберта (XVI в.)

Если зарисовки Галилея не считать лунными картами, то приоритет в картографировании Луны с помощью телескопа должен принадлежать английскому математику Томасу Харриоту (1560 — 1621). Среди его рукописей, хранящихся в различных архивах Англии, недавно найдены зарисовки Луны, сделанные им в 1610 г., а также карта Луны, составленная между 1610 и 1612 гг. и содержащая много деталей, хорошо опознающихся и на современных картах: различимы моря, крупные кратеры и даже два луча из лучевой системы кратера Тихо (следующие карты с нанесенными на них лучами относятся уже к 1645 г.).

За картой Харриота следует рисунок Шейнера, опубликованный в 1614 г. На нем показана Луна в первой четвер-

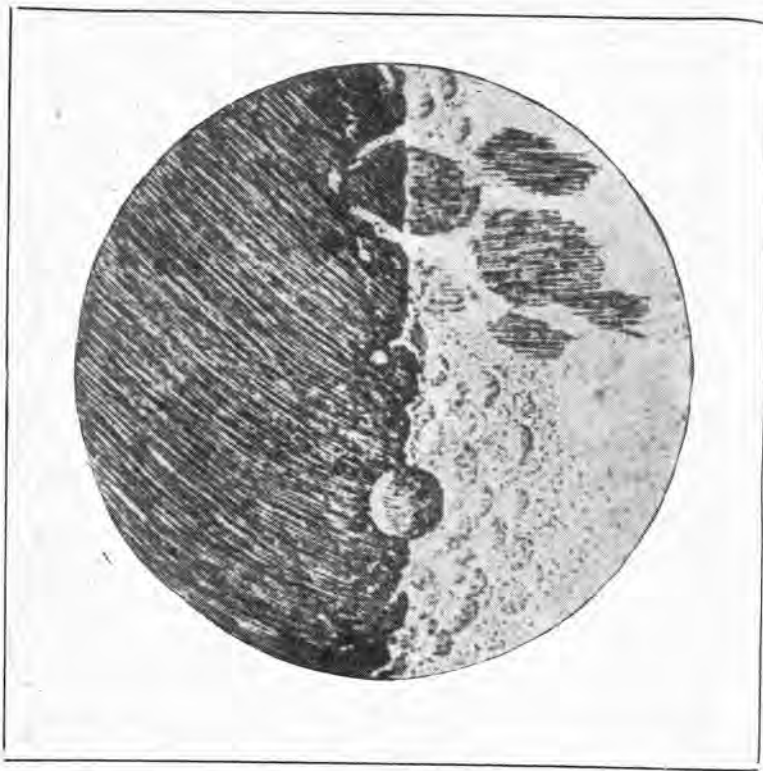


Рис. 40. Рисунок Луны Галилея (XVII в.)

ти. Деталей не намного больше, чем на рисунках Галилея, однако их можно опознать.

Затем лунные карты стали появляться одна за другой, как из рога изобилия. По мере совершенствования и увеличения разрешающей способности телескопов они становились все точнее и подробнее. К первой половине XVII в. относятся карты бельгийского математика Малаперта, Гассенди и гравера Меллана, Эрголи, ван Лангрена, Рейта, Фонтаны, Гевелия, Дивини, Гримальди.

Ван Лангрэн, Гевелий и Риччиоли (опубликовавший карту Гримальди) начали присваивать деталям лунной поверхности наименования, т. е. ввели в обиход номенклатуру лунных карт. Из наименований Лангрена сохранились до

наших дней лишь Sinus Medii (Центральный Залив) и кратер Лангрэн, из наименований Гевелия — названия горных цепей. В основном же современная система наименований заложена Риччиоли.

Во второй половине XVII в. появился еще ряд карт, среди них — карта Монтанари, который, по-видимому, был первым, кто применил при наблюдениях Луны нитяной микрометр, что позволило точно определять положения деталей на лунном диске.

В первой половине XVIII в. не было заметных работ по лунной картографии. Новый ее этап начал Тобиас Майер. Он первым ввел для лунной карты координатную сетку. Для нанесения на карту сетки меридианов и параллелей он измерил положения на лунной поверхности ряда точек. Расположение экватора он определил, принимая во внимание законы вращения Луны, выведенные Кассини. Карта Майера, составленная в 1750 г., но опубликованная лишь в 1881 г., выполнена в ортографической проекции, которая применяется для многих лунных карт и поныне, спустя 200 с лишним лет.

Майер, как пишет Эд. Копал, открывает эпоху, когда селенография становится по меньшей мере более точной научной дисциплиной. В эту эпоху карты Луны выпустили также Ламберт в 1780—1783 гг., Лорман, Бэр и Мэдлер, Шмидт в XIX в., Гудейкр, Фаут, Уилкинс в XX в. Последние из этих лунных карт — гиганты. Карта Бэра и Мэдлера имела около 1 м в диаметре и содержала практически все детали, какие только можно было различить на лунном диске в рефрактор с 10-сантиметровым объективом. На карте Шмидта нанесено более 33 тысяч деталей, а ее диаметр (если сложить секции, из которых она состоит) около 2 м. Такого же масштаба и карта Гудейкра. На карте Фаута (1932) Луна имеет 3,5 м в диаметре, на карте Уилкинса (1955) — 5 м (в другом издании — 2,5 м). При составлении этих карт использовались крупномасштабные фотографии Луны, однако в основе их лежат визуальные наблюдения. Поэтому, пишет Копал, Уилкинс останется, вероятно, последним автором лунных карт такого рода.

Первые опыты получения фотографических лунных карт были предприняты Араго и Дагерром во Франции в 1839 г. Затем в технику фотографирования Луны внесли свой вклад многие астрономы из ряда стран. В результате уже в конце XIX в. было создано два больших фотограfi-

ческих атласа Луны. «Атлас Луны Ликской обсерватории», вышедший в 1897 г., содержит снимки масштаба примерно 1 : 3 500 000, что соответствует диаметру Луны около 1 м. Атлас Леви и Пюизе (Париж, 1896—1909) состоит из 80 фотографий, несколько различающихся по масштабам.

Следующий атлас был составлен в 1899 г. Вейнеком в Праге. В его основу положены сильно увеличенные ликские и парижские фотографии (ликские до размеров, соответствующих диаметру Луны около 3 м, и парижские — до 4 м). Атлас состоял из ста листов; вторая часть атласа, в которой также должно было быть сто листов, не увидела свет из-за финансовых трудностей.

В первой половине нашего века большой лунный атлас составлен Пикерингом (1903); в нескольких странах были выпущены уменьшенные переиздания атласа Леви и Пюизе.

Наиболее подробным фотографическим атласом Луны считается сейчас атлас Койпера (1960), в котором подобраны лучшие фотографии, полученные в последние десятилетия на таких крупных обсерваториях, как Ликская, Йеркская, Пик дю-Миди, Маунт-Вильсон. Позже выпущено два приложения к атласу. В последние годы вышло еще несколько фотографических атласов Луны.

Все перечисленное касается «старого облика» Луны.

Переход к новой картографии Луны знаменуют собою три, хотя и неравнозначных, события.

Первое — получение изображений обратной стороны Луны. Все лунные карты до 1959 г. были несколько «однобокими», так как показывали только одно ее полушарие. И лишь после «Луны-3» и «Зонда-3» стало возможным составление полной карты Луны и полного лунного глобуса.

Второе — перестановка направлений востока и запада на лунных картах. До 1961 г. восточные долготы на Луне отсчитывали от центрального меридиана в направлении к точке востока земного горизонта, западные — к точке запада. В 1961 г. по решению XI Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза эти направления поменяли; они стали такими же, как и на Земле. Эта замена имеет глубокий смысл именно в связи с наступлением космической эры: теперь наблюдатель на лунной поверхности видит восходы звезд в стороне неба, называемой восточной стороной, и заходы — в западной; при старых наименованиях получилось бы наоборот.

Третье — переход к составлению лунных карт в конформных или близких к ним проекциях. Дело в том, что использовавшаяся ранее для всех лунных карт ортографическая проекция наилучшим образом передает форму и пропорции лунных деталей так, как они наблюдаются с Земли. Ни для наблюдений со спутника Луны, ни для ориентирования на лунной поверхности ортографические карты не годятся.

Чтобы дать представление о картографической основе, на которой строятся современные лунные карты, расскажем коротко о картографических проекциях.

При изготовлении карты изображение со сферической поверхности небесного тела переносится на плоскость. Точно отобразить сферу на плоскости невозможно, и каждая картографическая проекция имеет те или иные недостатки. При составлении карты выбирается такая проекция, недостатки которой не помешают использовать карту по определенному назначению.

Изображение (картографическую сетку) со сферы (с поверхности планеты) можно перенести на конус, ось которого совпадает с полярной осью планеты, таким образом, чтобы масштаб вдоль каждой параллели сохранился постоянным, а масштаб вдоль меридианов с удалением от вершины конуса менялся по одному и тому же заданному закону.

Если этот конус разрезать по образующей и развернуть на плоскость, получится коническая проекция. Параллели изображаются дугами концентрических окружностей, а меридианы — радиальными прямыми. Углы между равноудаленными меридианами будут постоянными; расстояния между параллелями могут быть подобраны так, чтобы сохранялись площади (в этом случае получится равновеликая коническая проекция) или чтобы не искажались углы и сохранялась форма малых контуров (в этом случае получится конформная, или равноугольная, коническая проекция). В других случаях получаются произвольные проекции.

При удалении вершины конуса в бесконечность конус превращается в цилиндр, а проекция — в цилиндрическую. Меридианы и параллели разрезанного по образующей и раскатанного по плоскости цилиндра образуют прямоугольную координатную сетку.

Если увеличить угол при вершине конуса до 180° , то конус превратится в плоскость, ортогональную его оси, и

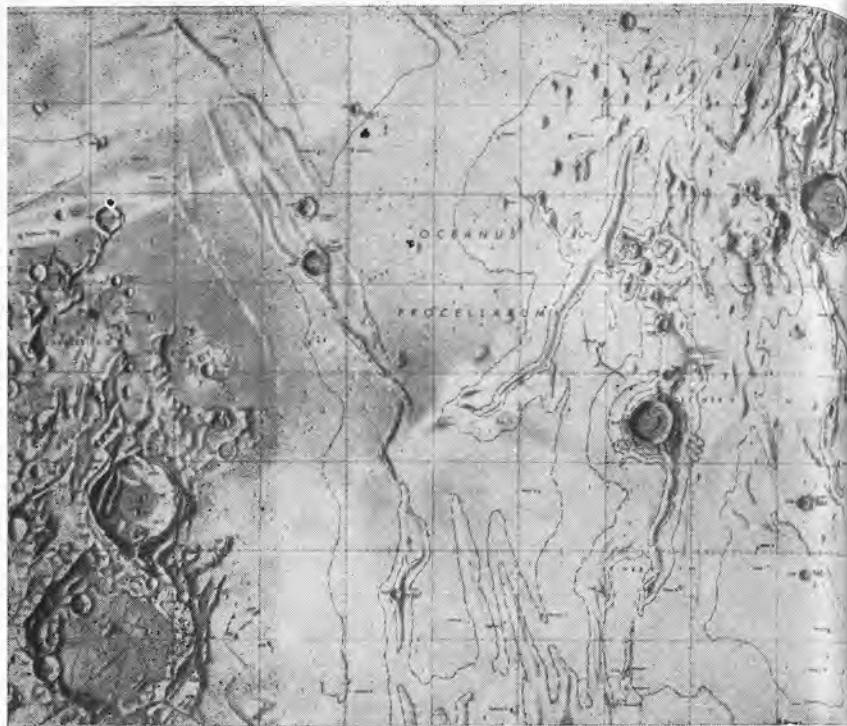


Рис. 41. Лист американской карты Луны масштаба 1 : 1 000 000 (уменьшено)

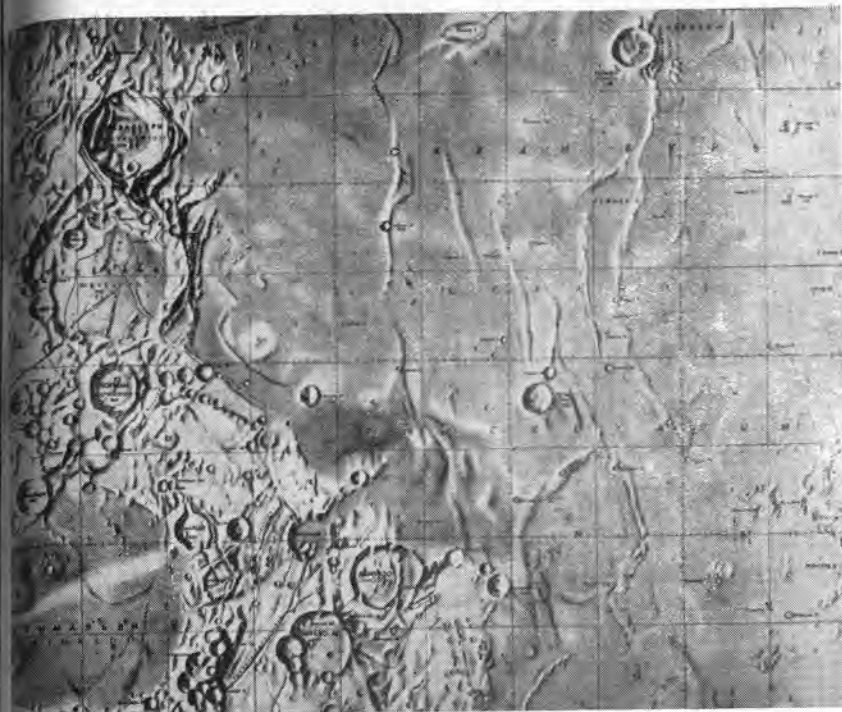


Рис. 42. Лист советской карты Луны масштаба 1 : 1 000 000, частично перекрывающий карту, показанную на рис. 41 (уменьшено)

мы получим другой частный случай конической проекции — азимутальную проекцию. Если ось проекции (как и прежде) совпадает с полярной осью планеты, проекция называется полярной. Параллели в ней изображаются concentрическими окружностями, меридианы — равноотстоящими радиальными прямыми. Азимутальная проекция также может быть конформной, равновеликой или произвольной.

Конформная азимутальная проекция является одной из перспективных проекций, т. е. проекций, получаемых непосредственным проецированием сферы на плоскость из точки. Она получается проецированием из точки сферы, наиболее удаленной от плоскости проецирования. Другой вид перспективной проекции — ортографическая проекция,

упоминавшаяся выше. Она получается при проецировании из бесконечно удаленной точки.

Новые карты показывают новый, еще недавно казавшийся нам необычным облик Луны. Самая первая из них — карта Аэронавтического центра карт и информации США. Она выпускалась начиная с 1960 г. отдельными листами размером 50 × 60 см (рис. 41). Ее масштаб 1 : 1 000 000 (1 мм на карте соответствует 1 км на поверхности Луны). Карта, покрывшая всю видимую сторону Луны, показывает все детали лунной поверхности, какие только были обнаружены на фотографиях, специально сделанных на обсерватории Пик дю-Миди с помощью 24-дюймового рефрактора и 43-дюймового рефлектора. Эти детали изображены с помощью отмывки (оттенения рельефа) и горизонталей,

проведенных через 300 м высоты. На карте отражены также цветовые особенности поверхности Луны.

Отсчет высот ведется от сферы радиусом 1734,4 км, который на 3,6 км меньше принятого радиуса сферической Луны. Цель этого — сведение до минимума области отрицательных высот. Поскольку на Луне нет «естественного» нулевого уровня, каким для Земли служит уровень моря, это изменение несущественно.

При составлении карты использованы три конформные проекции: цилиндрическая для полосы вдоль экватора между $+16^\circ$ и -16° широты, полярная азимутальная — для полярных областей за $\pm 80^\circ$ широты и коническая — для полос средних широт северного и южного полушарий: $\pm(16^\circ - 48^\circ)$ и $\pm(48^\circ - 80^\circ)$. Масштабы вдоль параллелей подобраны так, чтобы на границах перечисленных зон изображения контуров местности точно стыковались между собой.

При составлении карты негативные изображения лунной поверхности проецировались на вогнутое зеркало, которое отражало их в виде параллельного пучка лучей. На пути этого пучка устанавливалась прозрачная координатная сетка и далее — цилиндрическая (когда нужно было получить цилиндрическую проекцию) или коническая (для конической проекции) поверхность — экран. Потом экран покрывался фотобумагой и производилось ее экспонирование. На полученных фотокартах затем оттенялся рельеф, проводились горизонтали, наносились наименования образований лунной поверхности.

Большую сложность представляло нанесение горизонталей. Одна, «опорная», горизонталь $+1000$ м над принятым нулевым уровнем была нанесена по известным высотам 150 точек лунной поверхности. Затем по стереопарам изображений Луны методами фотограмметрии (науки об обработке аэрофотоснимков) были найдены положения остальных горизонталей. Проведению горизонталей предшествовала большая работа по определению перепадов высот методом измерения теней.

В рамках той же программы картографирования Луны для отдельных ее районов изготовлены листы карт масштабов $1:2\,000\,000$ и $1:500\,000$.

В 1968 г. карта экваториальной зоны видимого полушария Луны (до $\pm 8^\circ$ широты и $\pm 70^\circ$ долготы) на семи листах в масштабе $1:1\,000\,000$ выпущена в СССР (рис. 42).

Так же, как американские карты экваториальных районов, она составлена в конформной цилиндрической проекции. Принципы внешнего оформления карты — изображение рельефа отмывкой, отображение различной окраски поверхности, подрисовка теней, которые должны наблюдаться при косом освещении местности Солнцем, — все это совпадает с методами американских картографов, чтобы не нарушить единство лунных карт и чтобы закрепить такое оформление как стандарт на будущее. Наряду с латинскими наименованиями деталей поверхности на этой карте имеются русские наименования.

В 1967 г. в СССР выпущена первая полная карта Луны, составленная для видимой с Земли части лунной поверхности по фотографическим атласам Луны, а для невидимой — по фотографиям «Луны-3» и «Зонда-3». Ее масштаб — $1:5\,000\,000$ для широт до $\pm 60^\circ$ и $1:10\,000\,000$ для полярных областей. Зона карты до $\pm 60^\circ$ изображена в произвольной цилиндрической проекции, полученной центральным проецированием лунной поверхности на цилиндр. Внешне эта проекция похожа на конформную. Карты околополярных областей (от $\pm 50^\circ$ широты, т. е. с 10° -градусным перекрытием основной карты), как и полярные карты США, даны в азимутальной полярной проекции.

Чтобы правильно расположить контуры местности на картографической сетке на видимой с Земли части поверхности Луны, использовали сеть точек, координаты которых были определены из наблюдений с Земли. Благодаря наличию на снимках, переданных «Луной-3» и «Зондом-3», значительной части видимой поверхности Луны, удалось определить координаты пунктов и на обратной стороне Луны. Конечно, эти координаты получены со значительно меньшей точностью. Для выделения форм рельефа изображены тени, которые должны наблюдаться при вечернем освещении местности (с запада).

Карта обратной стороны Луны (рис. 43) составлена в США в масштабе $1:5\,000\,000$ по материалам «Зонда-3» и станций серии «Лунар Орбитер». Пояс этой карты до $\pm 50^\circ$ составлен в цилиндрической проекции и от $\pm 50^\circ$ до полюсов — в азимутальной. Карта имеет больше деталей, чем полная советская карта Луны, но большие погрешности в плановом расположении контуров. Это связано с тем, что объединить в одну систему крупномасштабные фотографии «Лунар Орбитер» оказалось весьма сложно.

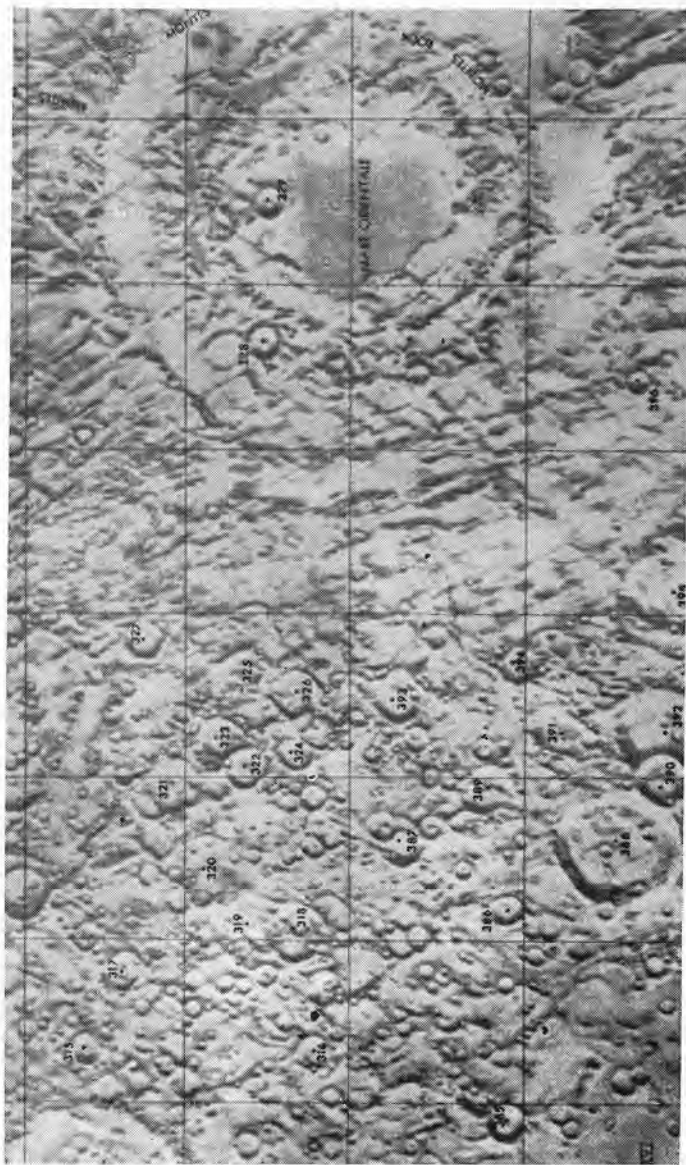


Рис. 43. Фрагмент карты обратной стороны Луны

Поучительно сопоставление лунных карт (см. рис. 41—43) с топографическими картами безлесных малонаселенных участков земной поверхности, выполненными в тех же масштабах. При взгляде на них человеку, которому пришлось ориентироваться на местности по карте, становится ясно, что определить свое местонахождение методом отождествления видимого ландшафта с контурами этих карт в большинстве случаев почти невозможно, если это местонахождение (координаты) неизвестно с точностью хотя бы до одного-двух километров.

Трудность отождествления местности с картой в немалой мере происходит от того, что карта — это все же схема, рисунок; самой лучшей карте не хватает документальности. Кроме того, для ориентирования на Луне все описанные выше карты просто мелки. Ведь в 1 см карты масштаба 1 : 1 000 000 укладывается 10 км. Обе эти причины привели к тому, что для обеспечения, скажем, экспедиций на кораблях «Аполлон» американцы стали использовать фотокарты, которые делаются из фотоснимков устранением искажений, возникающих в случае неперпендикулярности камеры при съемке, и приведением снимков к одному заданному масштабу.

Такие фотокарты делались в масштабах 1:100 000 или мельче для использования на окололунных орбитах пилотами основных блоков и 1 : 5 000 (в 1 см — 50 м) — для использования на лунной поверхности. Одна из этих карт с нанесенной на ней трассой прогулки по Луне экипажа «Аполлона-12» приведена на рис. 21 (стр. 59).

У нескольких кратеров на этом рисунке мы видим названия — Скамья, Ободок и т. п. Это условные названия, они даны этим маленьким кратерам только для удобства пользования фотокартой. Присвоить им наименования в соответствии с принятыми правилами вряд ли возможно хотя бы потому, что таких мелких кратеров на Луне многие миллионы.

А каковы вообще правила присвоения названий деталям поверхности Луны?

Стихийно сложившаяся в XVII в. и постепенно дополнявшаяся номенклатура (система наименований) лунных деталей в течение трехсот лет в общем устраивала всех.

В 1932 г. была проведена систематизация наименований и составлен их каталог, утвержденный V Генеральной ассамблеей Международного астрономического союза (МАС)

Несколько слов об обратной стороне Луны

как документ, обязательный для всех астрономов. С тех пор и до 1959 г. особая необходимость вносить в него какие-то дополнения или изменения не возникала.

В 1959 г. ситуация резко изменилась. Для обозрения и картографирования открылась невидимая раньше сторона Луны. Первым непосредственным картографическим результатом этого события стало появление в 1960 г. карты отсылатого «Луной-3» этого полушария Луны. На карте, включающей $\frac{2}{3}$ площади обратной стороны Луны, показано около 500 различных деталей. Часть из них не была определена по снимкам достоверно; некоторые были слишком мелки. Поэтому Комиссия по наименованию образований на обратной стороне Луны, созданная Академией наук СССР, предложила названия только для 18 объектов. Эти названия были утверждены на XI Генеральной ассамблее МАС.

В связи с близкой перспективой дальнейшего картографирования Луны ассамблея внесла некоторые поправки в правила присвоения наименований лунным формациям. Эти правила в современном виде вкратце можно сформулировать так: кратеры, отдельные пики и мысы называются именами астрономов или выдающихся ученых посмертно, горам даются названия земных гор с присоединением существительного «гора», к названиям темных поверхностей присоединяются существительные «море», «озеро», «болото» или «залив», трещины и долины получают названия ближайших кратеров с присоединением существительных «трещина», «долина», безымянные образования могут начинаться или своими координатами, или по прежней системе, когда, например, малый кратер получал имя близлежащего большого кратера с присоединением заглавной латинской буквы.

Для давно привившихся названий допускаются исключения из этих правил, например горы Лейбница. Исключениями являются также названия двенадцати кратеров, носящих имена ныне здравствующих советских и американских космонавтов.

После съемок обратной стороны Луны, выполненных «Зондом-3» и станциями «Лунар Орбитер», в течение 1965—1970 гг. был постепенно выработан список 513 объектов обратной стороны Луны, подлежащих наименованию. Этот список вступил в силу в 1970 г. после утверждения на XIV Ассамблее МАС.

Луна обращена к Земле всегда одной и той же стороной. Поэтому на протяжении всей истории развития науки наблюдалась и изучалась только эта, обращенная к Земле, сторона. Желание познать тайны другой половины Луны вынашивалось очень давно. Вызывалось это не только любознательностью, но и необходимостью определить строение лунной поверхности и Луны в целом.

Представьте себе, что вы наблюдаете Землю из мирового пространства, находясь над центром Тихого Океана, например над точкой с координатами 150° з. д. и 10° ю. ш. С большого расстояния мелкие острова в океане незаметны, и будет казаться, что вся наблюдаемая сторона Земли покрыта водой. Наблюдая эту картину, резонно было бы предположить, что океан покрывает всю поверхность Земли. Этот пример показывает, насколько рискованно было в «докосмическую эру» выдвигать какие-либо предположения об обратной стороне Луны.

Все же некоторые гипотезы были предложены. Так, английский астроном Уилкинс в книге «Напа Луна», выпущенной в 1957 г., привел гипотетическую карту обратной стороны Луны (рис. 44), не предполагая, конечно, что всего два года спустя можно будет увидеть, как мало его карта соответствует действительности. При создании этой карты Уилкинс исходил из того, что двенадцать светлых лучей, прослеживающихся на видимой стороне Луны при благоприятных условиях освещения и уходящих за край диска, по-видимому, сходятся к нескольким крупным кратерам, подобно тому, как две крупнейшие системы лучей видимой стороны Луны сходятся к кратерам Тихо и Кеплер. Девять точек пересечения лучей на обратной стороне Луны он нанес на карту, считая, что в этих точках должны быть большие кратеры. Штриховкой показана огромная впадина, которая предположительно должна была находиться на обратной стороне Луны — Океан Антиподов. Гипотезу о его существовании выдвинул в начале нашего века Ю. Франц, считавший, что многочисленные краевые впадины на видимой части лунной поверхности (такие, как моря Смита и Гумбольдта) — это своего рода «заливы» Океана Антиподов. Вокруг океана, по

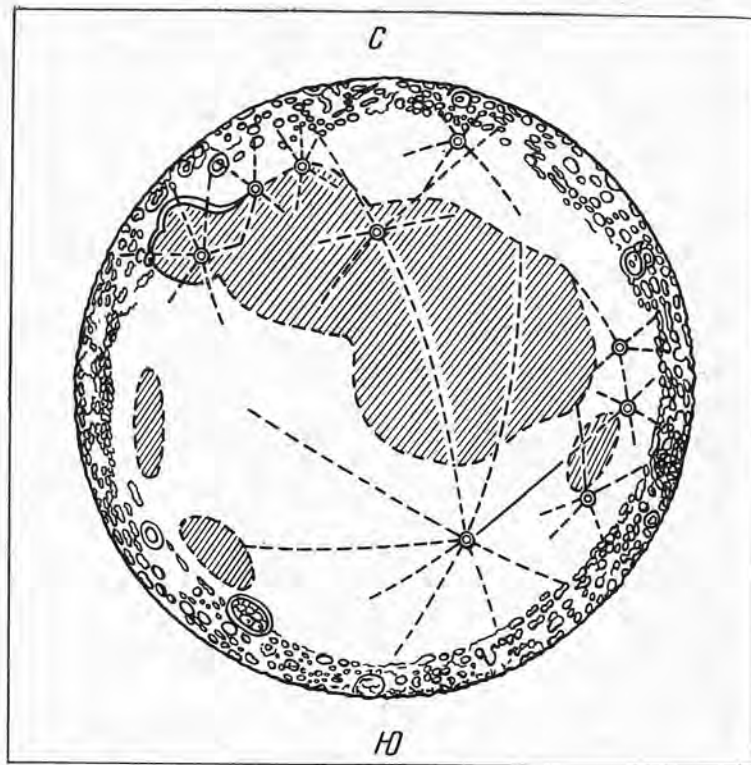


Рис. 44. Предполагаемый вид обратной стороны Луны, по Уилкинесу (1957)

Францу, находится обширная, светлая, богатая кратерами возвышенность, совершенно лишенная морей.

И вот 7 октября 1959 г. были сделаны, затем переданы на Землю и 27 октября впервые опубликованы фотоснимки обратной стороны Луны.

Первый из них был сделан в 6 час. 30 мин. московского времени 7 октября, когда на станции «Луна-3», находившейся в этот момент на высоте около 60 000 км над невидимой частью Луны, была включена система ориентации, развернувшая станцию фотообъективами к Луне и затем подавшая команду на включение фотоаппаратуры. За 40 минут работы фотоаппаратов была получена серия

снимков Луны в двух масштабах, с помощью объективов с фокусными расстояниями 200 и 500 мм. Изображение диска Луны от первого объектива умещалось в кадре полностью; при фотографировании через более длиннофокусный объектив в кадре умещалась лишь часть диска. В процессе съемки автоматически менялась экспозиция, чтобы затем из серии снимков можно было выбрать оптимальные по плотности изображения.

Съемка велась на 35-миллиметровую фотопленку, которая затем была автоматически проявлена, закреплена и высушена на борту станции. На Землю изображение передавалось по радиолинии путем построчной развертки изображения. Максимальное число строк, на которые раскладывался каждый кадр, определялось условиями передачи (расстоянием до Земли) и доходило до тысячи.

Нет нужды перечислять все проблемы, которые пришлось решить конструкторам, чтобы получить эти первые снимки обратной стороны Луны, начиная от сохранности фотоматериалов в условиях воздействия на них всевозможных космических излучений и до качественной полутоновой передачи изображения при любой плотности негатива.

Первые снимки Луны производят впечатление мало-контрастных и содержащих немного деталей. Это впечатление возникает потому, что при съемке Солнце находилось сзади станции. Лишь при таких условиях можно было сфотографировать сразу весь лунный диск. Для станции в момент съемки Луна была в полнолунии. Но в период полнолуния контрастность деталей лунной поверхности всегда резко снижена, так как отсутствуют тени, при других условиях освещения отбрасываемые возвышенными деталями рельефа на соседние, более низкие участки. После тщательного изучения снимков, переданных «Луной-3», на них было выделено несколько сотен деталей.

Станция «Луна-3» дала возможность осмотреть около 70% неизвестной ранее части Луны. Третью каждого ее снимка занимал участок, видимый с Земли на восточном краю лунного диска. Это было необходимо для привязки изображения к сетке селенографических меридианов и параллелей, а также для облегчения дешифрирования деталей невидимой стороны Луны (изображения деталей видимой стороны использовались при дешифрировании как образец).



Рис. 45. Один из снимков Луны, полученных с АМС «Зонд-3»

Шесть лет спустя для получения изображения оставшейся неизвестной части лунного диска была использована фотоаппаратура станции «Зонд-3», предназначенная для фотографирования планет. Съемка началась 20 июля 1965 г. в 4 час. 24 мин. московского времени, когда станция еще не достигла периселения, и завершилась в 5 час. 32 мин. за периселением. Расстояние станции от поверхности в начале съемки составляло 11 570 км, в периселении — 9220 км, в конце съемки — 9960 км. За 68 мин. съемки направление на станцию из центра Луны повернулось на 60° по долготе и 12° по широте. Поэтому снимки, сделанные в разные моменты этого 68-минутного интервала, охватывают разные участки лунной территории и сильно различаются по условиям освещенности. Если в начале сеанса Солнце освещало Луну почти сзади станции, то под конец поверхность была освещена сбоку. Солнце



Рис. 46. Снимок обратной стороны Луны, полученный со станции «Лунар Орбитер-3»

находилось в зените над известной частью лунной поверхности; таким образом, неизвестная часть фотографировалась при косом освещении, что обеспечило высокую контрастность изображения (рис. 45).

Фототелевизионный комплекс передал на Землю полученные кадры, развертывая каждый из них на 1100 строк при четкости 860 элементов вдоль строки (номинальная четкость обычного телевизионного изображения — 625 строк). После изучения 25 фотографий, переданных «Зондом-3», лишь небольшой участок около южного полюса Луны — 0,5% ее поверхности — остался неизвестным астрономам.

Позже детальные фотоснимки обратной стороны Луны были получены с аппаратов «Лунар Орбитер» (рис. 46) и с кораблей «Аполлон». Новые снимки привезли на Землю также аппараты серии «Зонд».

Что же можно сказать об обратной стороне Луны? Основная ее особенность — отсутствие морей. Почти вся ее поверхность — сплошной материк. Причины такого отличия от видимой стороны еще предстоит выяснить. Во всяком случае ни различная сила гравитационного воздействия Земли, ни «температурные встряски» видимой стороны Луны во время затмений Солнца, ни частичное экранирование Землей видимой стороны Луны от метеоритов не объясняют этого различия.

Обратная сторона Луны сплошь покрыта кратерами самых разных размеров. На ней насчитывается свыше 600 кратеров поперечниками от 5 до 20 км, около 200 кратеров от 20 до 50 км, около 40 кратеров от 50 до 100 км и около десяти свыше 100 км в диаметре. Несколько самых больших кратеров, например Циолковский (в центре рис. 46), являются промежуточными образованиями между кратерами и круглыми морями, только они немного светлее морей. Поэтому их предлагали называть талассоидами, т. е. «мореподобными» (от греческого *ταλασσα* — море). Их размеры — до 500 км в поперечнике.

На обратной стороне Луны не садился еще ни один космический аппарат; поэтому все исследования физических условий на ее поверхности еще впереди.

Давать селенографическое описание обратной стороны Луны мы считаем нецелесообразным. Мы не описывали и видимое полушарие. Имеются карты Луны, и каждый, вооружившись картой, может изучить лунную географию и совершить по обратной стороне Луны такое же воображаемое путешествие, какое мы проделали во вводной главе через три лунных моря.

Книга прочитана.

Читатель получил представление о том, по каким направлениям шло в последние годы изучение Луны и какие основные результаты достигнуты. Авторы старались, чтобы это представление оказалось достаточно полным.

«Как полным?» — может спросить читатель, пристально изучающий научно-популярную литературу. А где же лунные обелиски, где гипотеза об искусственном происхождении Луны, опубликованная в «Комсомольской правде», и другие сенсационные данные?

Действительно, все, что касается следов инопланетной сознательной деятельности на Луне, мы обошли. Помещать материалы такого рода, пожалуй, не более прилично, чем в книге о воздухоплавании отводить главу летающим тарелкам. Их тоже «наблюдали» в достаточном количестве. И тем не менее известный американский астрофизик Д. Мензел утверждал, что «первой настоящей летающей тарелкой был знаменитый спутник, запущенный советскими учеными 4 октября 1957 г.». Вот, например, нашумевшее «фото обелисков» (рис. 47), переданное со станции «Лунар Орбитер-2» в ноябре 1966 г. и опубликованное в 1969 г. журналом «Техника — молодежи» в сопровождении фантастических домыслов об искусственном происхождении предметов, отбрасывающих такие необычно узкие и длинные тени и представляющих собой, по-видимому, шпиль или обелиски. О масштабе снимка позволяют судить размеры белого крестика у правого края снимка — примерно 8 × 8 м. Сенсация кончается, когда Вы узнаете, что в момент съемки высота Солнца над горизонтом была всего 11°. В таких условиях длина тени в несколько раз превышает высоту отбрасывающего эту тень предмета. Таким образом, остроконечные обелиски испаряются, и на их месте остается несколько невысоких холмов или камней.

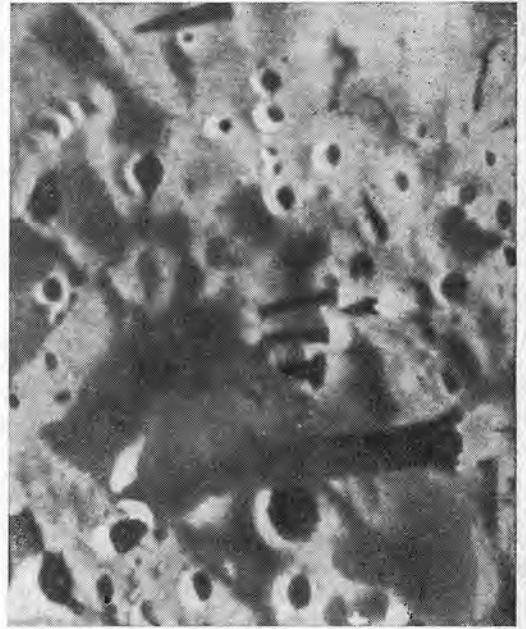


Рис. 47. «Лунные обелиски»

Вообще в том огромном потоке сообщений, цифровых данных, статей, научных докладов, который обрушивается на нас в последние годы, особенно после каждого нового космического эксперимента, не так уж мало необоснованных домыслов. Публикуются предварительные результаты, которые потом оказываются неточными или неверными, сырые гипотезы, часто принятые как факты. Определить в этом мутном потоке информации зерна от плевел иногда бывает трудно даже специалисту.

Впрочем, что такое «специалист по Луне»? Изучение Луны идет по нескольким разнообразным, даже разнородным направлениям. Охватить все невозможно одному человеку, и каждый астроном специализируется в какой-то определенной области. Например, в теории вращения и фигуры Луны, или селенографии и селенодезии, или геологии и грунтоведения Луны. Никто не занимается сразу всем комплексом этих вопросов. Поэтому читатель может понять, с каким трудом давались авторам отдельные главы этой книги. Авторы не ищут себе оправданий, но все же надеются на снисходительное отношение читателей к возможным недостаткам их книги.

ПРИЛОЖЕНИЕ

Таблица 1. Запуски космических аппаратов к Луне

Аппарат	Страна	Дата запуска (время гринвичское)	Основная задача запуска	Примечания
Луна-1	СССР	2 января 1959	Пролет вблизи Луны и выход на гелиоцентрическую орбиту	Первый искусственный спутник Солнца
Пионер-4	США	3 марта 1959	То же	
Луна-2	СССР	12 сентября 1959	Достижение поверхности Луны	Аппарат прилунился в районе Апеннинских гор
Луна-3	СССР	4 октября 1959	Облет Луны	Первая фотосъемка обратной стороны Луны и передача изображений на Землю
Рейнджер-3	США	26 января 1962	Достижение поверхности Луны	Аппарат пролетел вблизи Луны
Рейнджер-4	США	23 апреля 1962	То же	Аппарат упал на обратную сторону Луны
Рейнджер-5	США	18 октября 1962	»	Аппарат пролетел вблизи Луны
Луна-4	СССР	2 апреля 1963	»	То же
Рейнджер-6	США	30 января 1964	»	
Рейнджер-7	США	28 июля 1964	»	
Рейнджер-8	США	17 февраля 1965	»	
Рейнджер-9	США	21 марта 1965	»	
Луна-5	СССР	9 мая 1965	»	
Луна-6	СССР	8 июня 1965	»	
Зонд-3	СССР	18 июля 1965	Пролет вблизи Луны	Аппарат пролетел мимо Луны
				Повторное фотографирование обратной стороны Луны и передача изображений на Землю
Луна-7	СССР	4 октября 1965	Мягкая посадка на Луну	Посадка не удалась
Луна-8	СССР	3 декабря 1965	То же	То же
Луна-9	СССР	31 января 1966	»	Первая мягкая посадка на Луну и первая передача на Землю лунной фотопанорамы
Луна-10	СССР	31 марта 1966	Выход на орбиту спутника Луны	Первый искусственный спутник Луны
Сервейор-1	США	30 мая 1966	Мягкая посадка на Луну	В Океане Бурь, южнее кратера Кеплер
Лунар Орбитер-1	США	10 августа 1966	Выход на орбиту ИСЛ	
Луна-11	СССР	24 августа 1966	То же	
Сервейор-2	США	20 сентября 1966	Мягкая посадка на Луну	Посадка не удалась

Таблица 1 (продолжение)

Аппарат	Страна	Дата запуска (время гринвичское)	Основная задача запуска	Примечания
Луна-12	СССР	22 октября 1966	Выход на орбиту ИСЛ	В Океане Бурь, около кратера Селевк Между кратерами Лансберг и Фра Мауро Посадка не удалась В юго-зап. части Моря Спокойствия В Центральном Заливе Севернее кратера Тихо
Лунар Орбитер-2	США	6 ноября 1966	То же	
Луна-13	СССР	21 декабря 1966	Мягкая посадка на Луну	
Лунар Орбитер-3	США	4 февраля 1967	Выход на орбиту ИСЛ	
Сервейор-3	США	17 апреля 1967	Мягкая посадка на Луну	
Лунар Орбитер-4	США	4 мая 1967	Выход на орбиту ИСЛ	
Сервейор-4	США	14 июля 1967	Мягкая посадка на Луну	
Эксплорер-35	США	19 июля 1967	Выход на орбиту ИСЛ	
Лунар Орбитер-5	США	1 августа 1967	То же	
Сервейор-5	США	8 сентября 1967	Мягкая посадка на Луну	
Сервейор-6	США	6 ноября 1967	То же	
Сервейор-7	США	7 января 1968	»	
Луна-14	СССР	7 апреля 1968	Выход на орбиту ИСЛ	
Зонд-5	СССР	15 сентября 1968	Облет Луны и возвращение на Землю	
Зонд-6	СССР	10 ноября 1968	То же	Первый пилотируемый полет к Луне
Аполлон-8	США	21 декабря 1968	Выход на орбиту ИСЛ и возвращение на Землю	
Аполлон-10	США	18 мая 1969	То же	В Море Кризисов
Луна-15	СССР	13 июля 1969	Выход на орбиту ИСЛ и спуск с орбиты на поверхность	
Аполлон-11	США	16 июля 1969	Выход на орбиту ИСЛ, посадка на Луну, взлет и возвращение на Землю	Первая высадка космонавтов на Луну — 20 июля 1969, юго-западная часть Моря Спокойствия
Зонд-7	СССР	8 августа 1969	См. «Зонд-5»	
Аполлон-12	США	14 ноября 1969	См. «Аполлон-11»	Посадка на Луну в Океане Бурь 19 ноября 1969 Посадка не состоялась; выполнен облет Луны
Аполлон-13	США	11 апреля 1970	То же	
Луна-16	СССР	12 сентября 1970	Посадка на Луну, доставка возвращаемым аппаратом на Землю образца лунного грунта	Посадка в Море Изобилия 20 сентября 1970. Первый автоматический аппарат, вернувшийся с Луны на Землю и доставивший колонку лунного грунта

Таблица 1 (окончание)

Аппарат	Страна	Дата запуска (время гринвичское)	Основная задача запуска	Примечания
Зонд-8	СССР	20 октября 1970	См. «Зонд-5»	Посадка 17 ноября 1970 в сев.-зап. части Моря Дождей
Луна-17	СССР	10 ноября 1970	Мягкая посадка на Луну и выгрузка самоходного аппарата «Луноход-1»	
Аполлон-14	США	31 января 1971	См. «Аполлон-11»	Посадка на Луну около кратера Фра Мауро 5 февраля 1971 Посадка на Луну в Апеннинских горах, у горы Хэдди 31 июля 1971 Мягкая посадка не удалась
Аполлон-15	США	26 июля 1971	То же	
Луна-18	СССР	2 сентября 1971	»	Посадка на Луну между морями Изобилия и Кризисов 21 февраля 1972 и доставка на Землю колонки лунного грунта
Луна-19	СССР	28 сентября 1971	Выход на орбиту ИСЛ	
Луна-20	СССР	14 февраля 1972	См. «Луна-16»	
Аполлон-16	США	16 апреля 1972	То же	Посадка на Луну севернее кратера Декарт 21 апреля 1972 Посадка на Луну у кратера Литтлов 11 декабря 1972
Аполлон-17	США	7 декабря 1972	»	
Луна-21	СССР	8 января 1973	Мягкая посадка на Луну и выгрузка «Лунохода-2»	Посадка в кратере Лемонье 16 января 1973
Эксплорер-49	США	10 июня 1973	Выход на орбиту ИСЛ	

Таблица 2

Некоторые физические характеристики Луны

Характеристика	Абсолютное значение	Соотношение с соответствующей характеристикой Земли
Средний радиус, км	1738	0,273
Поверхность, млн. км ²	37,96	0,074
Объем, млрд. км ³	21,99	0,020
Угловой радиус на среднем расстоянии от Земли	15°32' 58"	—
Масса, г	7,35·10 ²²	0,0123
Среднее значение ускорения силы тяжести на поверхности, см/сек ²	162,3	0,165
Средняя плотность, г/см ³	3,34	0,61
Отношения масс:		
Земли и Луны	81,30	—
Солнца и Земли	332 958	—
Солнца и системы Земля — Луна	328 942	—

Таблица 3

Параметры, характеризующие движение Луны вокруг Земли

Параметр	Невозмущенное кеплеровское движение (средние величины)	Возмущенное движение (фактические величины)	
		минимум	максимум
Большая полуось орбиты, км	384 400	381 500	387 300
Эксцентриситет орбиты	0,0549	0,0432	0,0666
Наклон орбиты к эклиптике	5°08'43"	4°59'	5°17'
Средняя угловая скорость движения по орбите, радиан/сек	2,6616995·10 ⁻⁶	—	—
То же, за сутки	13°,1764	—	—
Среднее расстояние от центра Земли до барицентра (центра массы системы Земля — Луна), км	4 671	—	—
Расстояние от Земли до Луны, км:			
в перигее	363 300	356 400	370 500
в апогее	405 500	404 000	406 730
Удаление Луны от Земли, км	—	356 400	406 730

В список включены только книги, вышедшие в последние годы и не ставшие библиографической редкостью. В основном эти книги не перегружены математикой и могут читаться без серьезной специальной подготовки.

Атлас обратной стороны Луны. Часть I. «Наука», 1960; часть II. «Наука», 1967.

Гаврилов И. В. Фигура и размеры Луны по астрономическим наблюдениям. «Наукова думка», Киев, 1969.

Дэйл П. и Паркин К. Магнетизм Луны.— «Успехи физических наук», т. 108, вып. 1, 1972, сентябрь.

Жарков В. Н. и др. Введение в физику Луны. «Наука», 1969.

Каула У. Введение в физику планет земной группы. Пер. с англ. «Мир», 1971.

Куликов К. А. и Гуревич В. Б. Основы лунной астрометрии. «Наука», 1972.

Мэйсон Б. и Мелсон У. Лунные породы. Пер. с англ. «Мир», 1973.

Паннекук А. История астрономии. Пер. с англ. «Наука», 1966.

Первые панорамы лунной поверхности. «Наука», 1966.

Передвижная лаборатория на Луне— «Луноход-1». «Наука», 1971.

Фигура Луны и проблемы лунной топографии. Сб., пер. с англ. и нем. «Наука», 1968.

Физика и астрономия Луны. Сб. под ред. З. Копала. Пер. с англ. «Мир», 1973.

Черкасов И. И. и Шварев В. В. Начала грунтоведения Луны. «Наука», 1971.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Путешествие за три моря	3
Часть I. Как изучалась Луна	17
Глава 1. Исследования Луны до 1959 года	17
Глава 2. Советские автоматические лунные станции	25
Глава 3. Автоматические лунные станции США	40
Глава 4. Программа «Аполлон»	49
Глава 5. Новый этап в советской космической программе исследований Луны	62
Часть II. Облик Луны	72
Глава 6. Луна как небесное тело	72
Глава 7. Возраст Луны	79
Глава 8. Недра и поверхностный слой Луны	87
Глава 9. Лунные поля	101
Глава 10. Небо Луны	113
Глава 11. Картографирование Луны и ее форма	117
Глава 12. Несколько слов об обратной стороне Луны	139
Заключение	145
Приложение	147
Литература	151

Константин Алексеевич Куликов,
Виталий Борисович Гуревич

Новый облик старой Луны

Утверждено к печати редколлегией
серии научно-популярных изданий Академии наук СССР

Редактор издательства В. К. Низковский. Художник Г. И. Нейштат
Художественный редактор В. Н. Тихунов
Технические редакторы Л. И. Куприянова, Н. Н. Плохова

Сдано в набор 24/XII 1973 г. Подписано к печати 16/IV 1974 г.
Формат 84×108^{1/32}. Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 7,98. Уч.-изд. л. 8,1. Тираж 63 000. Т-08112. Тип. зак. 3309.
Цена 25 коп.

Издательство «Наука». 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21
2-я тип. издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10