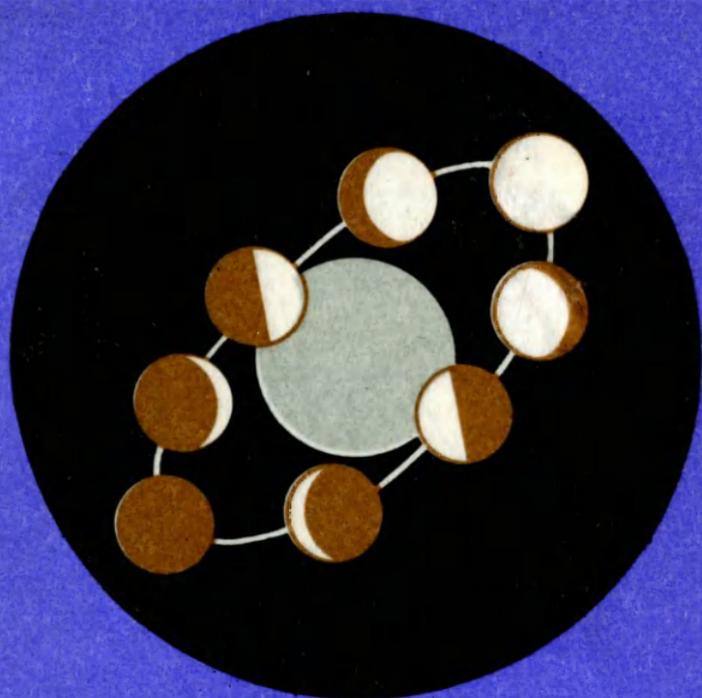


БИБЛИОТЕКА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ



В. В. ШЕВЧЕНКО

ЛУНА  
И ЕЕ  
НАБЛЮДЕНИЕ

БИБЛИОТЕКА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ



В. В. ШЕВЧЕНКО

ЛУНА  
И ЕЕ  
НАБЛЮДЕНИЕ



МОСКВА «НАУКА»  
ГЛАВНАЯ РЕДАКЦИЯ  
ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1983

22.654.1  
Ш'37  
УДК 523.3

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ  
Председатель Г. С. ХРОМОВ

**Шевченко В. В.**

**Ш 37** Луна и ее наблюдение.— М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1983.— 192 с. ил.— Библиотека любителя астрономии.

Книга посвящена описанию природы естественного спутника Земли и возможностям любительских исследований Луны. В первой части содержатся современные данные о Луне как небесном теле, рассказывается о строении лунной поверхности и господствующих на ней условиях. Приводятся результаты исследований Луны с помощью наземных телескопов и космических аппаратов. Во второй части изложены методы любительских исследований Луны по результатам собственных визуальных и фотографических наблюдений, а также с помощью лунных карт и атласов.

Для любителей астрономии, школьников старших классов, членов астрономических кружков, учителей.

**Ш**  $\frac{1705050000-153}{053(02)-83}$  170-83

**ББК 22.654.1**  
526

**Ш**  $\frac{1705050000-153}{053(02)-83}$  170-83

© Издательство «Наука»  
Главная редакция  
физико-математической  
литературы, 1983

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие . . . . .	5
Введение. Из истории изучения Луны . . . . .	7

### ЧАСТЬ ПЕРВАЯ. ПРИРОДА ЛУНЫ

#### ГЛАВА I

#### ЛУНА — ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

1. Орбитальное движение и вращение Луны . . . . .	18
2. Фазы Луны и видимое движение по небу . . . . .	24
3. Затмения Луны . . . . .	27
4. Размеры, фигура, масса и плотность Луны . . . . .	31
5. Химический состав и внутреннее строение Луны . . . . .	34
6. Атмосфера Луны и окололунное пространство . . . . .	39
7. Происхождение и история эволюции Луны . . . . .	47

#### ГЛАВА II

#### СЕЛЕНОГРАФИЯ

1. Общее строение лунной поверхности . . . . .	51
2. Формы лунного рельефа . . . . .	58
3. Селенографические координаты . . . . .	66
4. Лунная картография . . . . .	70
5. Атласы и карты Луны . . . . .	75

#### ГЛАВА III

#### АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

1. Отраженное и собственное излучение Луны . . . . .	78
2. Интегральная фотометрия Луны . . . . .	81
3. Альbedo и фазовые изменения яркости отдельных участков поверхности . . . . .	83
4. Изменение отражательной способности Луны по спектру. Колориметрия . . . . .	91
5. Поляризация отраженного лунной поверхностью света . . . . .	95
6. Температура лунной поверхности и радиофизические исследо- вания Луны . . . . .	97
7. Дистанционная оценка природных особенностей Луны . . . . .	100

# ЧАСТЬ ВТОРАЯ. ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

## ГЛАВА IV

### ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ

1. Техника визуальных наблюдений . . . . .	110
2. Общий обзор видимого полушария . . . . .	113
3. Визуальная фотометрия Луны . . . . .	120
4. Наблюдения кратковременных явлений на Луне . . . . .	122
5. Наблюдения затмений . . . . .	126

## ГЛАВА V

### ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУННОГО ШАРА ПО СНИМКАМ, АТЛАСАМ И КАРТАМ

1. Техника работы с картографическими материалами и снимками Луны . . . . .	128
2. Определение селенографических координат объектов на снимках Луны . . . . .	130
3. Определение высоты деталей рельефа по измерению длины теней . . . . .	132
4. Статистика лунных кратеров . . . . .	133
5. Оценка мощности лавового покрытия в кратерах и морях . . . . .	138
6. Изучение лучевых систем . . . . .	142

## ГЛАВА VI

### ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ

1. Техника фотографирования Луны . . . . .	147
2. Построение фотокарт Луны . . . . .	149
3. Фотографическая фотометрия Луны . . . . .	152
4. Фотометрические карты Луны . . . . .	155
5. Фотографирование Луны со светофильтрами . . . . .	163
Заключение . . . . .	168
Приложения . . . . .	169
Литература . . . . .	189

## ПРЕДИСЛОВИЕ

Предыдущее издание книги для любителей астрономии о природе Луны и ее наблюдении, подготовленное выдающимся советским планетоведом проф. Н. Н. Сытинской, вышло в свет более четверти века назад. Многие изменилось с тех пор в наших представлениях об естественном спутнике Земли. Начало космической эры расширило технические возможности исследователей, позволило получить много новых сведений о строении лунной поверхности, лунных полях, химическом составе вещества, внутреннем строении. Появились новые методы, которые можно использовать в практике любительских исследований Луны.

В книге нашли свое отражение новые данные о Луне и новые возможности исследований. Вместе с тем часть исследований вводного характера, с которых начинали свои наблюдения Луны астрономы-любители прошлых лет, представляет интерес для начинающих наблюдателей и теперь. При подготовке книги учтен богатый опыт наблюдателя и практические советы Н. Н. Сытинской, в ряде случаев не утратившие своего значения и сегодня. Их описание включено в книгу наряду с задачами более сложного характера, обусловленными современным уровнем лунных исследований.

Несложные задачи самостоятельных наблюдений Луны могут решаться с помощью сравнительно простых средств, которые доступны практически всем астрономам-любителям. Более сложные исследования потребуют для своего выполнения технического и материального оснащения, которым, как правило, располагают астрономические кружки и народные обсерватории.

Построение первой части книги традиционно. Здесь излагаются общие сведения о Луне, а также более подробно рассмотрены такие направления исследований, как селенография («селена» — по-гречески «луна») и свойства лунной поверхности, изучаемые методами планетной астрофизики. Именно эти знания о Луне прежде всего необходимы любителю астрономии для самостоятельной практической работы в данной области.

Материал второй части книги изложен в последовательности, адресованной начинающему наблюдателю. Автор полагал, что первое знакомство с видом лунной поверхности должно состояться у телескопа в процессе проведения наиболее простых по технике визуальных наблюдений. При выполнении любой другой работы, используя любой другой материал, начинающий любитель астрономии должен все это соотносить со своими впечатлениями от вида непосредственно наблюдаемой лунной поверхности, знать, как лунные ландшафты выглядят «на самом деле». На этой основе более прочно будет осваиваться и весь последующий материал.

После первого знакомства с «живой» Луной, дающего общее представление о природе ее поверхности, работа с картами, атласами и снимками обогащает наблюдателя знанием деталей и мелких подробностей рельефа, представлением об обратной стороне Луны. Убедившись наглядно в возможностях фотографических наблюдений Луны, начинающий исследователь более эффективно и целенаправленно освоит материал заключительной главы второй части.

Более опытные любители астрономии смогут самостоятельно выбрать интересные для них задачи.

Автор благодарит доктора физ.-мат. наук А. А. Гурштейна за полезные замечания, сделанные им после прочтения книги в рукописи.

Москва, январь 1982 г.

*В. В. Шевченко*

## ИЗ ИСТОРИИ ИЗУЧЕНИЯ ЛУНЫ

Одним из важнейших мотивов, побудивших людей изучать небесные тела, была необходимость измерения времени. Древнейшие письменные источники многих народов свидетельствуют о том, что для определения времени служила Луна. А в одном из таких документов прямо сказано: «Луна была создана для счета дней».

Интервалы времени, отделяющие восходы и заходы Солнца, дали понятие дня и ночи, а также естественную единицу времени — сутки. Другая, не менее очевидная единица времени связана с результатами наблюдения вида Луны — это месяц. На протяжении месяца Луна проходит полный цикл смены фаз. Из месяцев строились годы. В системе счета времени древнейших народов месяц играл более важную роль, чем год. Смена лунных фаз более точно определяла начало и конец этого короткого периода, тогда как длинный год не имел четкого обозначения начала и конца. Историки астрономии полагают, что только широкое развитие земледелия, связанного с цикличностью сезонных изменений, заставило перейти к системе счета времени, основанной на годовом периоде. Вероятно, первыми подобный переход осуществили народы Древнего Египта, жизнь которых была тесно связана с сезонными разливами и обмелениями Нила. Однако уже мыслители античности стали задумываться и над природой ночного светила.

Первые высказывания о том, что Луна светит отраженным светом Солнца, были найдены в сочинениях древнегреческого философа, математика и астронома Анаксагора (IV в. до н. э.). Ему же принадлежит объяснение природы лунных затмений тем, что Луна попадает в тень Земли или какого-либо другого тела.

В единственном сохранившемся труде Аристарха Самосского (III в. до н. э.), который носит название

«О размерах и расстояниях Солнца и Луны», также утверждалось, что «Луна получает свой свет от Солнца». С помощью метода, основанного на наблюдении затмений, Аристарх нашел, что диаметр Луны должен составлять около одной трети земного диаметра, что достаточно близко к истинному соотношению размеров нашей планеты и ее спутника.

Один из величайших астрономов древнего мира Гиппарх (II в. до н. э.) построил довольно точную для того времени теорию движения Луны, с помощью которой можно было предвычислять моменты солнечных и лунных затмений.

Поскольку даже невооруженным глазом на лунном диске можно различить глобальные неоднородности в виде темных пятен, ученые древности пытались строить различные догадки относительно строения поверхности Луны. Первая из известных нам научных работ о природе лунной поверхности была написана Плутархом (I в. до н. э.) под названием «Лик лунного круга». В этом труде Плутарх отмечал, что Луна светится отраженным солнечным светом, а наблюдаемые пятна принадлежат самой лунной поверхности и не являются зеркальным отражением морей и материков Земли в гладкой поверхности лунного шара, как полагали некоторые астрономы в прошлом.

Не обнаружено никаких исторических свидетельств, что астрономы древности предпринимали какие-либо попытки зарисовать видимые невооруженным глазом детали диска Луны.

Первые упоминания о зарисовках Луны встречаются в записных книжках великого живописца, скульптора, инженера и ученого Леонардо да Винчи (1452—1519). Сами рисунки не сохранились, но из описаний следует, что Леонардо да Винчи первым дал правильное объяснение природе пепельного света Луны — тусклого сияния на темной части видимого диска, когда Луна находится в фазе узкого серпа. Он показал, что вблизи фазы новолуния освещенное Солнцем полушарие Земли обращено к Луне, благодаря чему темная часть лунного шара освещается отраженным светом Земли, подобно тому, как ночная сторона нашей планеты освещается лунным сиянием. Это объяснение пепельного света Луны в то время имело немаловажное значение, поскольку,

в противоположность богословско-теологическим учениям, утверждало единство природы в «земном» и «небесном».

Самая ранняя из дошедших до нас лунных карт была составлена в Англии Вильямом Гильбертом в конце XVI в. по наблюдениям невооруженным глазом. На этой карте мы обнаруживаем первое документально зафиксированное деление лунной поверхности на два вида ландшафтов: «морья» и «материки». Однако, насколько можно судить по весьма обобщенным контурам карты Гильберта, он полагал, что водными бассейнами — «морями» — являются светлые области, а сушей — «материками» — темные области Луны.

Лунная карта Гильберта явилась как бы предвестником новой эры изучения Луны — эры телескопических наблюдений. Спустя менее чем два десятилетия после завершения Гильбертом этой работы появились первые зарисовки Луны, сделанные по наблюдениям с телескопом.

Историки астрономии полагают, что идея использования зрительных труб для наблюдения небесных объектов почти одновременно осенила английского математика Томаса Харриота, немецкого астронома Симона Мариа и великого итальянского ученого Галилео Галилея. Возможно, Галилей приступил к наблюдениям с телескопом несколько позже, чем Харриот и Марий, но его настойчивость и последовательность в работе, широта научных обобщений и глубоко верные оценки полученных результатов привели к тому, что именно Галилей почитается первооткрывателем эры телескопических наблюдений.

Результаты своих первых наблюдений Галилей обнародовал в начале 1610 г. в книге, названной им «Звездный вестник». В книге содержалось много сведений, которые можно было назвать подлинными открытиями. На Луне Галилей обнаружил рельеф и сделал несколько зарисовок поверхности видимого полушария при различных фазах. Галилей предложил способ определения высоты лунных гор по появлению освещенных вершин на ночной стороне Луны вблизи терминатора. Он обратил внимание на такую особенность лунного диска, как отсутствие потемнения к краю, и сделал вывод относительно сильно изрытой поверхности Луны.

В «Звездном вестнике» Галилей писал: «Из наблюдений, неоднократно повторенных, мы пришли к тому заключению, что поверхность Луны не гладкая и не в совершенстве сферическая, как полагал в отношении ее великий легион философов, а, напротив того, неровная, шероховатая, испещренная углублениями и возвышенностями наподобие поверхности Земли».

Наблюдения Галилея и его трактовка результатов снова и снова утверждали единство Земли и неба, общую природу планетных тел.

Работы Галилея, несомненно, утвердили реалистическую точку зрения на природу земного спутника. Однако приоритет в составлении первой карты Луны по телескопическим наблюдениям принадлежит, по-видимому, Томасу Харриоту. Свои наблюдения Луны в телескоп Томас Харриот начал летом 1609 г. Некоторые зарисовки Луны, сделанные им, помечены сентябрем 1610 г. Вероятно, несколько позже было составлено изображение всего видимого диска Луны с контурами морей и отдельными деталями (около пятидесяти), которое можно назвать первой лунной картой, построенной по наблюдениям в телескоп.

В последующие десятилетия по мере совершенствования телескопов появилось несколько лунных карт различной подробности. К концу XVII в. лунные исследования стали развиваться в ином направлении. Среди астрономических наук на первое место вышла небесная механика. И в изучении Луны наиболее заметные работы, относящиеся к этому периоду, принадлежат Ж. Кассини, А. Клеро, Л. Эйлеру, Т. Майеру и другим, разработавшим начала теории движения и вращения Луны.

Начиная с конца XVIII в. и в течение всего XIX в. новое развитие получила лунная картография, лунная морфология и появились первые работы по исследованию Луны методами планетной астрофизики. В середине прошлого века были заложены такие направления исследований Луны, как фотометрия, поляризация, радиометрия (измерение температуры поверхности). Наиболее активно астрофизические исследования лунной поверхности стали развиваться в первой половине нашего столетия. Основные результаты в этой области принадлежат советским

ученым, основавшим целые школы исследователей: Н. П. Барабашову, А. В. Маркову, Н. Н. Сытинской, В. Г. Фесенкову, В. В. Шаронову.

Значительный цикл работ в области радиоастрономических исследований Луны был проведен под руководством В. С. Троицкого.

Дистанционные астрофизические методы позволили построить предварительную модель природы и строения лунного поверхностного слоя, которая в основных своих чертах подтвердилась впоследствии, при исследовании Луны прямыми методами, с помощью космической техники.

В сороковых годах нашего века проблемы строения и развития лунного рельефа все чаще стали привлекать внимание геологов. Широкую известность получили работы американского геолога Дж. Сперра в области применения методов геологии в селенологии. Примерно в то же время в свет выходит книга А. В. Хабакова, в которой были заложены основы геолого-морфологического анализа поверхности Луны. Большой вклад в изучение Луны методами геологии в последующие годы принадлежит М. С. Маркову и его сотрудникам.

Работы по созданию высокоточной системы селенографических положений объектов лунной поверхности и изучение фигуры Луны были начаты в конце прошлого века Ю. Францем. В нашей стране фундаментальные исследования в этом направлении выполнены А. А. Яковкиным, А. А. Нефедьевым, Ш. Т. Хабибуллиным, И. В. Гавриловым.

2 января 1959 г. началась качественно новая эпоха в изучении естественного спутника Земли. Телескопы уступили свою главную роль космическим аппаратам. В этот день к Луне была запущена первая ракета, успешно преодолевшая барьер второй космической скорости, в головной части которой находилась автоматическая станция «Луна-1». Осуществили запуск советские ученые. «Луна-1» прошла на расстоянии всего лишь 6000 км над поверхностью Луны. Вторым аппаратом этого типа достиг поверхности Луны.

Одной из основных задач начального этапа исследований Луны космическими средствами стало изучение обратной стороны, невидимой с Земли, с тем, чтобы получить единое представление о строении

поверхности всего лунного шара. Первым шагом к решению данной задачи явился запуск автоматической станции «Луна-3». На борту станции находилась фототелевизионная система для получения снимков обратной стороны Луны. Аппаратура была включена в момент наибольшего сближения станции с Луной. Время запуска и траектория полета были рассчитаны таким образом, что в момент съемки автоматическая станция находилась приблизительно над центром освещенного полушария Луны. Поэтому съемочная аппаратура могла зафиксировать полный диск Луны, значительная часть которого относилась к территории обратного полушария. Небольшой сектор западной части диска содержал знакомые детали видимого с Земли полушария, необходимые для последующей селенографической привязки вновь сфотографированной территории.

Первые фотографии обратного полушария, полученные в условиях, соответствующих фазе полнолуния, потребовали внимательного изучения для выявления отдельных подробностей. Обработка и анализ велись тремя научными коллективами астрономов под руководством Н. П. Барабашова, А. А. Михайлова и Ю. Н. Липского. Результатом этой коллективной работы стал первый том «Атласа обратной стороны Луны» (см. литературу).

Через несколько лет глобальный обзор лунной поверхности был завершен в результате полета автоматической межпланетной станции «Зонд-3» (1965 г.) и фотографирования бортовой аппаратурой станции территории невидимого полушария, оставшейся неизвестной после первой съемки.

Для исследования Луны завершение этого этапа имело фундаментальное значение. Были выявлены общие черты строения лунного шара — асимметричное расположение морей и общий материковый характер лунной поверхности.

По материалам наземных и космических съемок под руководством Ю. Н. Липского были созданы первая в мире «Полная карта Луны» и лунный глобус, отображавшие около 95% всей поверхности лунного шара.

После того как общие особенности строения всей лунной поверхности стали известны, на очереди ста-

ла задача детализации наших представлений о природе рельефа и поверхностного слоя Луны.

Некоторые сведения в этом направлении были получены с помощью американских автоматических аппаратов типа «Рейнджер», которые в процессе падения на лунную поверхность проводили съемку. На самых последних снимках, которые аппараты успевали передавать перед разрушением во время удара о поверхность Луны, можно было различить детали уже несколько меньше метра. Однако принципиально важная задача изучения структуры поверхности еще ждала своего решения.

После ряда пробных запусков космических аппаратов советские ученые осуществили сложный эксперимент — мягкую посадку автоматической станции на лунную поверхность. В начале февраля 1966 г. станция «Луна-9» впервые мягко опустилась в западной части Океана Бурь. Этот эксперимент обеспечил возможность увидеть с помощью телевизионной аппаратуры станции окружающий лунный ландшафт, в том числе детали грунта размером в несколько миллиметров.

Впоследствии советские и американские посадочные аппараты позволили расширить эти сведения.

Вслед за мягкой посадкой советские ученые решили еще одну принципиальную задачу — создание искусственного спутника Луны. Появилась возможность экспериментальных работ в области физики лунного шара.

Советским ученым принадлежали многие крупные работы в области происхождения, истории и внутреннего строения Луны. Это направление было заложено трудами О. Ю. Шмидта, а затем успешно развивалось в работах Б. Ю. Левина, В. С. Сафронова, В. Н. Жаркова, Е. Л. Рускол и других. Широко известны также работы зарубежных ученых — Г. Джеффриса, Дж. Койпера, Г. Юри, Д. Мензела, Зд. Копала.

Получение новых экспериментальных данных дало новый толчок теоретическим исследованиям. Модель гравитационного поля Луны по траекторным измерениям первого спутника «Луна-10» построил Э. Л. Аким. Позднее уточнение строения гравитационного поля Луны по траекторным измерениям спутников «Лунар орбитер» привело к обнаружению

гравитационных аномалий — масконов. В последние годы широкую известность получили работы по проблемам лунной гравиметрии М. У. Сагитова.

В стратегии же лунных исследований тем временем наметились новые задачи. Нужно было соединить такие этапы, как облет Луны и мягкую посадку на ее поверхность, с последующим возвращением на Землю. Это могло обеспечить проведение высокоточной съемки лунной поверхности с возвращением оригинальных негативов на Землю, а также доставку в земные лаборатории образцов лунного вещества для подробного исследования.

При решении названной задачи технические пути реализации космических программ оказались существенно различными.

В нашей стране были разработаны конструкции автоматических станций серии «Зонд» и серии «Луна», с помощью которых и были осуществлены названные эксперименты. На борту станций «Зонд», впервые возвратившихся на Землю со второй космической скоростью, стояла фотосъемочная аппаратура для получения снимков, обладающих высокими измерительными возможностями. По этим материалам были построены крупномасштабные карты и проведены уникальные фотометрические измерения.

Автоматическая станция «Луна-16» была первым космическим роботом, выполнившим сложную программу доставки на Землю пробы лунных пород. Последующие станции этого типа доставили образцы из разных по природе и селенографическому положению районов Луны. Детальные исследования химического состава лунного вещества и определение абсолютного возраста пород морского и материкового типа пролили свет на одну из фундаментальных проблем изучения Луны. Вместе с тем было поставлено много новых вопросов, обнаружены явления и факты, не поддающиеся пока объяснению. Фундаментальные работы в области химии лунных пород принадлежат выдающемуся советскому ученому А. П. Виноградову и его последователям: В. Л. Барсукову, Ю. А. Суркову, К. П. Флоренскому.

Специалисты по космической технике в США в описываемый период сосредоточили все свое внимание на создании пилотируемой системы для полета

на Луну по программе «Аполлон» Усилия в этом направлении увенчались успехом летом 1969 г. знаменательным событием — посадкой на Луну пилотируемого аппарата «Аполлон-11». Первым человеком, ступившем на лунную поверхность, стал астронавт Нейл Армстронг.

Программа «Аполлон» включала обширный комплекс исследований на Луне. Первоочередной задачей был сбор образцов лунных пород, а также фотографическая съемка на поверхности и с орбиты. Кроме того, автоматический измерительный комплекс, оставляемый астронавтами в месте посадки, позволял в течение длительного времени получать некоторые данные по физике лунной среды и лунного шара.

Особо следует отметить результаты сейсмических измерений. Благодаря регистрации прохождения сейсмических волн в литосфере Луны были получены сведения о внутреннем строении лунного шара. Полеты космических кораблей «Аполлон» завершились в декабре 1972 г. На заключительных этапах выполнения программы участники экспедиции оставались на лунной поверхности до трех суток и совершали протяженные поездки в районе места посадки.

Однако рекорды длительности работы и протяженности преодоленного пути на лунной поверхности принадлежат автоматам — советским аппаратам «Луноход-1» и «Луноход-2».

Первая передвижная лаборатория, предназначенная для работы в лунных условиях, «Луноход-1» была доставлена на Луну в ноябре 1970 г. На борту лунохода находился комплекс приборов, обеспечивавший изучение лунного вещества, лунного рельефа и окружающей среды вдоль трассы маршрута. Управление луноходом осуществлялось непосредственно с Земли.

«Луноход-1» проработал более десяти месяцев, пройдя по лунной поверхности сложным маршрутом протяженностью 10,5 км.

В январе 1973 г. на Луну был доставлен аппарат «Луноход-2». За время своего четырехмесячного активного существования аппарат прошел по лунной поверхности расстояние в 37 км. Бортовая телевизионная аппаратура передала на Землю 86 панорам

окружающей местности и более 80 000 отдельных снимков. Были получены многочисленные данные о механических свойствах грунта и его химическом составе в переходной зоне от моря к материку. Особым интересом отмечены магнитометрические измерения, впервые выполненные непосредственно на поверхности Луны на протяжении такого длительного путешествия.

Итак, естественный спутник Земли сегодня во многом уже не представляется загадочным. Усилиями многих научных коллективов проведены комплексные исследования. Ракетно-космическая техника обеспечила для этого широчайшие возможности. Велика в этом заслуга выдающихся конструкторов космической техники, таких, как С. П. Королев и Г. Н. Бабакин, под руководством которых создавались лунные автоматы.

Но все ли задачи решены? Нет. Лунный мир по-прежнему неисчерпаем. Перефразируя известный парадокс, мы можем сказать, что узнали достаточно много для того, чтобы понять, как мало мы еще знаем о Луне.

Самый интересный период лунной истории — ранние стадии развития Луны и ее поверхности — остается непонятым. Не изучены причины появления некоторых деталей рельефа и высокой отражательной способности отдельных объектов. Загадки гравитационных и магнитных аномалий не разрешены.

Этот перечень можно было бы и продолжить. А будущие исследования что-то вычеркнут из него, а что-то и добавят.

Есть еще одна область открытий, ценность которых непреходяща.

Миллионы людей, вступая впервые в мир знаний или соприкасаясь с чем-то новым, каждодневно открывают нечто неизвестное для себя. А одна из почетных задач большой науки состоит в том, чтобы сделать свои сокровища достоянием всех людей, приобщить каждого к радости открытия.

Ученый может потратить большую часть своей жизни на то, чтобы разгадать очередную загадку природы. Но когда этот путь уже проделан, многие могут хотя бы мысленно повторить его, проследить

побудительные причины и следствия, ощутить удовлетворение сделанным.

Если даже вам хорошо известно, что еще почти четыреста лет назад на Луне были обнаружены кратеры, попробуйте убедиться в их существовании сами.

Посмотрите в простой бинокль на извилистую линию терминатора или в небольшой телескоп, как падает тень от вала кратера, и вам наверняка станет понятным необыкновенное чувство открытия, овладевшее в подобной ситуации Галилео Галилеем.

## ПРИРОДА ЛУНЫ

### ГЛАВА I

#### ЛУНА — ЕСТЕСТВЕННЫЙ СПУТНИК ЗЕМЛИ

##### 1. ОРБИТАЛЬНОЕ ДВИЖЕНИЕ И ВРАЩЕНИЕ ЛУНЫ

Луна, естественный спутник Земли, в процессе своего движения в пространстве испытывает влияние главным образом двух тел — Земли и Солнца. При этом солнечное притяжение в два раза сильнее земного. Поэтому оба тела (Земля и Луна) вращаются

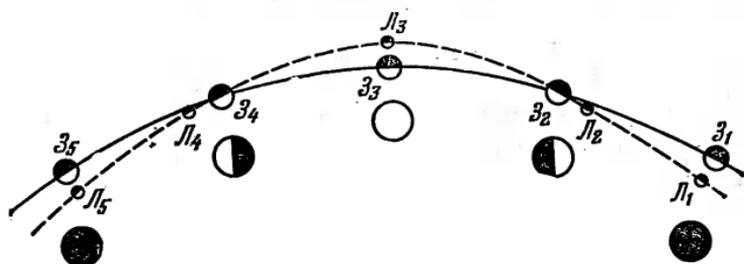


Рис. 1.

вокруг Солнца, находясь поблизости друг от друга. При двукратном преобладании солнечного притяжения над земным кривая движения Луны должна быть вогнутой по отношению к Солнцу во всех своих точках. Влияние близкой Земли, существенно превышающей по массе Луну, приводит к тому, что величина кривизны лунной гелиоцентрической орбиты периодически меняется.

Схема перемещения Земли и Луны в пространстве и изменение их взаимного положения по отношению к Солнцу показаны на рис. 1. Рассмотрим движение Земли и ее естественного спутника, условно начиная с положения, когда Луна находится между Землей и Солнцем. В момент, когда Земля нахо-

дится в точке  $Z_1$  своей орбиты, наблюдатель с поверхности нашей планеты видит темное, неосвещенное полушарие Луны, как это показано на рисунке рядом с положением земного спутника  $L_1$ . Передвигаясь по участку  $L_1L_2$  своего пути вокруг Солнца, Луна постепенно меняет положение относительно Земли. Когда наша планета придет в точку  $Z_2$ , Луна окажется в положении  $L_2$ . В этот момент земной наблюдатель увидит освещенной ровно половину диска Луны. Когда Земля и Луна окажутся в положениях  $Z_3$  и  $L_3$ , мы увидим полностью освещенный лунный диск. Еще через некоторое время Земля и Луна придут соответственно в точки  $Z_4$  и  $L_4$ . Здесь к Земле обращена половина освещенного полушария Луны, как и в положении  $Z_2, L_2$ , но только при другом расположении темной и светлой половины видимого диска. Наконец, достигнув в процессе своего движения точек  $Z_5$  и  $L_5$ , Земля и Луна займут положение, совпадающее с начальным в нашей схеме. Таким образом, завершится полный цикл изменения взаимных положений Земли и Луны относительно Солнца (синодический месяц). Продолжительность цикла составляет 29,5 суток. В течение года, когда Луна вместе с Землей завершит полный оборот вокруг Солнца, описанный цикл повторится более двенадцати раз.

При этом следует учесть, что Луна движется не в плоскости орбиты Земли. Поэтому в пространстве она оказывается «ниже» или «выше» плоскости земной орбиты. Среднее расстояние, на которое Луна удалена от Земли составляет 384 400 км. В настоящее время эта величина определена с очень высокой точностью благодаря использованию методов радиолокации и световой (лазерной) локации.

На рис. 1 показана упрощенная схема гелиоцентрического движения Земли и Луны. На самом деле их движение имеет более сложный характер.

Поскольку величина лунной массы не бесконечно мала по сравнению с массой Земли, оба тела совершают перемещения около общего центра масс — барицентра. Таким образом, по эллиптической орбите вокруг Солнца движется точка, в которой находится барицентр, а центры Земли и Луны удалены от нее на некоторые расстояния. Соотношение масс обоих небесных тел таково, что барицентр находится

внутри земного шара, на расстоянии 4670 км от центра масс Земли.

Полное же описание движения Луны потребует также учета влияния больших планет Солнечной системы и влияния несферичности фигур Земли и Луны. Неслучайно проблема математического описания движения Луны в пространстве является одной из самых сложных задач в небесной механике.

Для наглядности модель перемещения Луны в пространстве упрощают. При этом мы не потеряем математической и небесно-механической строгости,

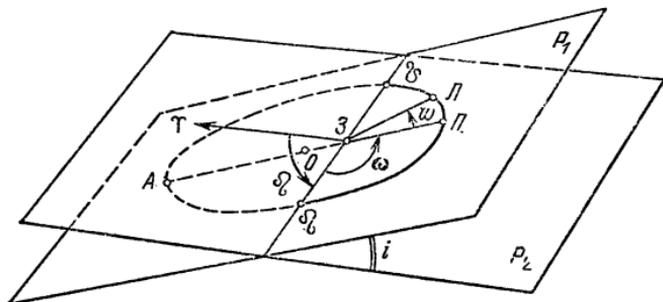


Рис. 2.

если, взяв за основу более простой вариант, не забудем учесть влияние многочисленных возмущающих движение факторов.

Предположив Землю неподвижной, можно представить Луну спутником нашей планеты, движение которого подчиняется законам Кеплера и происходит по эллиптической орбите. Согласно подобной схеме среднее значение эксцентриситета лунной орбиты составляет  $e = 0,055$ . Большая полуось этого эллипса равна по величине среднему расстоянию, т. е.  $a_c = 384\ 400$  км. В апогее при наибольшем удалении это расстояние увеличивается до 405 500 км, а в перигее (при наименьшем удалении) составляет 363 300 км. Плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости эклиптики на угол  $i = 5^{\circ}09'$ .

На рис. 2 приведена схема, поясняющая геометрический смысл элементов орбиты Луны.

Плоскость орбиты Луны  $P_1$  наклонена на угол  $i$  к плоскости эклиптики  $P_2$ . В одном из фокусов эллипса орбиты  $З$  находится Земля. Точки  $А$  и  $П$  являются соответственно апогеем и перигеем, а соединяющая их большая ось эллипса носит назва-

ние линии апсид.  $AO = PO$  — большая полуось эллипса, равная среднему расстоянию  $a_{\zeta}$ .

Линия пересечения плоскостей  $P_1$  и  $P_2$  называется линией узлов. Знаком  $\Omega$  обозначается восходящий узел орбиты, т. е. точка, в которой Луна, двигаясь по орбите, переходит из южного эклиптического полушария в северное. Точка  $\vartheta$  обозначает нисходящий узел лунной орбиты. Ориентировка плоскости лунной орбиты задается величиной долготы восходящего узла — углом  $\Omega$ , который лежит в плоскости  $P_2$  и отсчитывается от направления на точку весеннего равноденствия  $\Upsilon$ . Положение эллипса лунной орбиты в плоскости  $P_1$  определяется углом  $\omega$ , который называется расстоянием перигея от узла.

Наконец угол  $\psi$  определит положение самой Луны на орбите в определенный момент времени.

Рассмотренные элементы орбиты Луны и названные выше значения некоторых из них описывают среднее, невозмущенное движение Луны.

Однако влияние Солнца и планет приводит к тому, что орбита Луны изменяет свое положение в пространстве. Линия узлов движется в плоскости эклиптики в направлении, обратном движению Луны по орбите. Следовательно, значение долготы восходящего узла непрерывно меняется. Полный оборот линия узлов совершает за 18,6 года.

Линия апсид поворачивается в направлении движения Луны со скоростью более  $40^\circ$  в год. Постоянно изменяется эксцентриситет лунной орбиты от 0,044 до 0,072. Не остается неизменным и наклон плоскости орбиты к плоскости эклиптики, который колеблется в пределах от  $5^\circ 17'$  до  $4^\circ 59'$ .

Все эти большие и малые периодические изменения требуют учета. Для того чтобы получить расчетную величину широты Луны с точностью до  $0'',1$ , необходимо просуммировать 655 членов. Вычисление долготы требует суммирования около 300 членов.

Период геоцентрического движения Луны по орбите определяется как промежуток времени между двумя последовательными одинаковыми положениями Луны среди звезд при наблюдении с Земли. Этот период носит название сидерического месяца и составляет 27,3 суток. Разница в продолжительности синодического месяца (29,5 суток) и сидерического месяца объясняется учетом орбитального движения

Земли, которое сказывается на продолжительности периода смены наблюдаемых с Земли фаз Луны. Величины обоих периодов связаны соотношением

$$\frac{1}{S} = \frac{1}{T} - \frac{1}{E},$$

где  $S$  — продолжительность синодического месяца,  $T$  — продолжительность сидерического месяца,  $E$  — продолжительность сидерического (звездного) года. Период  $E$  определяется промежутками времени между двумя одинаковыми положениями Луны среди звезд после завершения гелиоцентрического цикла движения при наблюдении с Земли.

Вращение Луны вокруг собственной оси описывается тремя законами Кассини. Согласно этим законам лунный экватор имеет постоянный наклон к плоскости эклиптики ( $I = 1^{\circ}32'47''$ ), ось вращения Луны лежит в одной плоскости с осью эклиптики и осью лунной орбиты таким образом, что восходящий узел лунного экватора на эклиптике совпадает с нисходящим узлом лунной орбиты. Луна вращается с постоянной угловой скоростью в направлении обращения ее вокруг Земли, причем период вращения Луны равен периоду обращения ее по орбите.

Равенство периодов осевого и геоцентрического вращения Луны создает известную особенность системы «Земля — Луна», при которой к нашей планете обращено постоянно одно и то же полушарие спутника — видимая сторона Луны. В последнее время стало известно, что эта особенность не является уникальной в Солнечной системе. Подобным образом обращаются вокруг своих планет крупные спутники Юпитера и Сатурна.

Сочетание равномерного вращения Луны вокруг оси с неравномерным движением по эллиптической орбите приводит к явлению, носящему название оптической либрации по долготе.

За четверть периода движения по орбите Луна из-за неравномерности этого движения проходит больше или меньше четверти пути, поскольку движение вблизи перигея происходит быстрее, а вблизи апогея медленнее среднего. Однако вокруг своей оси за тот же отрезок времени Луна поворачивается ровно на четверть полного оборота. Поэтому наблюдатель с Земли может заглядывать за границу видимо-

го полушария с западного и с восточного краев Луны.

Явление оптической либрации по долготе поясняет схема на рис. 3, а. В точках апогея (А) и перигея (П) центр видимого полушария  $O$  для земного наблюдателя располагается в плоскости, проходящей через центр наблюдаемого диска Луны. Следовательно, граница видимого полушария совпадает с краем видимого диска. В других точках центр видимого полушария смещается относительно направления Земля — Луна ( $L_2$  и  $L_4$ ), земной наблюдатель имеет возможность видеть на краю наблюдаемого диска часть обратного полушария. Максимальный угол оптической либрации по долготе составляет около  $8^\circ$  в каждом направлении от среднего положения.

Кроме оптической либрации по долготе, существует также оптическая либрация по широте из-за того, что ось вращения Луны имеет постоянный наклон к плоскости ее орбиты. На рис. 3, б приведена схема оптической либрации по широте.

В положении  $L_1$  центр видимого полушария  $O$  смещен к югу относительно направления Земля — Луна. Наблюдатель, находящийся на Земле, в этом случае получает возможность увидеть северную полярную область лунного шара.

В положении  $L_2$  центр видимого полушария  $O$  смещен на видимом диске Луны к северу. Земной наблюдатель видит южную полярную область. Наибольшее смещение центра видимого полушария к северу и югу составляет около  $7^\circ$ .

В результате суммарного эффекта оптической либрации по долготе и по широте с Земли доступно наблюдениям 59% всей поверхности Луны.

Разумеется, наблюдения объектов в краевых и либрационных зонах весьма затруднены неблагоприятным ракурсом.

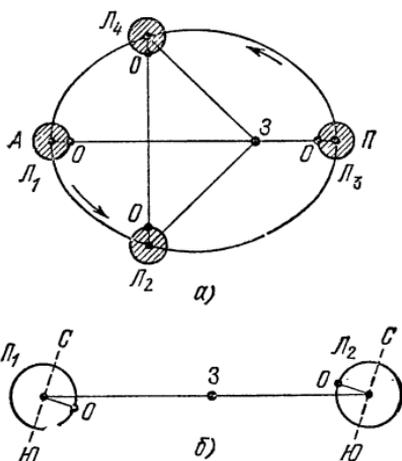


Рис. 3.

Так же, как и в случае Земли, реальное вращение Луны сопровождается малыми по величине колебаниями нутационного характера. Эти малые колебания носят название физической либрации. При выполнении некоторых высокоточных исследований величина физической либрации требует учета. Однако при расчете видимости объектов лунной поверхности этими величинами можно пренебречь.

Лунная ось вращения составляет с плоскостью эклиптики почти прямой угол ( $88^{\circ},5$ ), поэтому лунные солнечные сутки, равные по продолжительности синодическому месяцу, делятся на равные промежутки темного и светлого времени независимо от положения Луны на гелиоцентрической орбите. На лунной поверхности нет наблюдаемых астрономических признаков сезонных изменений.

## 2. ФАЗЫ ЛУНЫ И ВИДИМОЕ ДВИЖЕНИЕ ПО НЕБУ

Ранее было показано, что в зависимости от положения Луны относительно Солнца и Земли с поверхности нашей планеты можно наблюдать смену фаз лунного диска.

Наблюдаемая скорость движения Луны среди звезд выше, чем скорость аналогичного перемещения Солнца. За сутки Луна проходит угловое расстояние, равное  $13^{\circ},2$ , т. е. каждый час она смещается на величину собственного углового диаметра (на  $30'$ ). Солнце среди звезд движется гораздо медленнее — всего  $1^{\circ}$  за сутки.

В течение каждого месяца Луна, двигаясь среди звезд в ту же сторону, что и Солнце, догоняет наше светило и перегоняет его. Момент, когда астрономические долготы Луны и Солнца уравниваются, соответствует фазе новолуния, принимаемой за условное начало фазового цикла Луны. На рис. 1 фаза новолуния показана в положении Луны  $L_1$  и  $L_5$ . Строго в фазе новолуния Луна становится невидимой, поскольку к Земле обращено темное, неосвещенное полушарие Луны. Незначительную подсветку лунной поверхности в этой фазе создает свет, отраженный поверхностью нашей планеты, поскольку Земля в положении  $Z_1$  и  $Z_5$  (рис. 1) обращена к Луне полностью освещенным полушарием. При благоприятных атмосферных условиях при этом освещении —

пепельном свете — на лунном диске можно увидеть слабый блеск наиболее ярких объектов. Следует уточнить, что при строгой фазе новолуния (центры дисков Луны и Солнца, наблюдаемые с Земли, совпадают) происходит солнечное затмение. Однако подобное совпадение происходит редко. Поэтому гораздо чаще лунный диск проходит среди звезд выше или ниже солнечного диска и бывает окаймлен узким освещенным серпом.

Формально период видимости фазы новолуния приходится на дневное время суток, как это следует из приведенных выше описаний. Очевидно также, что практически наблюдать эту фазу не удается.

После того как Луна проходит положение наибольшего сближения с Солнцем, узкий светлый серп начинает увеличиваться.

В фазе тонкого серпа Луна появляется вскоре после захода Солнца и заходит вблизи точки заката. Выпуклая сторона серпа Луны, обращенная в сторону Солнца, носит название лимба — освещенного края видимого диска Луны. Вогнутая сторона серпа представляет собой границу тени на поверхности лунного шара и носит название терминатора. Луна в фазах, следующих непосредственно за новолунием, носит название молодой или растущей Луны.

Концы серпа в пересечении терминатора с лимбом называются рогами, а диаметр видимого диска, который проходит через эти точки, — линией рогов.

В астрономической литературе часто можно встретить выражение «возраст Луны», которое обозначает промежуток времени, прошедший с момента последнего новолуния.

Молодая, или растущая, Луна сравнительно недолго остается над горизонтом и заходит вскоре после заката Солнца. В разное время года Луна в этой фазе проходит свой суточный путь по-разному. Наибольшей высоты над горизонтом она достигает в летнее время. В другие сезоны молодая Луна поднимается сравнительно невысоко над горизонтом и поэтому условия ее наблюдения неблагоприятны. Примерно через неделю после новолуния диск Луны выглядит освещенным уже наполовину. Эта фаза носит название первой четверти. Положение Луны относительно нашей планеты и Солнца в момент названной фазы соответствует точке  $L_2$  на рис. 1.

Особенностью фазы первой четверти является совпадение терминатора с линией рогов. Разность долгот Луны и Солнца составляет ровно  $90^\circ$ . В этой фазе Луна более продолжительное время наблюдается над горизонтом в первую половину ночи. Наиболее благоприятный для наблюдений сезон приходится на весну.

В возрасте от 8 до 13 суток лунный диск находится в стадии прибывающей (или нарастающей) Луны. Освещенная часть диска увеличивается и в конце второй недели после новолуния Луну можно видеть полностью освещенной. Эта фаза называется полнолунием ( $L_3$  на рис. 1). Яркость Луны бывает наибольшей, и она видна почти всю ночь, исключая предрассветные часы. Наиболее благоприятным для наблюдений сезоном является конец зимы — начало весны.

Во время полнолуния Луна находится почти прямо против Солнца, поэтому она восходит при солнечном закате, а заходит в момент восхода Солнца.

В первую неделю после полнолуния лунный диск находится в фазе убывающей (на ущербе) Луны. Освещенная часть диска постепенно уменьшается. В этот период на фоне звезд Луна опять начинает сближаться с Солнцем, подходя к нему с противоположной стороны. Период видимости приходится на большую часть ночи, кроме вечерних часов, а наиболее благоприятное для наблюдений время — конец осени и начало зимы.

В конце недели после полнолуния диск Луны остается освещенным лишь наполовину, наступает фаза последней четверти ( $L_4$  на рис. 1). В последней четверти Луна наблюдается в утреннюю половину ночи. Наибольшую высоту над горизонтом Луна в этой фазе имеет осенью.

Прослеживая далее динамику смены фаз Луны, увидим, что освещенный полудиск начнет превращаться в постепенно суживающийся серп. Наступит фаза старой Луны. Время наблюдения сместится на предрассветные часы, а наиболее благоприятный сезон для наблюдений — конец лета и начало осени. В период старой Луны время ее восхода постепенно приближается к времени солнечного восхода и, наконец, лунный диск становится невидимым ( $L_5$  на рис. 1). Цикл смены фаз завершился. Через два-три

дня в вечерние часы сразу после захода Солнца на небе появляется узкий серп новой луны и весь цикл начинается снова.

Как уже было упомянуто, продолжительность цикла смены фаз составляет 29,5 суток — синодический месяц.

На рис. 4 приведена схема основных геометрических элементов, связанных с динамикой смены фаз.

Граница дневной и ночной стороны — терминатор — изображается на лунной сфере дугой  $P_1TP_2$ .

Лимб изображен дугой  $P_1LP_2$ . Точка  $H$  — центр видимого диска, радиус  $OH$  совпадает с направлением на наблюдателя.

Точка  $C$  — проекция положения Солнца на лунную сферу, или подсолнечная точка, радиус  $OC$  совпадает с направлением на Солнце.

Большой круг на лунной сфере  $THCL$  носит название экватора интенсивности. Угол  $\alpha$ , лежащий в

плоскости экватора интенсивности, называется углом фазы или фазовым углом. Фазовый угол образуется при центре лунной сферы направлениями на Солнце и наблюдателя.

Величиной фазового угла можно численно обозначить фазу Луны в любой заданный момент времени. Угол  $\alpha$  измеряется в градусах от  $0^\circ$  (фаза полнолуния) до  $180^\circ$  (фаза новолуния).

Если речь идет только о наблюдениях с Земли, значениям фазового угла приписывается знак минус (до полнолуния) или знак плюс (после полнолуния).

Следует еще заметить, что на рис. 4 дуги  $CHT$  и  $HCL$  равны  $90^\circ$  каждая.

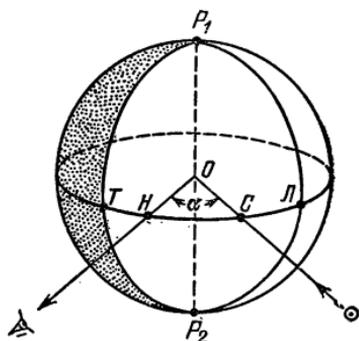


Рис. 4.

Угол  $\alpha$ , лежащий в плоскости экватора интенсивности, называется углом фазы или фазовым углом. Фазовый угол образуется при центре лунной сферы направлениями на Солнце и наблюдателя. Величиной фазового угла можно численно обозначить фазу Луны в любой заданный момент времени. Угол  $\alpha$  измеряется в градусах от  $0^\circ$  (фаза полнолуния) до  $180^\circ$  (фаза новолуния). Если речь идет только о наблюдениях с Земли, значениям фазового угла приписывается знак минус (до полнолуния) или знак плюс (после полнолуния).

Следует еще заметить, что на рис. 4 дуги  $CHT$  и  $HCL$  равны  $90^\circ$  каждая.

### 3. ЗАТМЕНИЯ ЛУНЫ

В системе «Земля — Луна» периодически возникает ситуация, когда Луна, оказываясь в положении  $L_3$  (рис. 1) вблизи фазы полнолуния, попадает в конус земной тени. В этот момент земной наблюдатель, находящийся на ночной стороне Земли, видит явление, носящее название лунного затмения. Полный

диск Луны постепенно закрывается тенью, приобретая в то же время красноватый оттенок.

Лунные затмения происходят, как это очевидно вытекает из рис. 1, только в фазе полнолуния. Однако не всякое полнолуние неизбежно совпадает с лунным затмением. В большинстве случаев Луна проходит выше или ниже конуса земной тени. Затмение происходит лишь в случае, когда Луна в фазе полнолуния находится близко к одному из узлов своей орбиты.

Геометрия лунного затмения показана на рис. 5. Поскольку истинный диаметр Солнца ( $C$ ) во много

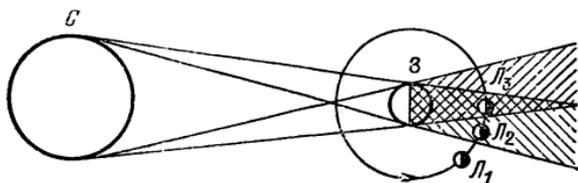


Рис. 5.

раз превышает диаметр Земли ( $З$ ), тень, отбрасываемая земным шаром, имеет форму постепенно суживающегося конуса, окруженного расширяющимся усеченным конусом полутени. На рис. 5 показан ход лучей от краев видимого диска Солнца, которые определяют границы тени и полутени в пространстве.

Нетрудно подсчитать, что протяженность конуса земной тени в 3—4 раза превышает величину среднего расстояния Луны от Земли. Следовательно, в своем движении по орбите Луна целиком погружается в тень и находится там довольно долго. Несложные подсчеты показывают, что радиус конуса тени на расстоянии лунной орбиты более чем в 2,5 раза превышает радиус Луны.

Поскольку по орбите Луна движется против часовой стрелки (если смотреть со стороны северного полюса мира), в тень она входит левым краем, обращенным к востоку, если смотреть с поверхности Земли (положение  $L_1$  на рис. 5). Любое лунное затмение начинается фазой полутеневого затмения, когда Луна входит в конус земной полутени (положение  $L_2$ ). Если в конкретной ситуации Луна пройдет выше или ниже конуса тени, то все явление ограничится фазой полутеневого затмения.

Если же, как уже указывалось, Луна находится достаточно близко от одного из узлов своей орбиты, путь ее будет неизбежно пролегать через конус земной тени. С момента первого контакта левого края Луны с тенью наступает фаза частного теневого затмения. С края лунного диска, обращенного к востоку, появляется постепенно увеличивающийся ущерб. Видимый диск Луны в фазе частного теневого затмения принимает вид серпа, отличающегося от серпа лунных фаз кривизной терминатора. Терминатор затмения выглядит дугой круга, радиус которого в 2,5 раза больше радиуса Луны, а терминатор лунных фаз имеет вид полуэллипса с большой полуосью, равной радиусу Луны.

В зависимости от положения Луны по отношению к одному из узлов орбиты лунный диск может не погрузиться полностью в земную тень и по прошествии некоторого времени выйти из тени, а затем и из полутени. В этом случае будет наблюдаться только частное затмение.

Наконец, фаза полного теневого затмения наступит при полном погружении Луны в конус земной тени. Наиболее длительное полное затмение Луны будет наблюдаться в случае, когда полнолуние совпадает с прохождением Луной восходящего или нисходящего узла орбиты. Тогда полное затмение может продолжаться почти два часа. Началом полной фазы теневого затмения является момент контакта тени с правым (обращенным к западу) краем лунного диска.

При выходе Луны из тени описанные фазы повторяются в обратном порядке.

Для наступления лунного затмения требуется, чтобы Луна находилась на расстоянии не более  $11^\circ$  в ту или другую сторону от одного из узлов. С учетом скорости перемещения Луны период лунных затмений составляет около 22 дней. В течение года оказывается два таких периода. Но внутри каждого из них может не оказаться ни одного полнолуния, поэтому в некоторые годы лунных затмений может не быть вовсе. Максимальное число лунных затмений в году — три. В этом случае первое происходит в самом начале января, второе — в конце июня, а третье затмение — в конце декабря, т. е. спустя 12 синодических месяцев после первого.

В таблице 1 приводятся сведения о лунных затмениях, предстоящих в ближайшие годы.

Как видно из этой таблицы, в 1982 г. было три лунных затмения, а в 1984 г. не будет ни одного.

Условия наблюдения перечисленных затмений в каждом конкретном месте можно получить, пересчитав момент всемирного времени на местное декретное. По координатам места на земном шаре, где Луна в момент затмения будет находиться в зените

Таблица 1

Дата	Всемирное время	Продолжительность в мин		Луна в зените	
		частная фаза	полная фаза	долгота	широта
1982, 9 янв.	19 ч 56 мин	107	42	+62°	+22°
1982, 6 июля	7 ч 30 мин	112	51	-112	-23
1982, 30 дек.	11 ч 26 мин	105	33	-171	+23
1983, 25 июня	8 ч 25 мин	65	—	-126	-23
1985, 4 мая	19 ч 57 мин	106	35	+60	-16
1985, 28 окт.	17 ч 43 мин	102	21	+90	+13

(две последние колонки), можно оценить высоту лунного диска над горизонтом в данном географическом пункте в это же время.

Лунные затмения отличаются друг от друга не только глубиной погружения Луны в тень Земли, но и соответствующими ей яркостью и цветовым оттенком затемненного лунного диска.

Вид и окраска земной тени на лунном диске, их изменение в процессе затмения, а также возможности наблюдения деталей поверхности Луны зависят от состояния земной атмосферы. В ходе затмения поверхность видимого полушария освещается солнечными лучами, прошедшими через земную атмосферу, в частности сквозь ее верхние слои. Поэтому во время затмения лунный диск окрашивается преимущественно в красноватые оттенки.

Исследования показали также зависимость яркости земной тени от солнечной активности. Оказалось, что в течение двух лет после минимума солнечной активности земная тень имеет самую низкую яркость. Перед очередным минимумом солнечной

активности в течение трех-четырёх лет цвет земной тени имеет интенсивный красный или оранжевый оттенок. Период максимума солнечной активности не отмечен заметными изменениями яркости тени, но с наступлением минимума наблюдается резкое потемнение.

Для оценки яркости и окраски затмений А. Данжон предложил шкалу, которая широко используется наблюдателями (таблица 2).

Т а б л и ц а 2

Баллы шкалы	Описание вида затемненного лунного диска
0	Затмение очень темное, в середине затмения Луна почти неразличима
1	Затмение темно-серое, детали лунной поверхности различаются с трудом
2	Затмение темно-красного или рыжеватого оттенка в середине затмения центр выглядит более темным
3	Оттенок кирпично-красный, тень окружена серовато-желтой каймой
4	Затмение имеет медно-красный оттенок, очень яркое, различимы основные детали поверхности, тень окружена светло-голубоватой каймой

В каждом отдельном случае расцветка затемненного диска Луны может иметь свои особенности, зависящие от состояния земной атмосферы (облачности, прозрачности и т. д.), в которой преломляются освещающие лунную поверхность солнечные лучи.

#### 4. РАЗМЕРЫ, ФИГУРА, МАССА И ПЛОТНОСТЬ ЛУНЫ

Размеры Луны довольно точно описываются величиной среднего радиуса лунного шара. Астрономическими методами эту величину определяли по измерениям углового радиуса видимого диска. Особенно точные результаты достигаются при измерениях во время кольцевых солнечных затмений или при наблюдениях покрытий звезд диском Луны.

В настоящее время принята величина среднего радиуса Луны  $R_L = 1738,0$  км. Это значение в основном

характеризует меридиональное сечение лунного шара по границе видимого и обратного полушарий.

Многочисленные определения абсолютных высот (отсчитанных от центра масс Луны) точек видимого полушария показывают, что по данным различных каталогов величина  $R_{\zeta}$  может принимать значения от 1736,74 км до 1738,9 км. Эти сведения более представительны, поскольку относятся к целому полушарию, однако и они не учитывают всех особенностей лунной фигуры.

Во время проведения лазерной альтиметрии (измерения высот) с лунной орбиты были получены два полных (круговых) профиля при различных наклонах относительно экватора. Сфера, которая наилучшим образом вписывается в оба профиля, имеет радиус 1737,4 км.

Более надежные определения станут возможными после того, как будут проведены достаточно многочисленные высокоточные определения абсолютных высот на обратной стороне Луны. Пока что мы можем заключить, что принятое в астрономии значение среднего радиуса, вероятно, достаточно точно описывает истинные размеры Луны.

Фигура, образованная физической поверхностью лунного шара, весьма близка к правильной сфере. Были попытки представить фигуру Луны в виде эллипсоида вращения или трехосного эллипсоида. Однако получаемые при этом значения размеров осей позволяют сделать вывод, что в пределах ошибок измерений модель фигуры Луны в виде эллипсоида практически не отличается от сферической модели. Поэтому наибольшее распространение получили представления фигуры Луны сферой. При этом учитывается обнаруженный измерениями сдвиг центра фигуры относительно центра масс Луны примерно на 2 км в сторону Земли.

В соответствии с приведенными размерами фигуры Луны площадь поверхности лунного шара составляет

$$S_{\zeta} = 37,96 \cdot 10^6 \text{ км}^2,$$

что равняется 0,074 площади земной поверхности. Объем лунного шара равен

$$V_{\zeta} = 21,99 \cdot 10^9 \text{ км}^3,$$

или 0,02 от объема Земли.

Массу Луны в настоящее время можно определить несколькими способами. Классический способ, применяемый в астрономии, основывается на перемещениях Луны и Земли относительно общего барицентра в процессе гелиоцентрического движения. Поскольку центр Земли постоянно удален от барицентра на постоянную величину среднего расстояния, в видимом положении Солнца и планет возникают параллактические смещения. Измерения этих смещений приводят к вычислению относительной массы Луны. На практике более удобно определять указанные величины из наблюдений близких к Земле тел — планет или проходящих вблизи Земли астероидов. Например, довольно надежные определения относительной массы Луны были получены по наблюдениям малой планеты Эрос в период 1900—1901 и 1930—1931 годов. Более поздняя переработка этих результатов привела к выводу величины соотношения масс Земли и Луны, равной  $1/81,30$ .

Другим независимым способом определения лунной массы является использование траекторных измерений в процессе движения космических аппаратов, уходящих в дальний космос.

Величину относительной массы Луны могут дать также данные по траекторным измерениям движения космических аппаратов, находящихся непосредственно в сфере притяжения Луны.

Многочисленные определения этими методами дали то же значение:  $1/81,30$ , которое и было принято в качестве эфемеридной величины, используемой при всех необходимых расчетах.

Если принять массу Земли равной  $5,977 \cdot 10^{27}$  г, то масса Луны определится величиной

$$M_{\text{L}} = 7,35 \cdot 10^{25} \text{ г.}$$

По данным о размерах и массе Луны можно подсчитать среднюю плотность лунного шара. Эта величина составляет

$$\bar{\rho}_{\text{L}} = 3,34 \text{ г/см}^3,$$

что значительно меньше средней плотности Земли ( $5,52 \text{ г/см}^3$ ).

Если сравнить среднюю плотность Луны с плотностью разных земных пород, можно убедиться, что наиболее подходящими окажутся изверженные породы

типа силикатов. Из них можно указать на перидотит и эклогит, которые имеют плотность около  $3,3 \text{ г/см}^3$ . Наиболее распространенными породообразующими минералами для земных силикатов с такой плотностью являются пироксены и плагиоклазы, а также оливин, плотность которого  $3,27 \text{ г/см}^3$ . На Земле перечисленные выше породы представляют собой аналоги глубинного вещества верхней мантии, появившегося на поверхности в результате вулканических извержений. Первичные породы располагаются на глубинах от 30 до 400 километров и имеют там плотность  $3,32\text{—}3,65 \text{ г/см}^3$ .

Низкая средняя плотность Луны служит указанием на отсутствие тяжелого металлического ядра. По-видимому, глубинное вещество лунных недр также относится к силикатным породам.

## 5. ХИМИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ВНУТРЕННЕЕ СТРОЕНИЕ ЛУНЫ

Образцы поверхностных лунных пород, доставленные на Землю из районов посадки космических кораблей «Аполлон» и автоматических станций «Луна», были детально исследованы в земных лабораториях. Пробы кристаллических пород и грунта были взяты из семи морских районов Луны и из двух материковых. Оказалось, что минералогический состав лунных пород очень близок к земным породам типа базальтов, норитов и анортозитов. Основными породообразующими минералами, как и на Земле, оказались пироксен, плагиоклаз, ильменит и оливин.

Конечно, лунные породы при общем сходстве с земными имеют свои существенные отличия. Лунные морские базальты выделяются высоким содержанием  $\text{FeO}$ , а в некоторых случаях также и  $\text{TiO}_2$ . Содержание  $\text{FeO}$  составляет, как правило, более 25%, что примерно в два раза превышает среднее содержание окислов железа в земных толеитовых базальтах.

Содержание  $\text{TiO}_2$  в лунных морских базальтах в отдельных случаях доходит до 13%. В земных же базальтах этого окисла содержится лишь 2%. Основным минералом, содержащим титан, является ильменит.

Другие основные окислы,  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{CaO}$  и  $\text{Al}_2\text{O}_3$  входят в состав лунных пород примерно в тех

же количествах, что и в состав земных аналогов лунного вещества.

Нориты — неморские базальты — отличаются от морских более высоким содержанием окислов алюминия. Содержание окислов железа и титана в этих породах ниже. Внешним отличительным признаком норитов является более светлая окраска, чаще встречающаяся в районах, которые по характеру рельефа принято считать материковыми.

Некоторые образцы базальтовых и норитовых лунных пород имеют повышенное содержание калия, редкоземельных элементов и фосфора. Они получили общее название криповых пород (от словосочетания KREEP-породы).

Земным аналогом материкового вещества Луны являются анортозиты. Эти породы практически состоят из одного минерала — богатого кальцием анортита. От морских базальтов и норитов анортозиты отличаются еще более высоким содержанием окислов алюминия (до 35%) и кальция (до 20%). Наоборот, содержание окислов железа и титана существенно ниже. По степени содержания  $Al_2O_3$  и  $CaO$  анортозитовые породы Луны иногда подразделяют на собственно анортозиты, габбро-анортозиты и анортозитовые габбро.

Внешним отличительным признаком анортозитовых пород является их относительно высокая отражательная способность, благодаря которой материковые области Луны выглядят существенно более светлыми, чем морские равнины.

Плотность светлых пород анортозитового ряда, которыми сложены обширные пространства лунных материков, меньше средней плотности Луны и составляет около 2,9 г/см<sup>3</sup>. Плотность морских базальтов выше — около 3,3 г/см<sup>3</sup>, что почти совпадает со средней плотностью лунного шара. Исходя из этого, можно предположить, что легкие анортозитовые породы образуют лишь тонкую внешнюю оболочку — лунную кору. Морские базальты, по-видимому, имеют прямую связь с глубинным веществом лунных недр.

Подробное представление о внутреннем строении Луны могут дать сейсмические обследования, проводимые непосредственно на лунной поверхности.

Сейсмическое зондирование недр основано на возможности определять плотность различных пород по скорости распространения в них упругих волн. В твердом веществе Луны, как в любой упругой сплошной среде, при искусственном или естественном возмущении (взрыв, удар падающего тела, глубинное лунотрясение) возникают объемные и поверхностные волны.

Объемные волны делятся на продольные и поперечные. При прохождении поверхности раздела между слоями с различной плотностью сейсмические волны меняют скорость своего распространения.

Распространение продольных волн связано с изменением объема вещества вдоль направления перемещения волны. При распространении поперечных волн происходит сдвиговая деформация, т. е. в направлении, перпендикулярном движению волны, смещается вещество самой среды при сохранении объема.

Как выяснилось при первых опытах проведения сейсмических измерений на Луне, естественная сейсмическая активность ее относительно невелика.

Выделение полной сейсмической энергии в теле лунного шара составляет менее  $10^8$  Дж в год, т. е. в  $10^9$  раз меньше, чем на Земле. Средняя магнитуда колебаний не превышает два балла по шкале Рихтера, согласно которой оценивается сила землетрясений на нашей планете. В то же время колебания литосферы (твердой оболочки) Луны происходят довольно часто. Аппаратура, установленная на лунной поверхности, отмечала от 600 до 3000 лунотрясений в год. Было выделено два основных типа лунотрясений. Колебания первого типа связаны с процессами в глубоких недрах Луны. Обнаружено, что точки, в которых они возникают, располагаются на глубине 600—800 км. Сейчас выявлено уже несколько десятков подобных очагов. По-видимому, своеобразным спусковым механизмом глубокофокусных лунотрясений являются приливные силы. Поэтому период возникновения подобных лунотрясений связан с прохождением Луной точек апогея и перигея и составляет 13,6 суток. Сейсмическая активность, вызываемая солнечным возмущением лунной орбиты, имеет период 206 суток.

Колебания второго типа вызваны подвижками в лунной коре. Амплитуда этих колебаний максимальна, но возникают они реже. За три года непрерывных измерений было зарегистрировано лишь 11 случаев, отнесенных ко второму типу лунотрясений.

Лунные сейсмометры являются высокочувствительными приборами, поэтому, кроме основных типов лунотрясений, ими регистрируются многочисленные слабые колебания, порожденные в результате падения мелких метеоритов и микрометеоритов, поверхностного смещения материала из-за тепловых напряжений и т. п. В частности, сигналы этого вида позволили непосредственно измерить величину падающего потока метеоритных частиц на лунной поверхности.

Для построения модели недр Луны были использованы результаты регистрации сейсмических событий, в процессе которых возникали объемные волны. Например, были проведены наблюдения сейсмических волн, возникших в результате падения на лунную поверхность последних ступеней ракет-носителей и лунных отсеков космических кораблей «Аполлон». Это позволило построить модель изменения скоростей сейсмических волн для поверхностного слоя лунного шара толщиной 150 км.

Исследование распространения объемных волн при глубокофокусных лунотрясениях и значительно удаленных от места установки сейсмометра поверхностных ударах привело к построению в первом приближении общей модели внутреннего строения Луны (рис. 6).

Условно лунные недра разделены на пять зон. Самая верхняя зона, имеющая на видимой стороне мощность около 60 км, а на обратной — около 100 км, отождествляется с лунной корой, образованной породами анортозитового состава.

Вторая зона носит название верхней мантии Луны. Ее мощность составляет, по-видимому, около 250 км. Скорость распространения продольных волн в этой зоне такова, что можно предположить в качестве основных ее составляющих минералы оливин и пироксен.

Мощность третьей зоны — средней мантии — составляет около 500 км. В этом слое отмечено характерное уменьшение скорости поперечных волн. Было

высказано предположение, что морские базальты возникли вследствие частичного плавления вещества в средней мантии. Нижняя область зоны (на глубинах 600—800 км) содержит большинство из обнаруженных очагов глубокофокусных лунотрясений.

Четвертая зона — нижняя мантия — характеризуется полным исчезновением поперечных волн. В связи с этим высказано предположение, что вещество

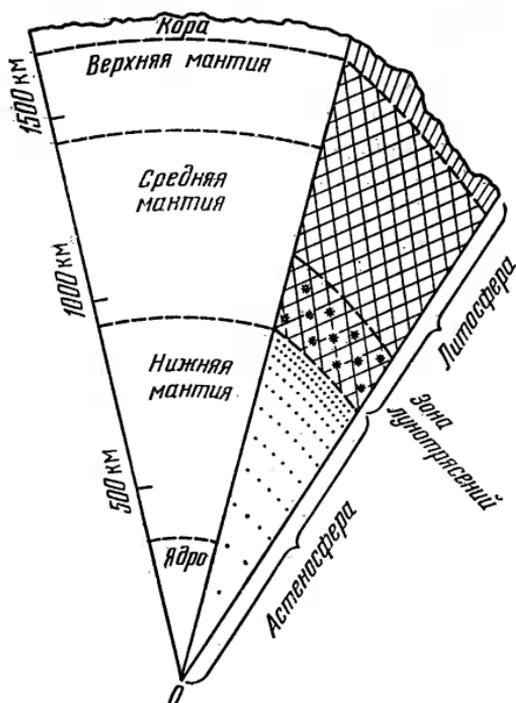


Рис. 6.

нижней мантии может в настоящее время находиться в частично расплавленном состоянии. Следовательно, на глубине около 800 км твердая оболочка — литосфера Луны кончается и ниже располагается лунная астеносфера (слой пониженной прочности, возможно, частично расплавленный). С подобным предположением согласуется факт концентрации фокусов глубинных лунотрясений непосредственно над границей нижней мантии. Возможная температура в верхней части слоя оценивается величиной около 1500 °С.

На глубине 1380—1570 км было обнаружено резкое уменьшение скорости продольных волн. Эта

граница отмечает начало пятой зоны — лунного ядра.

Имеющаяся в настоящее время информация не позволяет определенно судить о природе самой центральной области лунного шара. Высказана гипотеза, что ядро может состоять из сульфида железа. Тогда масса ядра составит не более 1% от всей массы Луны.

Несмотря на большой объем новых данных, полученных в последние годы с помощью космической техники, многие вопросы природы Луны остаются нерешенными. В частности, отсутствует однозначное представление о характере процесса магматической дифференциации Луны. А это в свою очередь не позволяет провести надежную оценку состава глубинных пород Луны на основании известных данных о поверхностном веществе.

## 6. АТМОСФЕРА ЛУНЫ И ОКОЛОЛУННОЕ ПРОСТРАНСТВО

Поскольку масса Луны незначительна, газовая оболочка вокруг нее должна быть очень сильно разреженной, т. е. практически отсутствующей. Оптические и радиоастрономические наблюдения с Земли подтвердили этот вывод.

Более конкретные представления о лунной атмосфере дали исследования с окололунной орбиты и непосредственно на поверхности Луны. Основными компонентами газовой оболочки оказались водород, гелий, неон и аргон. Конечно, при крайней разреженности лунной атмосферы можно говорить только об отдельных ионах газов, присутствующих в окололунном пространстве.

Наибольшая плотность лунной атмосферы наблюдается в ночное время (на темной стороне) и соответствует в пересчете на плотность у поверхности суммарной концентрации ионов газов около  $2 \cdot 10^5 \text{ см}^{-3}$ .

В дневное время (на освещенной стороне) концентрация газов падает до  $10^4 \text{ см}^{-3}$  в пересчете на плотность у поверхности. Эта величина составляет всего лишь  $10^{-13}$  концентрации молекул газов в земной атмосфере. Однако по сравнению с концентрацией частиц в солнечном ветре на расстоянии Земли от Солнца, указанное значение на три-четыре порядка

больше. Поэтому мы с полным основанием можем говорить о наличии какой-то газовой оболочки вокруг Луны. Разумеется, оценивать лунную атмосферу мерками таких плотных газов оболочек, как атмосфера Земли или Венеры, нельзя. В отличие от сложного строения названных атмосфер, лунная газовая среда состоит только из одного слоя — экзосферы. У плотных атмосфер (типа земной) этот слой самый верхний и из него происходит свободная диссипация газов в космический вакуум.

Как общая концентрация газов, так и концентрации основных компонентов атмосферы претерпевают суточные изменения. В таблице 3 приводятся значения числа ионов в кубическом сантиметре в дневное и ночное время лунных суток для различных газов.

Таблица 3

Газ	Дневная концентрация	Ночная концентрация
Водород	$6 \cdot 10^3$	$3,5 \cdot 10^4$
Гелий	$2 \cdot 10^3$	$4 \cdot 10^4$
Неон-20	$4 \cdot 10^3$	$8 \cdot 10^4$
Аргон-40	$8 \cdot 10^3$ (заход) $4 \cdot 10^3$ (восход)	$10^2$

В таблице представлены данные о молекулярном водороде, поскольку атомарного водорода в лунной атмосфере существенно меньше.

Кроме ионов аргона-40, были отмечены также ионы аргона-36, максимальная концентрация которых достигает  $3 \cdot 10^3 \text{ см}^{-3}$ , а суточные вариации имеют тот же характер, что у аргона-40. Были отмечены два всплеска повышенной концентрации аргона-40 в течение лунных суток. Наибольшее количество ионов аргона появляется перед местным восходом Солнца. Второй максимум концентрации приходится на момент местного захода Солнца. Затем в течение ночи содержание аргона резко падает.

Разреженность лунной атмосферы можно проиллюстрировать также значением длины свободного пробега атомов и молекул. Расчеты показывают, что в процессе теплового движения каждая частица газа между двумя последовательными столкновениями с

другими частицами должна преодолеть расстояние ночью в 10 раз, а днем в 100 раз больше, чем радиус Луны!

Поэтому взаимные столкновения частиц не влияют на их траекторию в атмосфере. Мы можем рассматривать идеальный случай движения каждой отдельной частицы в гравитационном поле Луны, полагая, что начальная скорость задается тепловым движением. Если скорость теплового движения, которая на Луне зависит от температуры нагрева поверхности, не превышает критическую (2,38 км/с), но больше первой космической (для Луны 1,68 км/с), то частица движется по эллиптической орбите, в одном из фокусов которой находится центр Луны.

Согласно расчетам днем водород свободно рассеивается в окружающем пространстве. Орбиты, по которым движутся ионы гелия, неона и аргона, имеют такой вид, что частицы возвращаются на лунную поверхность.

Получив новый импульс теплового движения, они начинают следующий цикл полета и т. д.

На ночной стороне Луны, где температура лунной поверхности низка, частицы газов ускоряются слабо. Даже молекулы водорода перемещаются по траекториям, возвращающим их назад к лунной поверхности. Расстояние от начальной точки движения до точки, в которой частица опять встречается с поверхностью, для всех других газов сокращается в несколько раз по сравнению с этим расстоянием на дневной стороне.

Таким образом, залететь с дневной стороны на ночную частице газа в несколько раз легче, чем пересечь терминатор в обратном направлении (рис. 7). Этой особенностью движения частиц в лунной атмосфере можно качественно объяснить более высокую ночную концентрацию ионов. Характер суточных вариаций содержания аргона объясняется в рамках

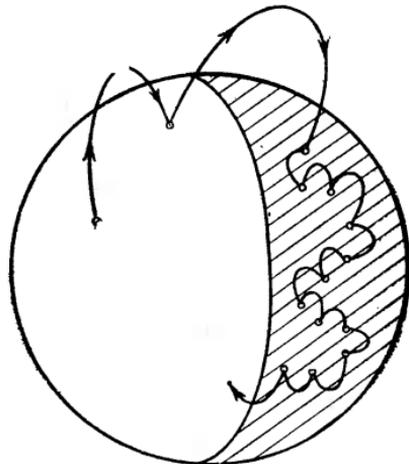


Рис. 7.

той же схемы. При низких ночных температурах поверхности «тяжелый» газ аргон становится совсем неподвижным и адсорбируется породами поверхностного слоя Луны. В момент восхода Солнца к увеличенной концентрации ионов за счет их миграции через терминатор с дневной стороны на ночную присоединяется еще волна частиц, освободившихся за счет нагрева поверхности солнечными лучами.

Таким образом, незначительная газовая оболочка вокруг Луны все же существует, хотя никаких практически ощутимых последствий этот факт не имеет. Изучение лунной экзосферы представляет интерес в отношении выявления тонких эффектов взаимодействия планетного тела с окружающим космическим пространством.

Подсчитано, что при существующей интенсивности рассеивания газовых частиц не могли бы сохраниться на наблюдаемом уровне никакие остатки первичной, древней атмосферы Луны. Следовательно, должно происходить постоянное пополнение ближайшего окололунного пространства газами. Наиболее вероятными источниками в этом случае могут быть солнечный ветер, приносящий газовые частицы извне, и дегазация недр самой Луны, поставляющая некоторое количество газов изнутри лунного шара.

Как газовые частицы, так и любые другие тела, движущиеся в окололунном пространстве, находятся под влиянием гравитационного поля Луны.

В настоящее время основным методом изучения гравитационного поля Луны является исследование возмущений орбит искусственных спутников Луны.

Первое общее представление об особенностях гравитационного поля Луны, отражающих неравномерности распределения масс в теле лунного шара, дали наблюдения за эволюцией орбиты первого искусственного спутника Луны — автоматической станции «Луна-10». Поверхности равных потенциалов, моделирующие строение гравитационного поля Луны, отличаются от сферической формы. Более детальные сведения, полученные по наблюдениям за траекториями космических аппаратов серии «Лунар орбитер», привели к обнаружению подповерхностных избыточных масс — масконов. Наиболее крупные масконы имеют местный избыток масс около  $20 \cdot 10^{-6}$  массы всей Луны, т. е. являются значи-

тельными гравитационными аномалиями. Селенографическое положение масконов совпадает с круговыми морями видимого полушария. Одной из возможных причин появления масконов считают проникновение более плотного вещества недр Луны в близповерхностные слои лунного шара. В более конкретных моделях масконов рассматривается выпучивание вещества мантии в зону лунной коры. В этом случае темные породы морей могут оказаться поверхностным аналогом материала, создающего избыток масс в глубине под круглыми морями.

В отдельных районах Луны были выявлены отрицательные аномалии, которые по местоположению коррелируют с крупными кольцевыми структурами обратной стороны.

У Луны практически отсутствует глобальное магнитное поле дипольной природы. Этим обстоятельством объясняются особенности взаимодействия Луны с потоком заряженных частиц солнечного ветра, который состоит в основном из протонов и электронов с добавлением ионизованного гелия и других более тяжелых элементов с разной степенью ионизации.

В отличие от Земли, обладающей магнитосферой, радиационными поясами и протяженным магнитным хвостом в антисолнечном направлении, Луна взаимодействует с солнечным ветром иначе.

Луна является немагнитной, сравнительно непроводящей и холодной диэлектрической сферой. Поэтому Луна поглощает плазму солнечного ветра и потоки энергичных частиц, свободно падающие на лунную поверхность. Обтекая лунный шар, солнечный ветер образует тень плазмы, протяженность которой изменяется в зависимости от взаимной ориентации направления солнечного ветра и силовых линий межпланетного магнитного поля.

Первые измерения, проведенные с помощью магнитометра, установленного на борту автоматической станции «Луна-2», показали, что дипольный момент Луны в  $10^4$  раза меньше магнитного момента Земли. Это соответствует напряженности магнитного поля на лунной поверхности не более 230 гамм. Однако последующие измерения с окололунной орбиты заставили снизить значение магнитного момента Луны еще на два порядка. Согласно этим данным макси-

мальная величина глобального поля на поверхности Луны не должна превышать 4 гамм. Дальнейшие спутниковые исследования дали еще более низкое значение постоянного глобального дипольного момента, согласно которому величина магнитного поля на поверхности составляет всего лишь 0,5 гамм.

Вместе с тем оказалось, что на Луне существуют заметные локальные вариации магнитного поля, вызываемые местной намагниченностью лунных пород. Наибольшая величина магнитного поля обнаруживается в материковых районах. Например, в области центрального материка на видимом полушарии Луны напряженность местного магнитного поля достигает от 100 до 300 гамм.

В районе образования Фра-Мауро, которое по морфологическим признакам можно отнести к формации промежуточного типа, была зарегистрирована напряженность магнитного поля от 43 до 103 гамм.

В морских участках напряженность магнитного поля достигает от 40 гамм (в близэкваториальной области Океана Бурь) до 3—6 гамм (на юго-восточной окраине Моря Дождей).

Обширный материал, показывающий изменение величины и направления местного магнитного поля в зависимости от характера рельефа, был накоплен в процессе исследований, проведенных автоматической передвижной лабораторией «Луноход-2». Среднее значение магнитного поля в переходной зоне «море — материк» оказалось равным 20—30 гамм. При пересечении луноходом кратеров, размеры которых превышают 50 м, отмечались аномалии местного магнитного поля, достигавшие 10—15 гамм. Наибольшие изменения наблюдались над кромкой кратеров.

Результаты, полученные «Луноходом-2», показали тесную связь вариаций магнитного поля с последствиями ударного метаморфизма.

Ударный метаморфизм является самым распространенным явлением на лунной поверхности. При крайней разреженности лунной атмосферы даже самые малые метеоритные частицы беспрепятственно достигают поверхности Луны и вызывают интенсивную эрозию верхних слоев.

Результаты пассивного сейсмического эксперимента на Луне позволили оценить поток метеоритно-

го вещества, реально выпадающего на лунную поверхность. Число частиц  $N$  массой  $M$ , выраженной в граммах, выпадающее на один квадратный сантиметр поверхности в секунду времени, определяется формулой

$$\lg N = -20,92 - 1,16 \lg M.$$

Этот поток оказался в 10—1000 раз меньше величины, которую предполагали на основе наземных наблюдений. Более поздние по времени данные пассивного сейсмического эксперимента дали промежуточное значение общего метеоритного потока, падающего на Луну, в некоторой степени приближающееся к оценке по наземным данным.

На характеристики приповерхностного окололунного пространства особое влияние оказывает микрометеоритная эрозия. Плотность потока микрометеоритов с массой больше  $10^{-13}$  г и скорость падения около 25 км/с составляет  $2 \cdot 10^{-8}$  см<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup> (число частиц падающих на квадратный сантиметр поверхности за секунду). Подобная величина микрометеоритного потока позволяет предположить постоянное присутствие в приповерхностном окололунном пространстве рассеянного пылеобразного вещества. Отдельные наблюдения свечений лунного неба подтверждают это предположение. Свечение западной части лунного горизонта в течение нескольких часов после захода Солнца наблюдалось с помощью телекамер автоматического аппарата «Сервейер». На основании измеренной интенсивности свечения был сделан вывод о существовании в зоне терминатора облака пылевых частиц с диаметром около 10 мкм. Этот эффект неоднократно отмечался во время восхода и захода Солнца. Приборы, регистрирующие отдельные частицы, показывали, что скорость регистрации микрочастиц возрастала почти в 100 раз за время от нескольких часов до 40 часов перед восходом и в течение 30 часов после восхода. Преимущественное перемещение частиц происходило от Солнца. Предполагаемый механизм горизонтального переноса частиц заключается во взаимодействии электростатических зарядов пылинок с электростатическими полями, возникающими на лунной поверхности под воздействием солнечного излучения.

Наблюдения, проведенные с борта «Лунохода-2», обнаружили постоянный избыточный фон яркости неба.

Как полагают, подобное явление может быть связано с наличием над поверхностью пылевого рассеянного слоя толщиной около  $10^3$  км при размерах частиц 70 мкм и концентрации порядка  $7 \cdot 10^{-10}$  см<sup>-3</sup>. Эта величина в  $10^5$ — $10^4$  раз превышает концентрацию пылевых частиц в межпланетном пространстве. Следовательно, Луна как бы окутана прозрачным пылевым облаком, имеющим протяженность, сравнимую с радиусом лунного шара.

Как упоминалось выше, одним из источников газов в окололунном пространстве и, возможно, какого-то количества пыли являются эндогенные (внутренние) процессы. Несмотря на то, что вещество лунного шара на сотни километров в глубину находится в твердом состоянии, часто высказываются предположения о существовании современного лунного вулканизма. Проявлением подобных процессов считают так называемые кратковременные (нестационарные) явления на лунной поверхности.

Впервые внимание наблюдателей к этим явлениям привлек Уильям Гершель. В 1783 г. он наблюдал и впоследствии описал непродолжительное свечение вблизи кратера Аристарх, которое принял за извержение крупного вулкана, подобного известным «огнедышащим» горам Земли. С тех пор о наблюдении кратковременных свечений, изменений цвета и формы образований, появлений туманной дымки в отдельных районах и т. д. поступили уже сотни сообщений. Однако до сих пор основную массу сообщений составляют визуальные наблюдения. Чрезвычайно мало случаев регистрации кратковременных явлений с помощью приборов. Классическим примером регистрации предполагаемого извержения газов на Луне можно считать наблюдения с помощью спектроскопа, выполненные Н. А. Козыревым в 1958 г. В одну из ночей была получена спектрограмма красного пятна вблизи центральной горки кратера Альфонс. Красное пятно наблюдалось около получаса, а затем исчезло. В полученном спектре были обнаружены полосы, характерные для молекул  $C_2$  при температуре до 2000 °С. Наблюдения Н. А. Козырева можно объяснить присутствием флуоресцирующих газов, выходящих

ших из района центральной горки кратера Альфонс.

Появление цветowych пятен неоднократно отмечалось в кратере Аристарх и вокруг него, в районе кратера Кеплер и др.

Кратковременные явления наиболее часто наблюдаются в области кратерных валов и центральных горок некоторых крупных морских кратеров, вдоль границ морских образований и в некоторых кратерах на материке.

Интересной особенностью оказалось совпадение местоположения некоторых эпицентров глубинных лунотрясений с наиболее «активными» районами распространения нестационарных явлений. Достаточно близка также периодичность появления максимального числа поверхностных явлений и глубинных лунотрясений. Не исключено, что в недрах Луны существует система трещин и разломов, в области которых возникают тектонические сдвиги, порождающие лунотрясения и поверхностные кратковременные явления. «Спускowym механизмом» подобной эндогенной активности могут служить приливные возмущения. На это указывает совпадение максимумов эндогенной деятельности Луны с периодами прохождения ею точек перигея и апогея.

## 7. ПРОИСХОЖДЕНИЕ И ИСТОРИЯ ЭВОЛЮЦИИ ЛУНЫ

Вопросы образования и ранней истории Луны продолжают обсуждаться. Нет полной ясности относительно того, где сформировалась Луна как самостоятельное небесное тело. Некоторые особенности химического состава лунных пород позволяют предположить, что Луна и Земля образовались в одной и той же зоне Солнечной системы, но не были в прошлом единым целым. Гипотеза отделения Луны от Земли и гипотеза захвата Луны Землей, по мнению многих специалистов, в настоящее время представляют лишь исторический интерес.

Наиболее обоснованной считают гипотезу образования Луны, согласно которой земной спутник аккумуляровался в окрестностях растущей Земли из околоземного роя тел. Механическое обоснование совместного образования Луны и Земли не вызывает возражений. Но и эта гипотеза встречается с некото-

рыми трудностями, которые пока еще не удается окончательно преодолеть.

Исследования образцов лунных пород показали, что недра Луны на ранних стадиях эволюции претерпели магматическую дифференциацию. В расплавленном веществе Луны происходило разделение расплавленных пород, в результате чего сформировались кора и верхняя мантия. Классификация по возрасту образцов древних материковых пород, доставленных автоматической станцией «Луна-20» и космическим кораблем «Аполлон-16», привела к выводу, что процесс дифференциации должен был происходить на самой ранней стадии существования Луны, т. е. 4,3—4,6 млрд. лет назад.

В таблице 4 показана последовательность формирования рельефа лунной поверхности по системам (периодам) селенологической истории Луны. Возрастная шкала определена по абсолютному возрасту образцов, доставленных автоматическими станциями «Луна» (Л) и космическими кораблями «Аполлон» (А).

Период кристаллизации древних материковых пород обычно относят к самым нижним (перекрывающимся всеми последующими наслоениями) породам так называемой Доимбрийской системы. Этот период охватывает эпоху до появления темных морских лав на поверхности, т. е. до образования базальтового покрова Моря Дождей как одного из самых древних морей.

Формирование лунной коры и кристаллизация поверхностных пород в этот период происходили, вероятно, при весьма интенсивной метеоритной бомбардировке. Подавляющее большинство крупных материковых кратеров и огромные впадины — лунные бассейны появились именно в эту эпоху.

Самый древний вид лунной поверхности в то время был близкой аналогией вида земного шара, в геологической истории которого первые сотни миллионов лет относят к «лунной стадии» развития нашей планеты. Однако в дальнейшем пути развития обоих небесных тел резко разошлись.

Завершающая стадия образования гигантских впадин, ставших впоследствии на видимом полушарии морями, совпала с выплавлением и кристаллизацией на поверхности пород норитового состава. Тогда

же начинают появляться активные внутренние процессы в лунных недрах, приведшие к появлению в начале Имбрийского периода первых морских образований.

Процесс лунного вулканизма, породивший базальтовое покрытие лунных морей, вероятно, имел два

Таблица 4

Система (период)	$10^9$ лет	Район	Событие	Возраст ( $10^9$ лет)
Коперниковская система		← Места посадок А-14, 16, 17	Образование небольших кратеров Ударный метаморфизм	0,002 - 0,050
		← Море Изобилия (Л-16)		0,50
	1	← Коперник	Образование кратера	0,85
Эратосфеновская система	2		Образование ударных кратеров на материках и морях	
	3			
		← Океан Бурь (А-12) ← Море Ясности (А-15) ← Море Кризисов (Л-24)	Кристаллизация базальтов	3,16 - 3,26 3,20 3,24 - 3,33
	← Море Изобилия (Л-16)	3,42		
Имбрийская система		← Море Спокойствия (А-18)	Кристаллизация порфиров	3,59 - 3,71
		← Тавр-Питтров (А-17) ← Море Восточное ← Море Дождей		3,82 3,85 3,95
	4	Море Кризисов Море Ясности Море Влажности Море Нектара	Образование лавин	4,05 - 4,20 4,10 4,25
Доимбрийская система		Материковая кора (Л-20, А-16)	Кристаллизация древних материковых пород	4,3 - 4,6

всплеска активности недр. Первый завершился выплавлением базальтов Имбрийской системы, средний возраст которых составляет 3,7 млрд. лет. Второй этап активности связан с выплавлением из недр базальтов Эратосфеновской системы со средним возрастом 3,2 млрд. лет. Этим актом в начале Эратосфеновского периода завершилась эпоха наиболее бурных преобразований лунной поверхности.

В геологической истории Земли указанное время соответствует начальной стадии Архейской эры и появлению первых органических соединений в земной среде. В противоположность богатым событиями последующим эпохам на Земле, Луна практически остановилась в своем развитии.

Следующие два миллиарда лет Эратосфеновского периода являются временем полного затухания лунного вулканизма. По-видимому, это можно связать с процессом отвердения пород верхней и средней мантии на глубине в несколько сотен километров. Продолжавшаяся метеоритная бомбардировка постепенно превратилась в основной фактор формирования современного рельефа Луны.

Одно из важнейших событий лунной истории, связанное с образованием кратера Коперник, произошло около миллиарда лет тому назад, т. е. в поздний период Протерозойской эры на Земле, когда жизнь на нашей планете находилась на уровне простейших организмов и водорослей.

Ударный метаморфизм в Море Изобилия, следы которого были обнаружены в образцах, доставленных автоматической станцией «Луна-16», относится по времени к Палеозойской эре на Земле, когда на рубеже Кембрийского и Ордовикского периодов в живой природе нашей планеты появились трилобиты.

Конечно, падения метеоритов и сопровождающие их ударные процессы происходят на Луне и в наши дни. Но падение крупных метеоритов — явление редкое. Самые поздние события лунной истории, которые пока удалось точно датировать по радиационному возрасту образцов, произошли во время Неогенового периода Кайнозойской эры на Земле, т. е. еще до появления человека. В таблице 4 эти события обозначены как образование небольших кратеров в различных районах видимого полушария.

Проследить последовательность формирования рельефа в каждом отдельном районе помогает анализ взаимных контактов и наложений различных объектов. Очевидно, что более молодой из двух соприкасающихся деталей рельефа является та, которая сохранилась при частичном наложении или пересечении.

Очень часто на лунной поверхности можно наблюдать разрушение вала и дна старого кратера в ре-

зультате образования более молодого, имеющего четкие свежие формы. Внимательный анализ в отдельных случаях позволяет выделить три или четыре возрастные ступеньки рельефа по наличию последовательности наложений кратеров. На подобном анализе основывается традиционный геологический метод определения относительного возраста объектов, который широко используется при создании селенологических карт.

## ГЛАВА II СЕЛЕНОГРАФИЯ

### 1. ОБЩЕЕ СТРОЕНИЕ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Особенности глобального строения лунной поверхности определяются размещением и размерами темных морей. Традиционно на Луне выделяют два основных вида ландшафта — материка и моря. Лунный шар покрыт единым материковым щитом, в котором отдельными вкраплениями располагаются моря. Возможно, более подробные исследования выявят отдельные регионы внутри материкового щита Луны. Но пока достаточно обоснованных и подробных данных на этот счет нет.

На рис. 8 приведена схема глобального строения всей поверхности лунного шара. Территория видимого полушария расположена в центральной части схемы и выделена меридианами  $\pm 90^\circ$ . На схеме нанесены контуры морских областей и кратеров, достигающих в диаметре более 20 км. В таблице 5 содержатся названия и размеры (по площади) морских образований, обозначенных соответствующими номерами на рис. 8.

Общая площадь морских образований на поверхности лунного шара составляет 16,9%.

Основные моря Луны сосредоточены в пределах видимого полушария. Крупнейшее морское образование — Океан Бурь. К нему примыкают Море Дождей с северо-востока, Море Влажности и Море Облаков с юга. В восточной половине видимого с Земли диска протянулись цепочкой с северо-запада на юго-восток Море Ясности, Море Спокойствия и Море Изобилия. К этой цепочке с юга примыкает Море Нектара, а с северо-востока — Море Кризисов.

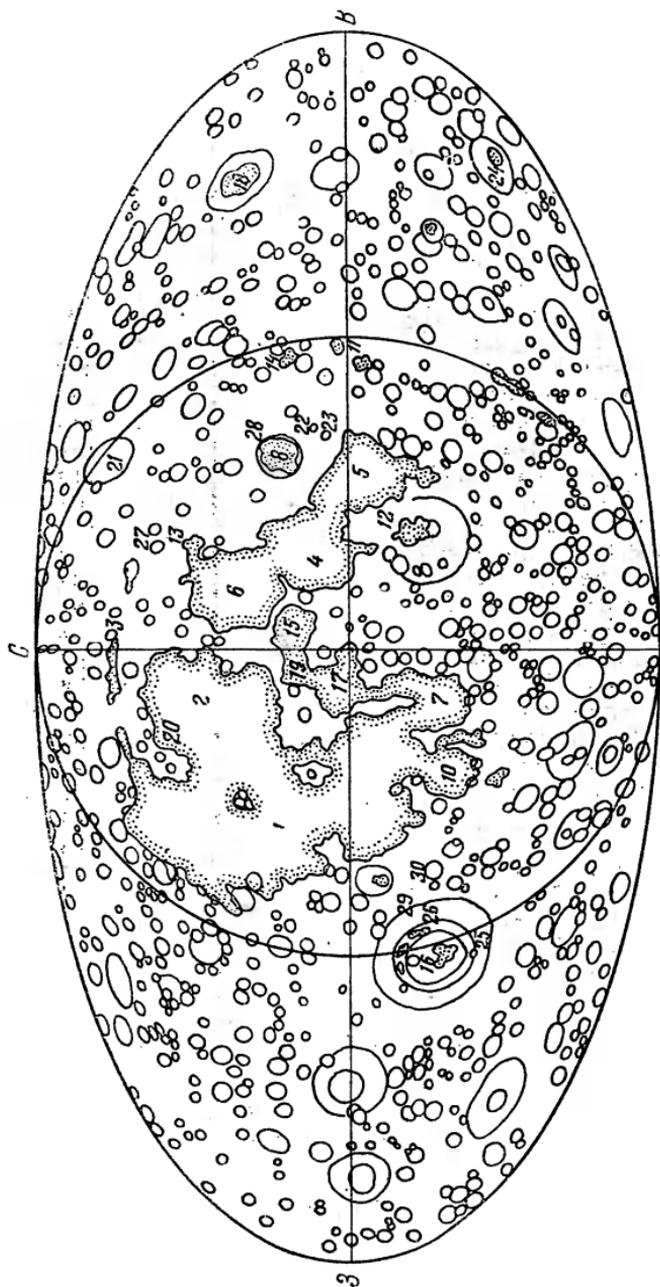


Рис. 8.

Сравнительно небольшие по размерам морские территории расположены на границе видимого и обратного полушарий. Это — Море Восточное (к западу от

Т а б л и ц а 5

№	Название	Площадь, тыс. км <sup>2</sup>
1	Океан Бурь	2102
2	Море дождей	829
3	Море Холода	436
4	Море Спокойствия	421
5	Море Изобилия	326
6	Море Ясности	303
7	Море Облаков	254
8	Море Кризисов	176
9	Море Южное	151
10	Море Влажности	113
11	Море Смита	104
12	Море Нектара	101
13	Море Сновидений	72
14	Море Краевое	62
15	Море Паров	55
16	Море Восточное	54
17	Залив Центральный	52
18	Море Москвы	50
19	Залив Зноя	40
20	Залив Радуги	39
21	Море Гумбольдта	22
22	Море Воли	21
23	Море Пены	16
24	Море Мечты	15
25	Море Мирное	13
26	Море Весны	12
27	Озеро Смерти	12
28	Море Змеи	10
29	Море Осени	3
30	Море Лета	1

Океана Бурь, Море Краевое, Море Смита и Море Южное (к востоку от Моря Изобилия).

На обратной стороне Луны существует лишь одно значительное образование морского типа — Море Москвы.

На лунной поверхности несколько небольших образований морского типа, относительно обособленных от крупных формаций, носят название «озер». Образования, граничащие с морями и вдающиеся в материковые области, называются «заливами».

Морские образования отличаются от материковых областей низкой отражательной способностью покровного вещества, более пологими формами рельефа и меньшим числом крупных кратеров на единицу площади. В среднем в пересчете на единицу площади число кратеров на материковой поверхности в 30 раз превышает число кратеров в морях.

Границы между морем и материком выражены по-разному. В морях правильной округлой формы и в больших кратерах с затопленным дном наблюдается резкий переход от темного вещества морского типа

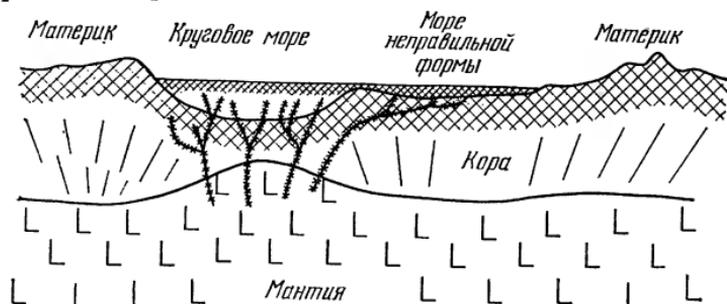


Рис. 9.

к светлым материковым породам. В случае морей неправильной формы переходная зона в отдельных случаях растягивается на несколько десятков километров.

Схема глубинного строения лунной коры в местах расположения морей, поясняющая современные представления о происхождении этих образований, показана на рис. 9.

Впадины, возникшие, вероятно, в результате падения крупных метеоритов или планетезималей, послужили первоначальным ложем морей правильной формы — круговых морей. В процессе развития этих форм происходили обрушения валов и усложнение системы глубинных трещин. Недостаток массы поверхностных пород, выброшенных и рассеянных взрывом, привел к тому, что вещество мантии под давлением глубинных, в то время расплавленных, пород стало внедряться в поверхностные слои. Проходя по системе трещин, расплавы базальтового состава постепенно заполняют впадины. При такой модели находит объяснение факт совпадения масконов по

местоположению с круговыми морями, так как местные гравитационные аномалии могут вызываться глубинным внедрением в кору вещества мантии.

Моря неправильной формы в большинстве случаев примыкают к круговым морям. Закономерно предположить, что расплавленные породы, образовавшие темное покрытие морей неправильной формы, поступали не столько по глубинным каналам и трещинам, сколько по поверхности из соседних круговых морей.

Морские и материковые ландшафты располагаются на различных высотных уровнях. В масштабах всего лунного шара разность средних уровней материков и морей достигает 2,3 км. В пределах видимого полушария это значение составляет 1,4 км. Кроме того, круговые моря — области, как правило, связанные с масконами Луны, располагаются ниже, чем моря вообще. Средний уровень круговых морей ниже среднего уровня морей неправильной формы на 1,3 км и ниже уровня материков почти на 4 км.

Основой планетарных структур на лунной поверхности, включая большинство морей, являются многокольцевые образования поперечником более 300 км. На видимом полушарии подобные структуры практически все заполнены морскими породами до границ внешнего кольца и являются круговыми морями. На обратной стороне в отдельных случаях можно проследить, как выглядела первоначальная многокольцевая структура.

Самое крупное круговое море — Море Дождей сохранило лишь одно из внешних колец в виде горных цепей Альп, Кавказа, Апеннин и Карпат (рис. 10).

Наглядным примером является море Нектара, в котором темные породы морского вещества занимают лишь часть кольцевой структуры, ограниченную внутренним кольцом гор Пиренеи. Диаметр этого кольца составляет 413 км. Внешнее кольцо сохранилось лишь частично в виде гор Алтай, по которым можно судить, что первоначально его диаметр составлял 729 км (рис. 11).

Лунные горы как категория рельефа не являются, за редким исключением, самостоятельными типами образований. Как следует из приведенных примеров, которые являются далеко не единственными, на лунной

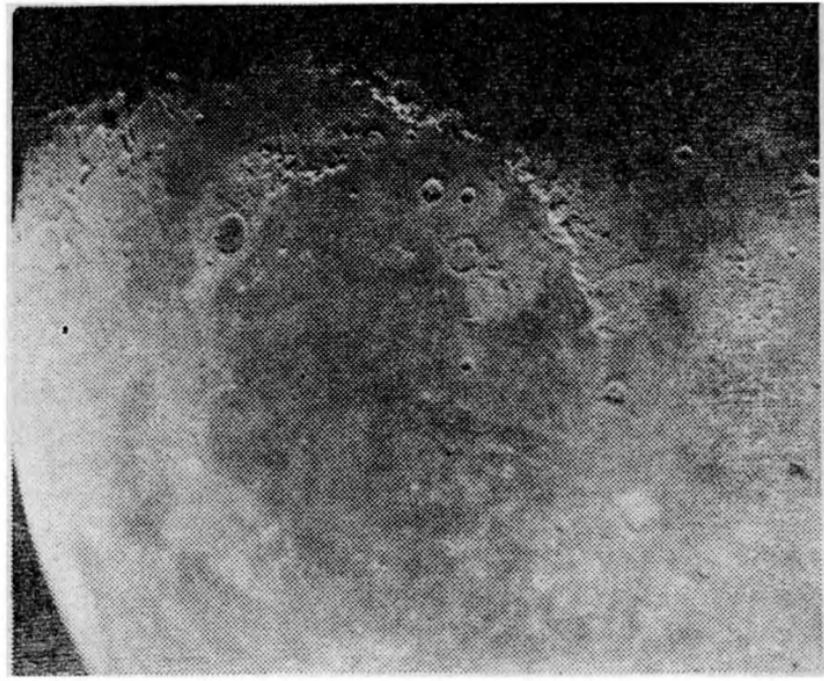


Рис. 10

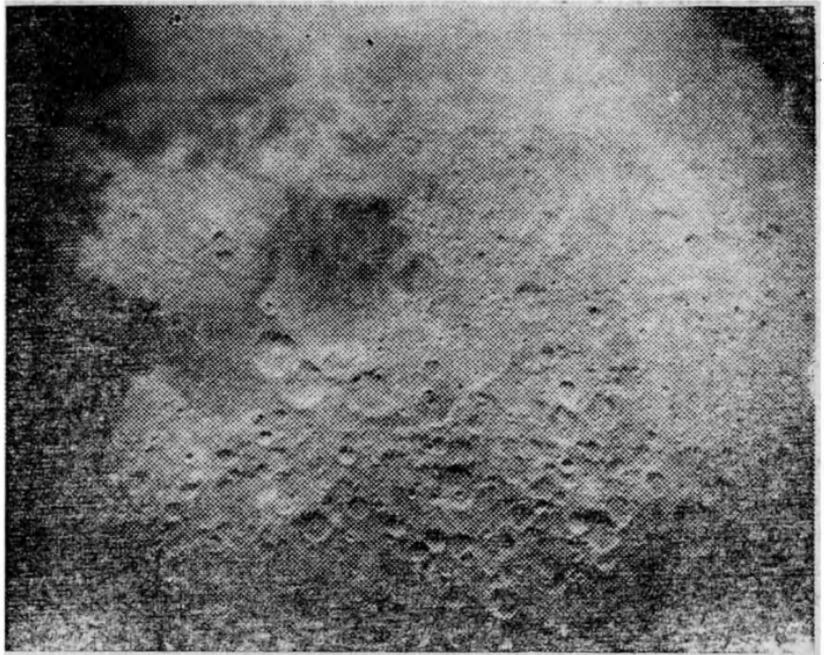


Рис. 11

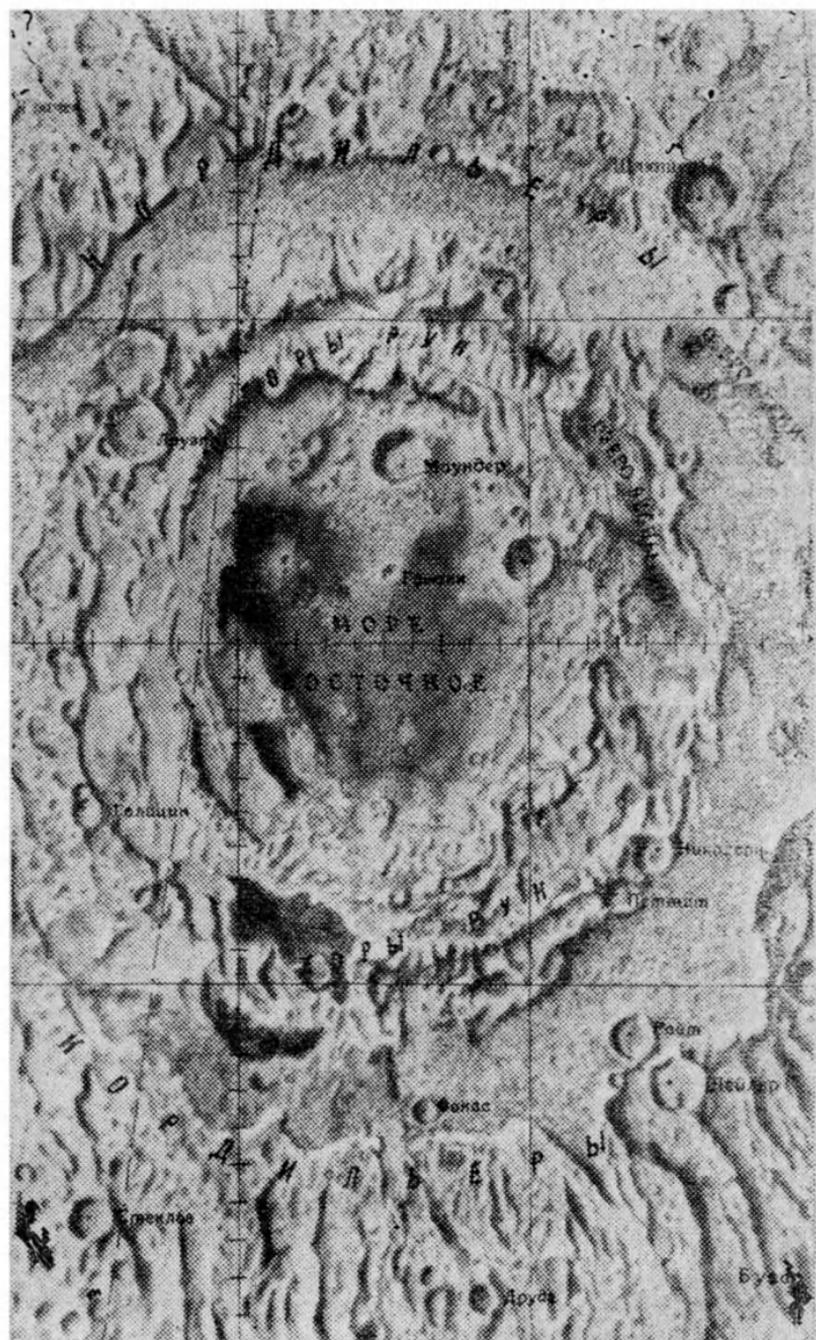


Рис. 12.

поверхности под понятие «гор» попадают внешние и внутренние валы многокольцевых структур. В том же Море Дождей цепочка, образованная горами Прямой Хребет, Горы Тенериф, Пик Пико и Шпицберген и продолженная кольцом пологих валов, явно обозначает внутреннее кольцо этой планетарной структуры.

На обратной стороне Луны многокольцевая структура наиболее наглядно прослеживается на примере Моря Восточного (рис. 12). Внутри этого образования можно проследить четыре концентрических вала. Первое кольцо имеет диаметр около 300 км и ограничивает центральную область, занятую темными морскими породами. Два кольца Гор Рук, внутреннее и внешнее, имеют соответственно диаметры 480 и 642 км. Внешним кольцом, определяющим размеры всего образования, являются Кордильеры, диаметр которых в среднем около 961 км.

## 2. ФОРМЫ ЛУННОГО РЕЛЬЕФА

Кроме планетарных образований на лунной поверхности существует большое число форм рельефа

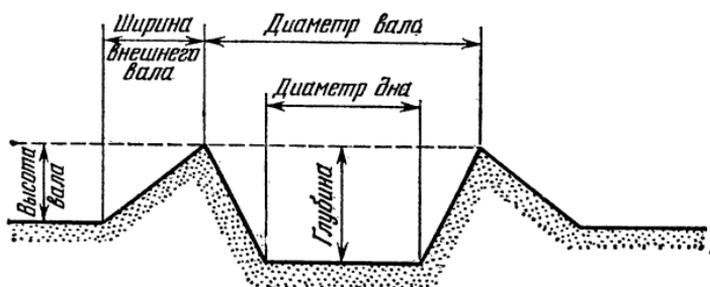


Рис. 13.

меньшего размера — от десятков километров до нескольких сантиметров. Наиболее распространенной среди них формой являются кратеры.

Крупные лунные кратеры имеют сложное строение с различными индивидуальными особенностями. Однако можно выделить ряд типичных элементов, характерных для всех кратеров диаметром более 20—30 км. Общим для всех подобных образований является возвышающийся над окружающей

местностью вал и углубленное дно. Глубина кратера в типичном случае больше, чем высота внешнего вала. Склоны вала, как правило, пологи. Внешние склоны вала не превышают в среднем  $6-8^\circ$ , а внутренние — около  $10-12^\circ$ .

Схема типичного строения крупного лунного кратера с указанием характерных элементов структуры приводится на рис. 13.

Для многих крупных кратеров характерным является также наличие центральной горки. У кратеров диаметром больше 30 км центральные горки встречаются в 75 случаях из 100. Внутренние склоны вала

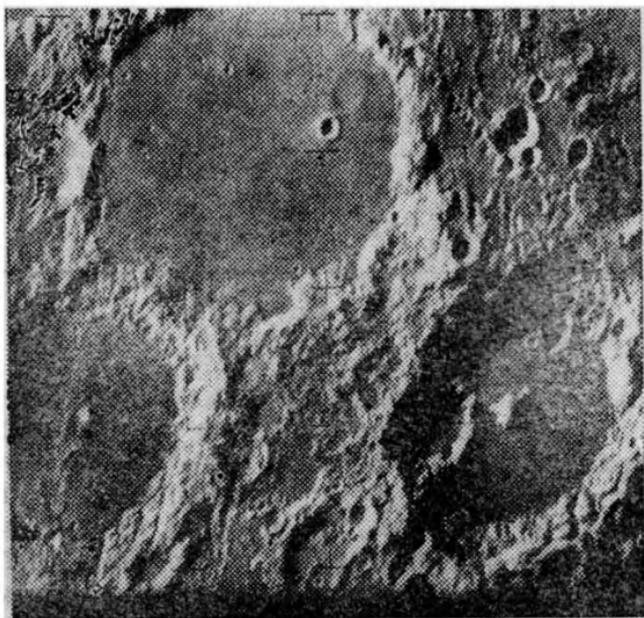


Рис. 14.

крупных кратеров спускаются ступеньками отдельных террас.

На рис. 14 приводится снимок типичных лунных кратеров Птолемей (вверху) и Альфонс (внизу слева), которые обладают описанными выше особенностями.

Рис. 15 показывает высотный профиль кратера Птолемей и прилегающих областей. Профиль получен по данным измерений с помощью радиовысото-

мера, установленного на искусственном спутнике Луны — автоматической станции «Луна-22». Вертикальный масштаб на рис. 15 увеличен более чем в 20 раз по сравнению с горизонтальным с тем, чтобы нагляднее показать особенности рельефа. Поперечник кратера Птолемей составляет на этом профиле около 150 км, диаметр вала меньшего кратера Дэви равен около 35 км. Все высоты по вертикальной шкале указаны относительно среднего уровня 1738 км (от центра Луны), который также показан на рисунке.

Еще одной распространенной особенностью крупных кратеров является частично или полностью затопленное дно. Подобные кратеры чаще всего встречаются вблизи границы между морем и материком.

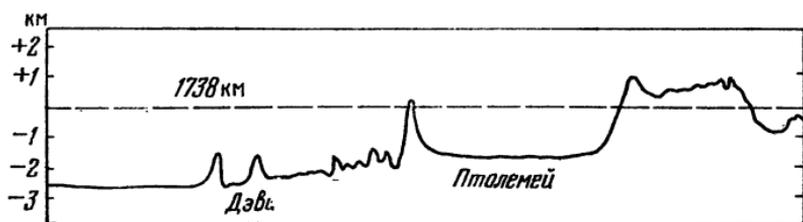


Рис. 15.

Отдельные затопленные кратеры можно видеть внутри материковых массивов. Типичным примером такого кратера может служить кратер Циолковский на обратной стороне Луны, имеющий диаметр около 190 км (рис. 16). Средний уровень затопленной части дна кратера расположен на 4 км ниже гребня вала, а наиболее высокая точка центральной горки возвышается над уровнем дна на 3245 м. Внутренние склоны кратера состоят из отдельных террас с перепадами высот в несколько сотен метров.

Кратеры небольших размеров (10—15 км и менее) имеют более простую и правильную форму углубления в виде лунки. Для кратеров диаметром менее одного километра характерным является отсутствие возвышающегося над окружающей местностью вала.

Зависимость глубины кратера от его диаметра для небольших по размерам образований можно описать эмпирической формулой вида

$$H = aD^b,$$

где  $H$  — глубина,  $D$  — диаметр кратера,  $a$  и  $b$  — параметры, которые являются постоянными для широких интервалов  $D$ . В первом приближении эту зависимость можно представить простым соотношением

$$H \approx 0,2D,$$

если  $D$  находится в пределах от нескольких десятков километров до одного километра.

Подсчеты числа кратеров разных размеров на единице площади поверхности показали, что эту ве-

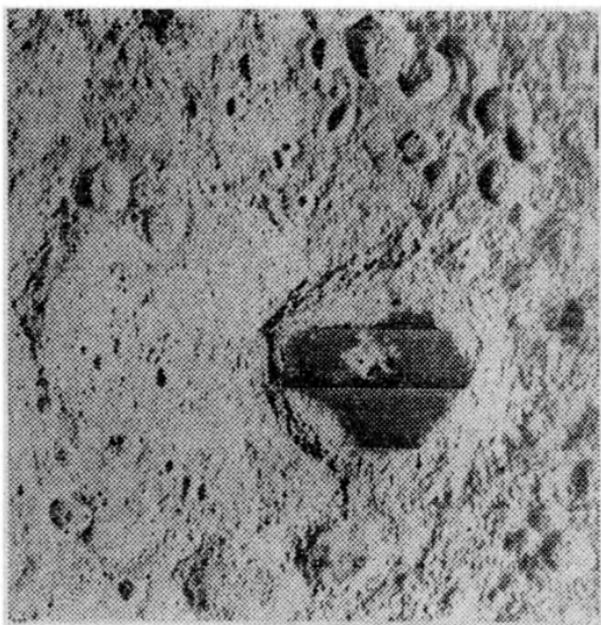


Рис. 16.

личину, называемую еще плотностью кратеров, можно связать с величиной диаметра зависимостью вида

$$N = aD^k,$$

где  $N$  — плотность кратеров, выражаемая числом объектов, по диаметру бóльших некоторого значения  $D$ , на заданной площади;  $a$  и  $k$  — постоянные параметры, подбираемые эмпирическим путем, причем  $k < 0$ . Параметры  $a$  и  $k$  могут иметь несколько отличающиеся значения для различных областей Луны.

Средняя плотность кратеров для всей поверхности Луны при  $25 \text{ км} < D < 200 \text{ км}$  выражается формулой

$$\lg N = 12,08 - 2,28 \lg D,$$

в которой  $N$  приводится в пересчете на  $10^6 \text{ км}^2$ , а  $D$  выражено в метрах.

Некоторые яркие кратеры окружены светлыми ореолами и лучевыми системами, наиболее отчетливо наблюдаемыми в полнолуние. Яркость этих необычных образований резко возрастает с увеличением высоты Солнца. При косом освещении ландшафта яркость лучей столь же резко падает. Поэтому вблизи терминатора детали лучевых систем не просматриваются. Исследования лучевых систем при большом разрешении деталей на местности позволили сделать вывод, что эти участки отличаются повышенной плотностью вторичных кратеров и раздробленных фрагментов кристаллических пород, а также, по-видимому, тонким слоем пылеобразного вещества выбросов из кратера, являющегося центром системы.

Наиболее протяженные лучи имеет кратер Тихо (рис. 17). В северном и северо-восточном направлениях отдельные лучи прослеживаются на расстоянии 1200—1500 км от центра кратера. Диаметр Тихо — 90 км.

По диаметру кратер Тихо принадлежит к наиболее крупным лучевым кратерам. Но значительные по протяженности лучевые системы имеют кратеры и меньших размеров. Можно привести в качестве примера кратер Джордано Бруно на обратной стороне Луны. Имея диаметр всего 25 км, Джордано Бруно окружен лучами, которые в юго-западном направлении имеют протяженность около 1200 км и частично перекрывают Море Кризисов на видимой стороне. В южном направлении лучи Джордано Бруно прослеживаются до окрестностей Моря Смита.

Кратеры, обладающие лучевыми системами, являются наиболее поздними образованиями. Вместе с тем многочисленность светлых ореолов и лучей вокруг кратеров небольшого размера, диаметры которых составляют километры или сотни метров, убеждает в том, что подобная особенность присуща всем ударным кратерам в начальный период их су-

ществования. В дальнейшем, по мере старения кратера, лучевые системы, по-видимому, тускнеют и пропадают совсем, поскольку их яркость уравнивается с яркостью окружающей местности. Примерами, подтверждающими сделанный вывод, могут служить такие крупные кратеры с явными признаками старения, как Лангрэн и Тарунций. В настоящее время лучевые



Рис. 17.

системы этих кратеров слабо выделяются на общем фоне поверхности и имеют по сравнению с другими светлыми лучами существенно меньшую яркость.

Исследования участков светлых лучей при высоком разрешении деталей на местности показывают, что эти образования прежде всего выделяются большим числом вторичных кратеров, возникающих при падении осколков породы, выброшенных из центра лучевой системы. Отмечены также многочисленные раздробленные фрагменты и присутствие тонкого слоя более светлого вещества. На снимках отдельных лучевых кратеров можно наблюдать вблизи вала венец из радиально-струйчатых элементов рельефа, переходящих затем в радиальные элементы самих

лучей. Все эти особенности природы лучевых систем на Луне говорят о том, что своим происхождением описанные образования обязаны выбросам при возникновении ударного кратера, Меньшая сила тяжести и отсутствие тормозящей среды (воздуха) позволяют продуктам выброса разлетаться на очень большие расстояния по поверхности Луны.

На видимом полушарии Луны отмечены ассоциации кратеров, которые принято называть цепочками. Предполагают, что кратеры в цепочках имеют общее происхождение, возможно, связанное с тектоническими нарушениями коры и разломами.

Особенно интересны гигантские кратерные цепочки в районе Моря Восточного. Основной особенностью их является четко выраженная направленность по отношению к центральной части этого многокольцевого бассейна. Основной размер кратеров в цепочках составляет около 25—30 км. Всего обнаружено около двенадцати цепочек и разломов, вдоль которых тянутся цепочки кратеров. Наиболее протяженные образования находятся в северо-западном направлении. Кратерная цепочка «ГДЛ» (Газо-динамическая лаборатория; названия крупнейшим кратерным цепочкам этой системы присвоены в честь первых советских организаций, создававших научную и техническую основу для космических исследований) имеет протяженность около 1500 км, цепочки «ГИРД» (Группа изучения реактивного движения) и «РНИИ» (Реактивный научно-исследовательский институт) — более 600 км.

Кроме кольцевых структур различных размеров, распространенным элементом лунного рельефа являются линейные образования в виде возвышенностей — валов или гряд — и понижений — трещин, борозд и долин.

Линейные структуры планетарного масштаба многие исследователи считают проявлением лунного тектонизма. Системы борозд и трещин в виде радиальных и концентрических структур наблюдаются также и в масштабах отдельных кратеров. Наиболее часто местные разломы и трещины встречаются в кратерах с затопленным дном.

Все формы рельефа перекрыты рыхлым слоем раздробленных пород — реголитом, состоящим из

обломков различного размера, включая тонкую пылевидную фракцию.

На рис. 18 приведен фрагмент панорамы лунной поверхности, полученной с борта самоходного аппарата — лунохода. Изображение дает полное пред-

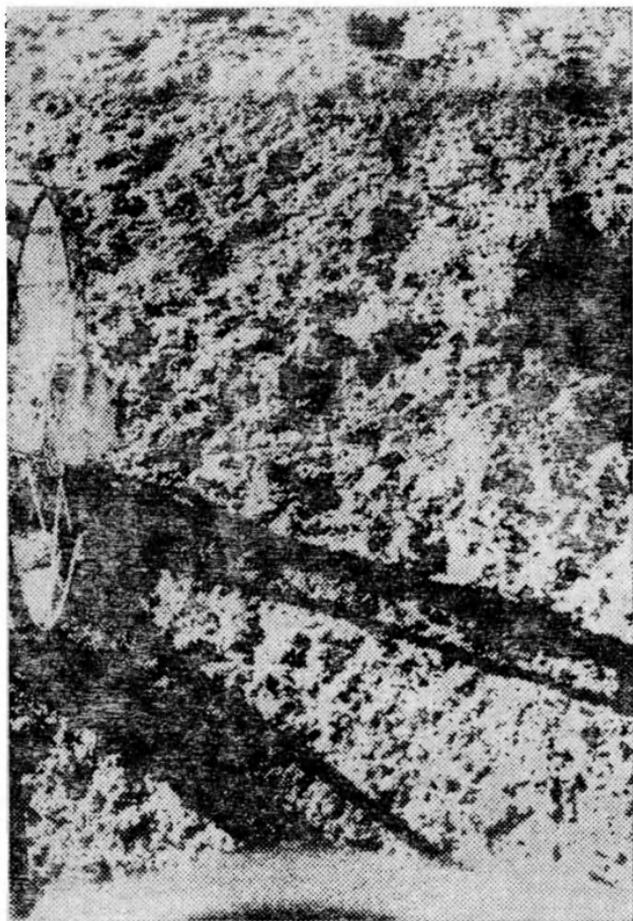


Рис. 18.

ставление о типичном внешнем виде реголита лунной поверхности.

В зависимости от строения местности мощность реголита меняется. В понижениях и у подножий склонов слой реголита может достигать нескольких десятков метров. На вершинах и на склонах мощность реголита, по-видимому, мала и составляет всего несколько десятков сантиметров или еще меньше.

В среднем обломочный слой тоньше в морских областях и более значителен в материковых.

Формируется реголит в основном под влиянием кратерообразующих ударных процессов и микрометеоритной эрозии.

Крупнообломочный материал — камни, входящие в состав реголита, распределены по поверхности неравномерно. Наибольшая плотность распределения камней наблюдается в пределах зоны выбросов вокруг ударных кратеров. По мере старения реголита количество крупных обломков резко падает и возрастает доля измельченного материала.

В общем случае мелкозернистая часть реголита находится в рыхлом состоянии, образуя поверхностный слой, пористость которого в зависимости от характера местности составляет от 32 до 58%.

### 3. СЕЛЕНОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Положение деталей рельефа на лунной поверхности определяется прямоугольными или сферическими координатами. Центр прямоугольной системы координат относят либо к центру фигуры, либо к центру масс Луны. Оси  $\zeta(x)$  и  $\xi(y)$  лежат в плоскости лунного экватора, при этом ось  $\zeta$  направлена к Земле (в центр видимого полушария), а ось  $\xi$  — к востоку (в сторону Моря Кризисов). Ось  $\eta(z)$  направлена вдоль оси вращения Луны.

Традиционная ориентация сторон света на Луне основывалась на практике наземных наблюдений. В телескоп мы видим перевернутое изображение лунного диска. Северная часть его — область Моря Холода располагается внизу, а южная — вверх. Карты видимого полушария Луны для удобства использования непосредственно в процессе визуальных наблюдений печатались также с перевернутым изображением диска. Восточным назывался край диска, обращенный к точке восхода Луны, т. е. к востоку для земного наблюдателя. Соответственно западным считался край, обращенный в сторону точки захода, т. е. к западу.

С развитием астрономической фотографии и началом космических исследований Луны подобная система обозначений стала вносить существенные трудности и путаницу в практику создания лунных карт.

Поэтому Международный астрономический союз в 1961 г. принял решение об ориентации сторон света на Луне, которая аналогична земной и соответствует точке зрения наблюдателя, находящегося на лунной поверхности. В отличие от традиционной астрономической ориентации сторон света на Луне, в современной лунной картографии север располагают вверху, юг — внизу, восток — справа, запад — слева, так же, как это делается на земных картах.

В сферической системе селенографических координат долготы  $\lambda$  отсчитываются от нулевого меридиана. Нулевым меридианом традиционно считается тот, который проходит через центр видимого диска Луны (при наблюдении с Земли) в момент, когда Луна находится одновременно на линии узлов и на линии апсид своей орбиты. При таких условиях значения оптической либрации равны нулю. Положительное направление отсчета долгот идет к востоку. В лунной картографии используются два варианта оцифровки меридианов — от  $0^\circ$  до  $360^\circ$  или от  $0^\circ$  до  $+180^\circ$  к востоку и до  $-180^\circ$  к западу. Долгота определяется двугранным углом между плоскостью нулевого меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через деталь рельефа, положение которой надо определить.

Селенографические широты  $\beta$  измеряются длиной дуги вдоль меридиана и отсчитываются от экватора к северу (со знаком плюс) и к югу (со знаком минус). Так как фигура Луны с достаточной точностью представляется сферой, значения широт, измеряемые длиной дуги меридиана и центральным углом, равны между собой.

Прямоугольные и сферические селенографические координаты связаны формулами

$$\zeta = \rho \cos \lambda \cos \beta,$$

$$\xi = \rho \sin \lambda \cos \beta,$$

$$\eta = \rho \sin \beta,$$

где  $\rho$  — селеноцентрический радиус-вектор детали на поверхности. На практике в качестве поверхности относимости часто используют сферу радиусом  $R_{\zeta} = 1738$  км. Если в дополнение к координатам  $\lambda$  и  $\beta$  использовать высоту  $H$  над уровнем средней сферы,

то радиус-вектор детали на физической поверхности Луны выразится следующей суммой величин:

$$\rho = R_{\zeta} + H.$$

Положение плоскости лунного экватора и оси  $\zeta$ , направленной в центр видимого полушария, через который проходит нулевой меридиан, определяется системой углов  $l$ ,  $b$ ,  $P$ , именуемый физическими координатами Луны. Величины  $l$  и  $b$  представляют собой значения оптической либрации по долготе и широте соответственно, а  $P$  — позиционный угол при

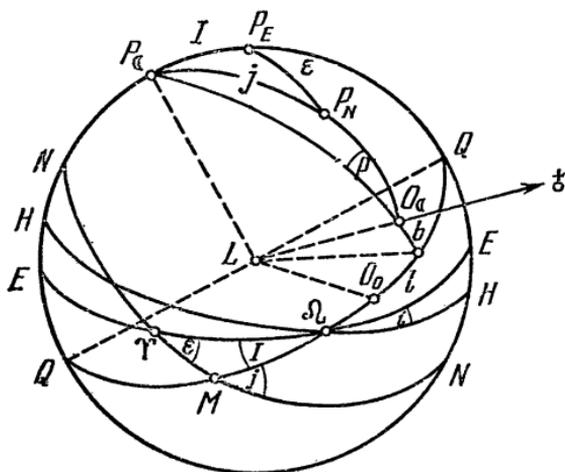


Рис. 19.

центре видимого диска Луны, отсчитываемый на небесной сфере от северного направления круга склонений к востоку (против часовой стрелки).

Система основных кругов и направлений, связанных с селенографическими координатами, показана на рис. 19. На селеноцентрической сфере центр видимого диска обозначен  $O_{\zeta}$ ,  $LO_0$  — первый радиус (ось  $\zeta$ ),  $O_0$  — центр видимого полушария при нулевых значениях  $l$  и  $b$ ,  $L$  — центр Луны,  $QQ$  — лунный экватор,  $P_{\zeta}$  — северный полюс Луны,  $EE$  — эклиптика,  $P_E$  — северный полюс эклиптики,  $NN$  — небесный экватор (в земной экваториальной системе астрономических координат),  $P_N$  — северный полюс мира,  $HH$  — плоскость орбиты Луны,  $\Upsilon$  — точка весеннего равноденствия,  $\Omega_0$  — восходящий узел лунного экватора на эклиптике, который совпадает с нис-

ходящим узлом лунной орбиты,  $I$  — угол наклона лунного экватора к эклиптике,  $j$  — угол наклона лунного экватора к небесному экватору,  $i$  — угол наклона лунной орбиты в эклиптике,  $\epsilon$  — угол наклона небесного экватора к эклиптике.

В системе астрономических постоянных, установленной Международным астрономическим союзом в 1976 г., величины углов  $I$  и  $\epsilon$  имеют следующие значения:

$$I = 1^{\circ}32'32'',7,$$

$$\epsilon = 23^{\circ}26'21'',448.$$

Величина угла наклона лунной орбиты к эклиптике, используемая в теории движения Луны, составляет

$$i = 5^{\circ}08'43'',4.$$

Эти значения позволяют по соотношениям в сферических треугольниках на рис. 19 вычислить величины оптической либрации и позиционного угла на момент наблюдений. На практике достаточна точность, с которой значения  $l$ ,  $b$  и  $P$  даются в таблицах Астрономических ежегодников. Располагая этими данными, можно для заданного момента построить систему параллелей и меридианов на видимом диске Луны.

Исходным пунктом всех селенодезических систем координат на Луне служит небольшой четкий кратер вблизи центра видимого полушария Местинг А, имеющий диаметр около 15 км. Его координаты, полученные в результате длительных измерений, равны

$$\lambda = -5^{\circ}09'53'',$$

$$\beta = -3^{\circ}10'41''$$

при точности по долготе  $\pm 5''$  и по широте  $\pm 4''$  ( $\pm 35$  —  $40$  м на поверхности Луны) по внутренней сходимости. Расхождения между несколькими независимыми рядами измерений достигают примерно  $3'$ .

На поверхности Луны системы селенографических координат закреплены сетями опорных пунктов, данные о которых содержатся в селенодезических каталогах.

#### 4. ЛУННАЯ КАРТОГРАФИЯ

Прежде чем приступить к созданию карты, надо построить изображение поверхности сферы на плоском листе. Эту задачу решает математическая картография с помощью учения о проекциях.

В картографии, в том числе и в лунной картографии, применяются различные виды проекций, позволяющие представить сферу на плоскости.

Непосредственное проектирование сферы на плоскость из одной точки составляет основу так называемых перспективных проекций. Если центр проектирования находится в произвольной точке пространства, проекция будет носить название внешней. При удалении центра проектирования в бесконечность (проектирование точек сферы на плоскость параллельными линиями) получим ортографическую проекцию. В этой проекции часто строились мелкомасштабные карты видимого полушария Луны.

Азимутальная проекция сферы строится на секущей или касательной к шару плоскости. В зависимости от того, каким путем на эту плоскость переносятся изображения точек поверхности сферы, проекция может без искажений передавать углы и формы контуров или соотношение площадей.

Изображение со сферы можно перенести на поверхность цилиндра, касательного к шару или секущего. Если этот цилиндр развернуть в плоскость, то получим изображение сферической поверхности в цилиндрической проекции. Цилиндрическая проекция, в которой без искажений передаются углы, носит название проекции Меркатора.

Вспомогательной поверхностью может служить также круглый конус, ось которого совпадает с осью проектируемой сферы. Равноугольная (не искажающая углы и контуры) коническая проекция называется проекцией Ламберта.

Процесс создания лунных карт начинается построением фотокарт, т. е. нанесением сетки селенографических координат на получаемые снимки Луны.

Современная лунная картография наиболее часто имеет дело с исходными изображениями, которые содержат значительные территории поверхности лунного шара. Поэтому подобный лунный снимок

представляет собой плоское изображение сферы в перспективной проекции. Точки сферической поверхности в этом случае переносятся на плоскость по законам линейной перспективы. Центр проектирования находится на продолжении диаметра сферы, перпендикулярного к картинной плоскости. В картографии такой вид изображения носит название внешней перспективной проекции с позитивным изображением. На рис. 20 показана схема построения изображения в названной проекции. Буквами здесь обозначены:  $O$  — центр проектируемой сферы,  $R$  — ее радиус,  $A, B, C$  — точки ее поверхности,  $z, z_0$  — зенитные расстояния точек  $A$  и  $C$ ,  $S$  — центр проектирования,  $KK$  — картинная плоскость (плоскость снимка),  $A', B', C'$  — проекции точек  $A, B, C$  на картинную плоскость. Согласно схеме имеем

$$\frac{AA_0}{A'B'} = \frac{SA_0}{SB'}.$$

Обозначив радиус-вектор  $A'B' = \rho$ , получим

$$\frac{R \sin z}{\rho} = \frac{D - R \cos z}{L},$$

где  $D = OS$  — расстояние между центром сферы и «точкой глаза» (центром проектирования),  $L = SB'$  — расстояние от картинной плоскости до центра проектирования, которое составляет  $L = D - R$ . Вводя величину  $k = \frac{D}{R}$  и полагая, что  $L$  — задаваемый масштабный множитель, выраженный в линейной мере, получим систему полярных плоских координат

$$\rho = \frac{L \sin z}{k - \cos z}, \quad \delta = a.$$

Радиус-вектор проектируемой точки откладывается вдоль направления  $\delta$ , задаваемого азимутом  $a$ , который отсчитывается от центрального меридиана, проходящего через точку  $B$ .

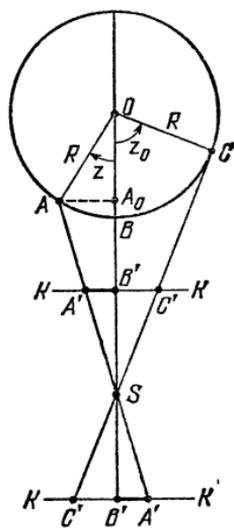


Рис. 20.

Значение  $z_0$ , которое задает угловые параметры проекции, определяется величиной

$$\cos z_0 = \frac{1}{k},$$

а радиус-вектор, ограничивающий проекцию, равен

$$\rho_0 = r \operatorname{tg} \frac{z_0}{2},$$

где  $r$  — радиус проектируемой сферы в масштабе изображения.

На практике удобнее пользоваться плоскими прямоугольными координатами. Формулы прямоугольных координат текущей точки поверхности снимка имеют вид

$$x = \frac{L (\cos \beta_0 \sin \beta - \sin \beta_0 \cos \beta \cos \lambda')}{k - (\sin \beta_0 \sin \beta + \cos \beta_0 \cos \beta \cos \lambda')},$$

$$y = \frac{L \cos \beta \sin \lambda'}{k - (\sin \beta_0 \sin \beta + \cos \beta_0 \cos \beta \cos \lambda')}.$$

где  $\beta_0$  — селенографическая широта точки съемки (центра проектирования),  $\beta$  — селенографическая широта точки поверхности,  $\lambda' = (\lambda_0 - \lambda)$  — разность селенографических долгот точки съемки и определяемой точки лунной поверхности.

Если внешняя перспективная позитивная проекция используется в случае наземных наблюдений, то расстояние  $D$  с достаточной точностью можно представить выражением

$$D = \frac{a_0 (1 - \sin p)}{\sin p},$$

где  $a_0$  — средний экваториальный радиус с Земли,  $p$  — горизонтальный параллакс Луны, значения которого приводятся в таблицах Астрономического ежегодника. По малости величины  $p$  формулу можно упростить, выразив  $p$  в радианной мере

$$D = \frac{a_0 (1 - p)}{p}.$$

Значения  $\lambda_0$  и  $\beta_0$  для случая наземной съемки численно равны величинам либрации по долготе и широте на момент наблюдений.

Располагая снимками с нанесенной сеткой координат, можно построить карту практически в любой картографической проекции, используя механические

методы трансформирования изображения, либо перенося рисунок рельефа от руки.

Рисованные карты по сравнению с фотокартами открывают более широкие возможности применения различных картографических проекций, которые подбираются в зависимости от целей и задач составления каждой конкретной карты. Из наиболее употребительных в лунной картографии следует упомянуть проекции Меркатора и Ламберта, в которых составлено большинство существующих карт Луны.

В проекции Меркатора параллели и меридианы изображаются прямыми линиями, перпендикулярными друг другу. Градусное деление вдоль параллелей (по долготе) равномерно. Длина отрезка, соответствующего одному градусу широты вдоль меридианов, к полюсам возрастает. Поэтому проекция Меркатора применяется для отображения территорий, расположенных вблизи экватора. Для изображения областей, относящихся к средним широтам Луны, используют проекцию Ламберта. Меридианами в этой проекции служат прямые, сходящиеся в одной точке и пересекающиеся под углами, пропорциональными разности соответствующих долгот. Параллели — дуги окружностей с общим центром в точке пересечения меридианов. Полярные области Луны изображаются в азимутальных проекциях разного типа.

На рисованных картах рельеф — основное содержание общеселенографических карт — изображается методом «отмывки», т. е. полутонным рисунком. Обычно для рисованных карт условно принимают одинаковые условия освещения при изображении основных деталей рельефа. В большинстве случаев угол падения солнечных лучей условно составляет  $60^\circ$  при западном или восточном направлении освещения. Более пологие формы изображаются при большем угле падения лучей с тем, чтобы выявить их характерные особенности, заметные только при низком Солнце. Детали, выделяющиеся по яркости, такие, например, как светлые лучи, изображаются в условиях освещения, близких к полнолунью, т. е. при малых углах падения солнечных лучей.

Кроме сетки селенографических координат, изображения рельефа и сведений об отражательной способности деталей рельефа, передаваемых светлым или темным тоном рисунка, лунные карты содержат

подписи наименований объектов и в отдельных случаях сведения по гипсометрии, т. е. значения высот форм рельефа.

Подписи наименований лунных объектов в содержании селенографических карт имеют более важное значение, чем просто система названий. Помимо того, что названия помогают ориентироваться на поле карты и отождествлять искомые объекты, система лунных наименований включает в себе также некоторую морфологическую классификацию объектов. Каждое название образований на Луне состоит из номенклатурного термина и собственного имени. Например: кратер Циолковский, Море Ясности, Долина Шретера и т. п. Следовательно, вместе с названием детали на карте можно прочитать ее краткую природную характеристику (кроме кратеров).

Принципы присвоения индивидуальных имен образованиям лунной поверхности с учетом существовавших традиций и современной тенденции развития лунной номенклатуры в основном были сформулированы на XI Генеральной ассамблее Международного астрономического союза (1962 г.)

Протяженные образования, которые можно отнести к одному из понятий: океан, море, озеро, залив, получают латинизированные названия, имеющие эмоциональный характер. Традиционно сохранившиеся названия с современной точки зрения являются абстрактными, хотя в свое время (XVII век) отражали широко распространенные заблуждения относительно влияния Луны на погоду (Море Дождей, Море Ясности), вероятно, астрологические верования (море Кризисов, Море Изобилия, Море Спокойствия) и т. д. Наша эпоха утверждает новую традицию в наименовании обширных областей лунной поверхности, согласно которой в названиях отражаются этапы развития человеческой цивилизации и прежде всего прогресс в исследовании Луны: Море Москвы, Море Познанное, Море Мечты, Залив Лунника и т. д.

Горные массивы получают латинизированные названия, соответствующие географическим названиям гор на земле: Алтай, Альпы, Кавказ, Перенеи и т. д.

Кратеры называются именами астрономов или выдающихся ученых других специальностей посмертно

но. Согласно договоренности, общим правилом планетной номенклатуры является условие не использовать имена политических или религиозных деятелей, полководцев и философов XIX и XX вв.

Традиции в наименовании кратеров, утвердившиеся в отношении видимого полушария, а затем перенесенные на обратное полушарие Луны, превратили ее в своеобразный интернациональный пантеон науки.

Отдельные горные вершины-пики и мысы получают наименования по тем же правилам, что и кратеры. Борозды, долины и кратерные цепочки называются по близлежащему кратеру. Исключение сделано для уже упоминавшихся трех гигантских цепочек на обратной стороне Луны, которые, кроме традиционно образованного названия по ближайшему кратеру, имеют собственные наименования (ГДЛ, ГИРД, РНИИ).

Данные о гипсометрии включают в содержание карт как дополнительную количественную характеристику рельефа. На общеселенографических картах гипсометрия представляется в виде отдельных отметок высот или горизонталями (линиями равных высот), если требуется дать подробное числовое описание рельефа.

В последние годы были разработаны принципы определения наиболее рациональных масштабов лунных карт. Например, рекомендации по составлению лунных карт, выдвинутые совместно советскими и американскими специалистами, содержат следующий масштабный ряд: 1 : 5 000 000, 1 : 1 000 000, 1 : 250 000, 1 : 50 000, 1 : 10 000. В отдельных случаях, если того требуют конкретные научные задачи, конечно, используются и более крупные масштабы.

## 5. АТЛАСЫ И КАРТЫ ЛУНЫ

Лунные атласы представляют собой, как правило, комплект фотографий, размноженных типографским способом и сопровождаемых краткими пояснениями. Примером может служить «Фотографический атлас Луны», составленный под руководством известного американского ученого Дж. Койпера в 1960 г. В атласе собраны фотографии, полученные при наилучших условиях в крупнейших обсерваториях мира. Этот ат-

лас демонстрирует предел возможностей наземных фотографических наблюдений Луны.

Снимки невидимого с Земли полушария и результаты их научного анализа собраны в трехтомном «Атласе обратной стороны Луны», составленном под руководством Ю. Н. Липского в нашей стране. Тома атласа выходили в издательстве «Наука» в 1960, 1967 и 1975 гг. Но издания подобного типа выпускаются обычно небольшими тиражами и рассчитаны на относительно узкий круг специалистов.

Любителям астрономии более доступны карты и глобусы Луны, издаваемые массовыми тиражами. К настоящему времени в СССР и за рубежом подготовлены и выпущены в свет несколько десятков различных лунных карт. Некоторые из этих изданий являются многолистными сериями.

В нашей стране в 1967 г. издательством «Наука» была выпущена «Фотографическая карта видимого полушария Луны» в масштабе 1 : 5 000 000, с достаточной подробностью и наглядностью передававшая рельеф обращенного к Земле лунного полушария.

Первой картой, отображавшей всю лунную поверхность, была «Полная карта Луны» масштаба 1 : 5 000 000, изданная в СССР в 1967 г. под научным руководством Ю. Н. Липского. В 1979 г. вышло в свет существенно уточненное и дополненное третье издание этой карты. Фрагмент ее показан на рис. 21. Изображение поверхности построено по наземным снимкам и снимкам, полученным космическими аппаратами серии «Зонд», «Лунар орбитер» и с борта космических кораблей «Аполлон». Карта состоит из девяти листов. Полярные области изображены на отдельных листах. Карта содержит также практически полный список лунных наименований в русском и латинском написании. В том же году вышел уменьшенный вариант «Полной карты Луны» в масштабе 1 : 10 000 000. Аналогичные карты были выпущены в разное время и в США.

Хороший обзор строения лунной поверхности представляет карта полушарий Луны, составленная в масштабе 1 : 10 000 000 на шести листах известным чехословацким картографом А. Рюклом. Карта была издана в Праге в 1972 г. Любителям астрономии можно порекомендовать атлас «Луна, Венера и

Марс», составленный тем же автором (Прага, 1976). Оба издания в свое время распространялись в нашей стране через книжный магазин «Дружба» и имеются в библиотеках.

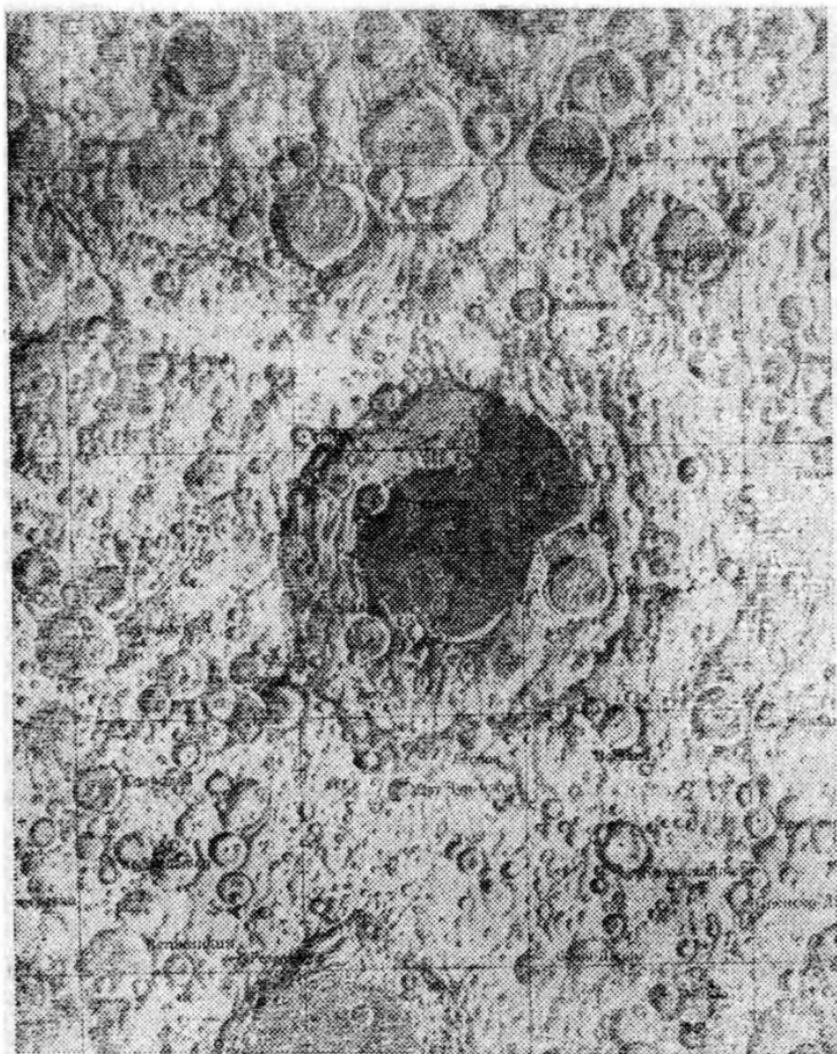


Рис. 21.

Наглядное представление о строении поверхности лунного шара дают глобусы. В СССР и США издано несколько вариантов этих уменьшенных копий Луны. Первый глобус, на котором было отображено также

и обратное полушарие Луны, был подготовлен в нашей стране в 1961 г.

В 1980 г. вышло в свет четвертое издание этого глобуса, дополненное и уточненное. Основной масштаб отечественных глобусов составляет 1 : 10 000 000. Изображение рельефа передано полутонным рисунком с сохранением манеры отображения и цветовой гаммы «Полной карты Луны». На глобусе нанесена десятиградусная сетка параллелей и меридианов и приводятся наименования наиболее крупных или чем-либо выделяющихся деталей рельефа.

### ГЛАВА III

## АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

### 1. ОТРАЖЕННОЕ И СОБСТВЕННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ ЛУНЫ

Астрономические методы исследования физических свойств лунной поверхности являются дистанционными и используют лунное излучение, состоящее из двух основных компонентов — отраженного и собственного.

Отраженное излучение Луны состоит из солнечной радиации, рассеянной лунной поверхностью. Это излучение относится в основном к видимой области спектра.

В общем случае свет, отраженный планетой, оценивается величиной блеска — освещенностью, которую светило создает в точке наблюдения. Величина освещенности пропорциональна площади видимого диска планеты и солнечной освещенности на расстоянии планеты от Солнца и обратно пропорциональна квадратам расстояний от Солнца и от наблюдателя.

Кроме того, величина блеска планеты зависит от отражательной способности поверхностного вещества и соотношения освещенной и затененной частей видимого диска, т. е. фазы планеты.

Для случая Луны расстояние от Солнца составляет 1 астрономическую единицу, и формулу для освещенности, создаваемой Луной в точке наблюдения, можно записать так:

$$E_{\zeta} = \rho_{\zeta} \frac{R_{\zeta}^2}{L^2} E_{\odot} f(\alpha),$$

где  $R_{\zeta}$  — радиус Луны,  $L$  — ее расстояние от наблюдателя,  $E_{\odot}$  — солнечная освещенность,  $p_{\zeta}$  — геометрическое альbedo, показывающее, какую часть падающего солнечного излучения отражает в сторону наблюдателя лунная полусфера по сравнению с плоским идеальным отражателем,  $f(\alpha)$  — фазовая функция, которая нормируется так, что при фазовом угле  $\alpha = 0^{\circ}$  функция  $f(\alpha) = 1$ .

Величина  $E_{\zeta}$  измеряется либо в энергетических единицах  $\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с}$ , либо в звездных величинах. В последнем случае звездная величина Луны равна

$$m_{\zeta} = -2,5 \lg E_{\zeta}.$$

Приведенное выражение для  $E_{\zeta}$  описывает отраженное излучение Луны во всем диапазоне входящих в него длин волн, т. е. полный, или интегральный поток. Однако этим же выражением можно воспользоваться для того, чтобы описать отдельные монохроматические потоки, относящиеся к определенным интервалам длин волн, и по величинам  $E_{\lambda}$  построить распределение энергии в спектре отраженного лунной поверхностью излучения.

На рис. 22 кривая *I* показывает распределение энергии в спектре солнечного излучения, падающего на лунную поверхность в диапазоне от рентгеновского до инфракрасного. Величина  $E_{\lambda}$  дана в единицах  $\text{Дж/см}^2 \cdot \text{с}$  на интервал длин волн, составляющий 1 мкм. Отдельные детали в спектре солнечного излучения сглажены.

Кривая *II* показывает распределение энергии в спектре отраженного Луной солнечного излучения. Вид этой кривой в основном повторяет распределение энергии в солнечном спектре. Однако на ее характере сказываются особенности спектрального геометрического альbedo Луны, которое резко падает с уменьшением длины волны. Поэтому величина отраженного излучения в ультрафиолетовой области быстро изменяется до минимальных значений. Максимум отраженного излучения приходится на  $\lambda \approx 0,6$  мкм, тогда как максимум излучения в солнечном спектре находится вблизи  $\lambda = 0,47$  мкм. Таким образом, отраженный лунной поверхностью свет приобретает несколько красноватый оттенок по сравнению с солнечным светом.

Низкая общая отражательная способность лунного покровного вещества приводит к тому, что около 90 % падающей солнечной радиации поглощается и переходит в тепло. В результате этого Луна имеет собственное тепловое излучение в инфракрасной области спектра и частично в радиодиапазоне длин

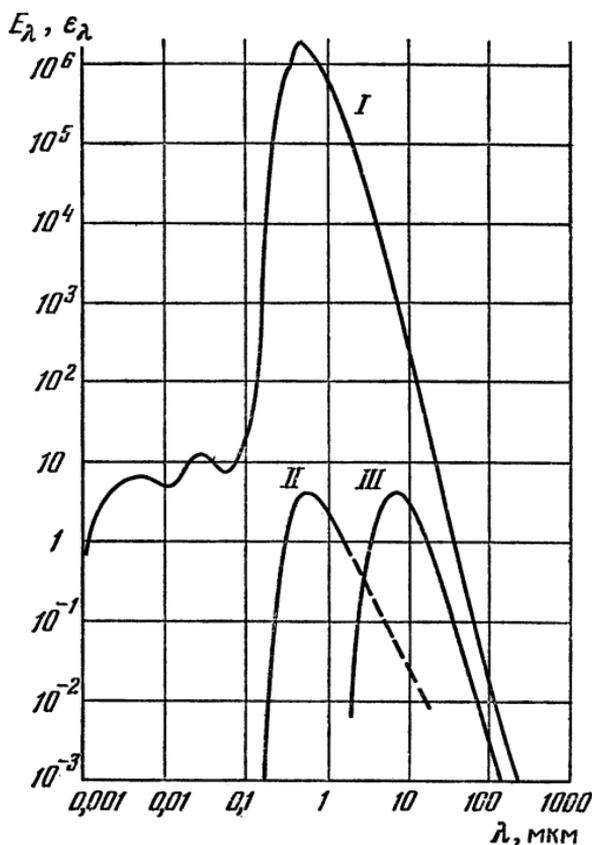


Рис. 22.

волн. Собственное излучение Луны можно представить кривой, рассчитанной по известной формуле Планка при температуре  $T = 400 \text{ K}$  (в подсолнечной точке освещенного полушария Луны). Такое распределение энергии  $\epsilon_\lambda$  в спектре собственного излучения Луны показано на рис. 22 кривой III. Коэффициент излучения лунной поверхности при этом принимался близким к единице.

Сопоставляя кривые II и III, следует обратить внимание на то, что при оценке величины отраженного излучения в видимой области спектра можно не

принимать во внимание вклад собственного излучения в этой области из-за его малости. Максимум собственного излучения Луны лежит в области около  $\lambda = 7$  мкм. Правая ветвь кривой III в действительности может быть продолжена и далее по шкале  $\lambda$  в область радиоволн. Однако в радиодиапазоне собственное излучение Луны очень мало.

В коротковолновой части спектра (менее 0,01 мкм) наблюдается рентгеновское флуоресцентное излучение лунного грунта. Лунная поверхность испускает также гамма-излучение, часть которого, вероятно, вызвана воздействием космических лучей, а другая часть возникает в результате распада в лунных породах естественных радиоактивных элементов (калия-40, изотопов урана и тория). Но, как можно судить по кривой II на рис. 22, излучение Луны в коротковолновой части спектра также имеет низкий энергетический уровень, поэтому может регистрироваться с удовлетворительным разрешением только в непосредственной близости от лунной поверхности.

## 2. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ЛУНЫ

При выполнении интегральной фотометрии измеряются и исследуются световой поток, отраженный всей освещенной частью видимого полушария Луны, и изменения величины этого потока в зависимости от фазы. Отношение светового потока  $F$ , рассеиваемого всем освещенным полушарием Луны во всех направлениях, к падающему потоку солнечного излучения  $F_0$  называется сферическим альбедо

$$A_{\zeta} = \frac{F}{F_0}.$$

Падающий световой поток равен произведению солнечной освещенности на площадь видимого диска

$$F_0 = \pi R_{\zeta}^2 E_{\odot}.$$

Выражение для отраженного светового потока  $F$  сложнее, поскольку приходится учитывать изменяющуюся площадь освещенной части видимого диска в зависимости от фазы. Этот учет осуществляется введением интеграла фазовой функции. Следует учесть также отражательную способность поверхности, что достигается введением в формулу для  $F$

величины геометрического альbedo. Окончательно выражение для отраженного потока имеет вид

$$F = 2\pi R_{\zeta}^2 p_{\zeta} E_{\odot} \int_0^{\pi} f(\alpha) \sin \alpha d\alpha.$$

Подставив оба выражения в формулу для  $A_{\zeta}$ , получим

$$A_{\zeta} = p_{\zeta} 2 \int_0^{\pi} f(\alpha) \sin \alpha d\alpha.$$

Удвоенный интеграл в этой формуле называется фазовым. Величина фазового интеграла определяется по фазовой кривой Луны, дающей изменения интегрального блеска с изменением фазового угла  $\alpha$ . Обычно фазовый интеграл обозначается через  $q$  и выражение для сферического альbedo приобретает простой вид

$$A_{\zeta} = p_{\zeta} \cdot q,$$

где  $p_{\zeta}$  — геометрическое альbedo, определение которого было приведено выше. Величины, входящие в приведенную формулу, описывают излучение от всей освещенной части лунного диска, когда измеряется блеск Луны как точечного объекта.

Блеск Луны в полнолуние характеризуется звездной величиной  $m_{\zeta}$ . Освещенность, создаваемая полной Луной на расстоянии от нее до Земли, носит название световой постоянной Луны  $E_{\zeta}$  и выражается в люксах. Перечисленные выше величины являются лунными фундаментальными фотометрическими постоянными, поскольку определяют всю систему измерений отраженного излучения Луны. С Земли прямым путем они не могут быть измерены, поскольку, как известно, истинное полнолуние с поверхности нашей планеты не наблюдается. Длительные ряды измерений блеска Луны в различных фазах были проведены разными авторами. Наиболее полные и точные измерения провели в свое время Ж. Ружье (1933 г.) и Е. К. Никонова (1949 г.). В. В. Шевченко с помощью измерений хода яркости лунных деталей вблизи истинного полнолуния по космическим снимкам провел редукцию измерений Ружье и Никоновой и получил фотометрические постоянные

Луны в системе истинного полнолуния. Эти значения приведены в таблице 6.

Таблица 6

$m_{\zeta}$	$E_{\zeta}$	$p_{\zeta}$	$q$	$A_{\zeta}$
$-12^m,91$	0,449 лк	0,147	0,509	0,075

Фазовую функцию Луны в значениях звездных величин можно представить выражением

$$m = -12^m,91 + 3,38 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right) - 1,07 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right)^2 + \\ + 0,99 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right)^3,$$

которое очень хорошо воспроизводит реальные изменения блеска обращенного к Земле полушария при различных фазах, задаваемых величиной фазового угла  $\alpha$ .

### 3. АЛЬБЕДО И ФАЗОВЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ЯРКОСТИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ПОВЕРХНОСТИ

В случае детальной фотометрии, когда измеряется световой поток, отраженный отдельным участком лунной поверхности, отражательная способность объектов описывается нормальным альбедо, являющимся аналогом геометрического альбедо применительно к плоскому участку поверхности. Нормальное альбедо определяется отношением яркости рассматриваемой площадки при фазовом угле  $\alpha = 0^\circ$  (когда направления на источник света и на наблюдателя совпадают) к яркости абсолютно белого экрана. В практике фотометрических измерений пользуются относительной величиной яркости, связанной с альбедо, — фактором яркости.

Фактором яркости  $\rho$  называется отношение наблюдаемой яркости площадки лунной поверхности к яркости абсолютно белого экрана, который наблюдается в тех же условиях, но расположен нормально к падающим лучам света. При наблюдении площадки лунной поверхности в условиях полнолуния (фазовый угол равен нулю) фактор яркости  $\rho_0$  равен альбедо.

При изменении ориентации исследуемой площадки лунной поверхности относительно источника света и наблюдателя яркость ее изменяется по закону, определяемому фотометрической функцией. Параметрами, входящими в фотометрическую функцию, являются угол падения  $i$ , угол отражения  $\epsilon$ , азимутальный угол  $A$  между плоскостями, в которых лежат падающий и отраженный лучи, и некоторая величина  $H$ , описывающая особенности строения отражающей поверхности. Физический параметр  $H$  может состоять из целой группы различных величин в зависимости от математической модели отражающей поверхности.

С учетом фотометрической функции яркость наблюдаемой площадки с величиной альбеда можно связать следующим выражением:

$$\rho = \rho_0 \phi(H, i, \epsilon, A).$$

Фотометрическая функция нормирована так, что при фазовом угле, равном нулю (когда  $i = \epsilon = 0^\circ$ ),  $\phi = 1$ . В этом случае наблюдаемая яркость, выраженная фактором яркости, должна быть равной альбедо

$$\rho = \rho_0.$$

Угловые параметры, входящие в фотометрическую функцию, можно вычислить, зная селенографические координаты исследуемой площадки, точки Солнца и наблюдателя (Земли или космического аппарата). Более общим случаем является близкое расположение наблюдателя, соответствующее точке съемки с борта космического аппарата. В отличие от более простых условий наземных наблюдений, геометрия космических съемок должна учитывать различия селеноцентрических и топоцентрических (отнесенных к точке на поверхности) угловых параметров. На рис. 23 показано положение угловых параметров на селеноцентрической сфере:  $i$  — угол падения,  $\epsilon$  — угол отражения,  $A$  — азимут,  $g$  — топоцентрический фазовый угол,  $l$  — фотометрическая долгота,  $\epsilon_c$  — селеноцентрический угол отражения,  $P$  — параллактический угол,  $\alpha$  — селеноцентрический фазовый угол,  $KA$  — положение космического аппарата,  $M$  — текущая точка поверхности,  $O$  — центр селеноцентрической сферы,  $OS$  — направление на Солнце,  $A_p$  — подаппаратная точка (направление  $\overline{O(KA)'} \parallel \overline{M(KA)}$ ),  $C$  — подсолнеч-

ная точка,  $P_{\zeta}$  — лунный полюс,  $\beta_M, \beta_{A_p}, \beta_{\odot}$  — селенографические широты наблюдаемой точки, подаппаратной точки и подсолнечной точки соответственно и

$$\angle MP_{\zeta}A_p = \lambda_M - \lambda_{A_p}, \quad \angle MP_{\zeta}C = \lambda_M - \lambda_{\odot},$$

где  $\lambda_M, \lambda_{A_p}, \lambda_{\odot}$  — селенографические долготы тех же точек.

Решая соответствующие сферические треугольники согласно рис. 23, можно получить следующие

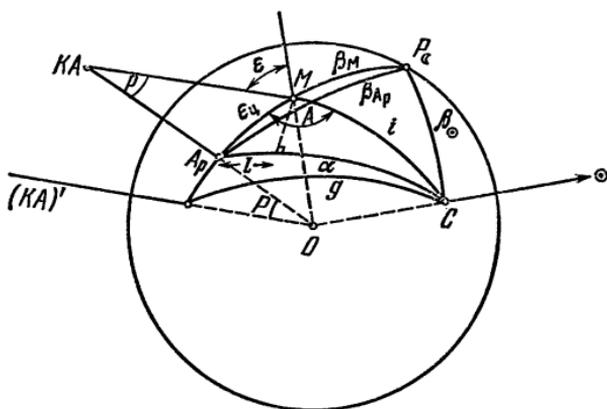


Рис. 23.

выражения, связывающие различные угловые параметры и координаты наблюдаемой точки с учетом положения источника света и наблюдателя:

$$\cos i = \sin \beta_M \sin \beta_{\odot} + \cos \beta_M \cos \beta_{\odot} \cos (\lambda_M - \lambda_{\odot}),$$

$$\cos \epsilon_u = \sin \beta_A \sin \beta_M + \cos \beta_A \cos \beta_M \cos (\lambda_M - \lambda_A),$$

$$\epsilon = \epsilon_u + P,$$

$$\cos \alpha = \sin \beta_{A_p} \sin \beta_{\odot} + \cos \beta_{A_p} \cos \beta_{\odot} \cos (\lambda_{A_p} - \lambda_{\odot}),$$

$$\cos A = \frac{\cos \alpha - \cos \epsilon_u \cos i}{\sin \epsilon_u \sin i},$$

$$\cos g = \cos i \cos \epsilon + \sin i \sin \epsilon \cos A.$$

Создание строгой теории рассеяния света лунной поверхностью оказалось очень сложной задачей. В нашей стране и за рубежом различными авторами было выведено несколько видов аналитических выражений закона отражения света лунной поверхностью. Однако до сих пор не получено теоретического выра-

жения для фотометрической функции, в точности воспроизводящего результаты наблюдений при любом сочетании угловых параметров. Кроме того, имеющиеся формулы довольно сложны и расчеты с их применением без использования соответствующей вычислительной техники затруднительны.

Поэтому на практике удобнее воспользоваться эмпирическим законом отражения, полученным в результате обобщения многочисленных наблюдательных данных. Наиболее наглядным представлением эмпирического закона отражения света лунной поверхностью является индикатриса рассеяния.

Пространственную индикатрису рассеяния, учитывающую отражения света по всем направлениям, можно представить графически поверхностью, которую описывает вектор отраженного излучения (яркости) в области положительных значений при изменении угловых параметров фотометрической функции ( $i, \epsilon, A$ ). На рис. 24 показана схема построения пространственной индикатрисы рассеяния в прямоугольных координатах ( $x, y, z$ ). Плоскость  $xOy$  совпадает с

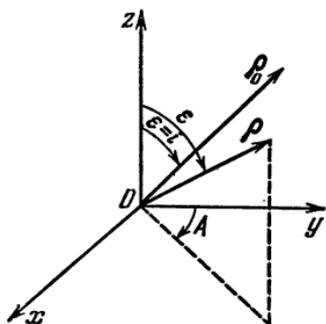


Рис. 24.

отражающей поверхностью, ось  $z$  является нормалью к ней в наблюдаемой точке. Направление падающего луча лежит в плоскости  $zOy$ . При  $\epsilon = i$  и  $A = 0^\circ$ , т. е. когда направления падающего и отраженного лучей совпадают, вектор  $\rho_0$  на рис. 24 является мерой альбедо. Произвольно ориентированный вектор  $\rho$  задает яркость площадки при соответствующих значениях  $i, \epsilon, A$ .

По определению  $\rho_0 > \rho$ . Если исключить влияние альбедо и рассматривать изменения яркости только в зависимости от угловых параметров, то относительная величина  $\rho/\rho_0$  даст численное значение фотометрической функции  $\phi$  для соответствующих условий наблюдения. При  $\epsilon = i, A = 0^\circ$  величина  $\phi = 1$ , а соответствующий ей вектор совпадает с направлением вектора  $\rho_0$ . Во всех остальных случаях вектор  $\phi$  совпадает (при тех же  $i, \epsilon, A$ ) с вектором  $\rho$  по направлению и пробегает значения  $0 < \phi < 1$ .

На рис. 25 показаны кривые для трех значений угла падения ( $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$ ) в плоскостях азимутов, также выбранных с дискретностью  $30^\circ$ , которые позволяют судить об общем виде пространственной индикатрисы рассеяния Луны. В более полном виде индикатриса представлена в Приложении IV для значений угловых параметров, кратных  $10^\circ$ . Углы падения лежат в интервале от  $0$  до  $80^\circ$ , углы отражения — в интервале  $0-90^\circ$  и азимуты изменяются от  $0$  до  $180^\circ$ . Пространственная индикатриса симметрична относительно плоскости, в которой лежит падающий угол, поэтому  $\phi_A = \phi_{360^\circ} - A$ .

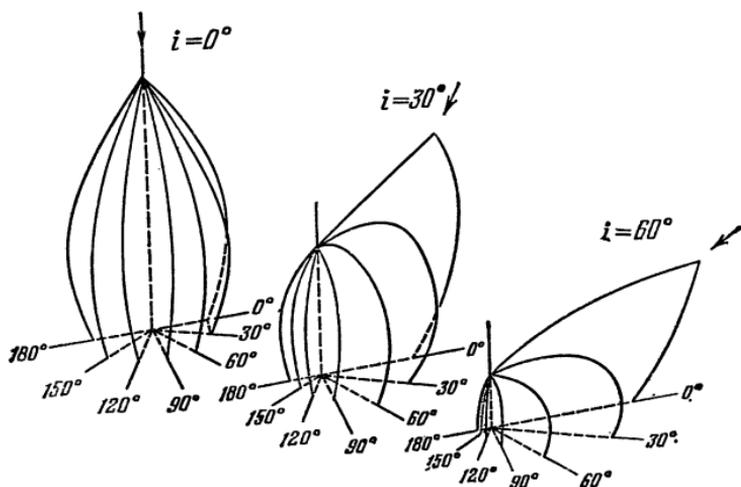


Рис. 25.

Для случая  $i = 0^\circ$  вид индикатрисы одинаков при всех значениях  $A$ . Случай  $\varepsilon = 90^\circ$  можно считать геометрической условностью. Физически это означает изменения яркости лунного лимба для разных  $i$  и  $A$ .

Кривые в плоскости  $A = 0^\circ$  почти совпадают с «плоскими» индикатрисами, полученными Н. С. Орловой, М. Миннартом, Н. П. Барабашовым и др.

Насколько точно описанная индикатриса воспроизводит реально наблюдаемые изменения яркости лунных объектов, можно судить по кривым рис. 26.

Кривая на рис. 26, а получена по таблицам пространственной индикатрисы для одной из площадок, измеренные яркости которых собраны в каталоге, составленном американскими астрономами Дж. Сари и Р. Шортхиллом. Площадка расположена в

морской области. Отдельными точками нанесены результаты наблюдений, перевычисленные в единицы фотометрической функции (вертикальная шкала графика). Яркость изменяется в соответствии с фазовым углом (горизонтальная шкала).

На рис. 26, б то же самое соответствие расчетной кривой изменения яркости и результатов наблюдений показано для случая материкового объекта. Данные

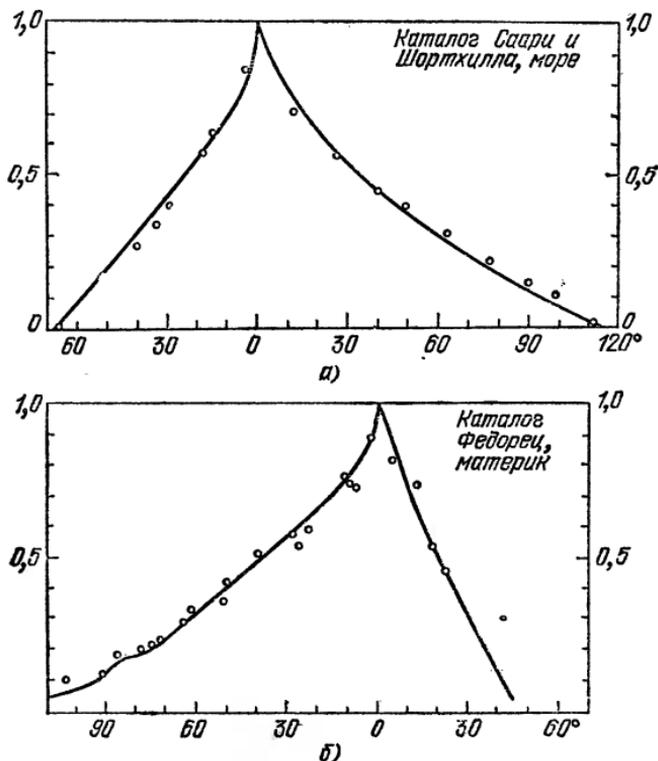


Рис. 26.

наблюдений взяты из каталога В. А. Федорца, составленного в Астрономической обсерватории Харьковского государственного университета.

Как можно убедиться, различия среднего хода яркости, задаваемого пространственной индикатрисой, и реально измеренных величин не превосходят ошибок наблюдений, которые можно оценить по разбросу точек.

Конечно, не все лунные объекты имеют строго один и тот же закон отражения света. Встречаются и отклонения. О причине подобных явлений будет

сказано ниже. Следует только отметить, что фотометрическая однородность лунной поверхности очень велика: в среднем все случаи отклонения от общего закона отражения составляют лишь около 5%.

Особый интерес для рассмотрения фотометрических свойств лунной поверхности представляют изменения яркости при малых фазовых углах. Еще по наблюдениям с Земли было замечено, что при фазовых углах меньше  $2^\circ$  начинается резкое увеличение яркости для всех наблюдавшихся объектов Луны. Полагали, что в полнолуние этот эффект, названный «эффектом оппозиции», достигает максимума. Однако, как уже упоминалось выше, истинное полнолуние с Земли не наблюдается — при фазовых углах меньше

Таблица 7

$g^\circ$	0	1	2	3	4	
$\phi$	1,00	0,954	0,913	0,881	0,867	
$g^\circ$	5	6	7	8	9	10
$\phi$	0,851	0,535	0,82	0,805	0,789	0,775

$1^\circ$  Луна входит в земную тень и наступает затмение. Только результаты фотометрических исследований по космическим съемкам позволили измерить величину эффекта оппозиции при фазовом угле, равном нулю, т. е. в истинное полнолуние. В таблице 7 приведены значения фотометрической функции  $\phi$  для малых фазовых углов вблизи истинного полнолуния.

Эти данные позволяют получать значения альбеда, соответствующие условиям истинного полнолуния, по измерениям яркости при малых фазовых углах. На рис. 27 приведена общая карта альбеда лунного шара, составленная по результатам наземных и космических съемок. Карта покрывает области видимого и обратного полушарий, охватывая около 80% всей территории лунной поверхности. Значения альбеда на карте приведены в процентах отражательной способности. Измерения проводились по площадям (не по отдельным объектам), и распределение альбеда показано системой линий равных значений отражательной способности. Общий диапазон значений альбеда,

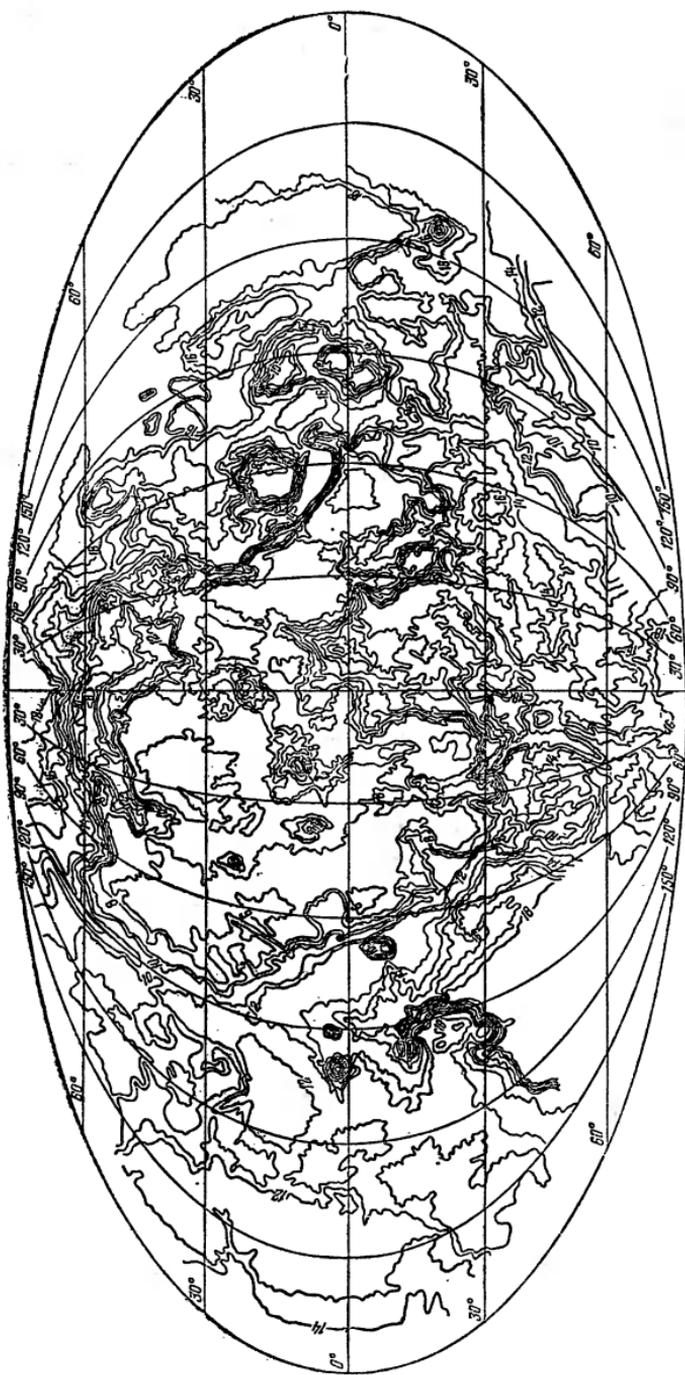


Рис. 27.

приводимых на карте, заключается в пределах от 6 до 18%. Если учесть изменения альbedo отдельных объектов, то общий диапазон значений отражательной способности будет шире. Отдельные площадки темных морских областей имеют альbedo около 5%. Альbedo наиболее ярких кратеров может достигать 25%. Как правило, наиболее яркими являются кратеры с лучевыми системами.

Величина среднего значения альbedo для всей поверхности лунного шара составляет 12,44%. Среднее значение альbedo для морских областей составляет 7,30%, для материковых областей 13,45%.

Следует учесть, что названные значения альbedo относятся к фотометрической системе общей карты альbedo Луны, которая основана на системе каталога абсолютных измерений яркости лунных объектов Н. Н. Сытинской. В случае, когда измерения проводятся в другой фотометрической системе, шкала значений альbedo может быть сдвинута. Для существующих карт альbedo видимого полушария, например, такой сдвиг достигает 2—4%.

#### 4. ИЗМЕНЕНИЕ ОТРАЖАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ЛУНЫ ПО СПЕКТРУ. КОЛОРИМЕТРИЯ

Спектрофотометрические и колориметрические измерения позволяют исследовать интенсивность отраженного излучения в разных участках спектра и ее вариации с длиной волны.

Световой поток от всей Луны или от отдельных деталей поверхности можно разложить в спектр и определить относительную или абсолютную яркость исследуемого объекта в узких интервалах длин волн.

Величина спектрального геометрического альbedo Луны возрастает с длиной волны, как показано в таблице 8.

Таблица 8

$\lambda$ мкм	$U$	$B$	$V$	$R$	$I$
	0,353	0,448	0,554	0,690	0,820
$\rho_\lambda$	0,066	0,088	0,115	0,16	0,17

В общем случае спектр отраженного излучения отдельных деталей поверхности Луны повторяет солнеч-

ный и почти лишен собственных полос. Однако при использовании высокоточных методов наблюдений и в лунных спектрах можно обнаружить и зарегистрировать особенности, отличающие одну область от другой.

В последнее десятилетие усовершенствование методики и аппаратуры обеспечило необходимое спектральное разрешение и точность определения интенсивности отраженного небольшими площадками излучения, что позволило выделять абсорбционные структуры в лунных спектрах. В настоящее время имеется возможность получать кривые спектрального отражения с фотометрической точностью около 1%.

Много лет в этом направлении работал известный американский исследователь Т. Мак-Корд. Им было получено более 200 спектров для различных участков лунной поверхности размером 10—20 км каждый.

Все полученные кривые в основном сходны по виду. Отражательная способность всех исследованных участков возрастает с увеличением длины волны. Практически на всех спектрах вблизи  $\lambda = 0,95$  мкм прослеживается небольшая полоса поглощения. За пределами визуальной области спектра вплоть до  $\lambda = 2,5$  мкм в инфракрасном диапазоне отраженное излучение продолжает увеличиваться. Для многих районов в области  $\lambda = 2,0$  мкм обнаруживается еще одна очень мелкая широкая полоса поглощения.

Для различных участков лунной поверхности отмечены небольшие, но важные изменения в положении и глубине полосы поглощения около 0,95 мкм. Исследования различий в положении и глубине полосы поглощения, а также в наклоне части кривой спектрального отражения, относящейся к видимой и ультрафиолетовой области, привели к выводу, что можно выделить четыре типа кривых. Эти четыре типа спектров относятся к четырем морфологическим видам лунного рельефа: морская поверхность, яркие морские кратеры, материковая поверхность, яркие материковые кратеры.

Спектрофотометрические определения проводятся по отдельным объектам, техника их достаточно сложна, поэтому для изучения больших территорий на поверхности Луны используется более простой метод колориметрии.

Выше упоминалось, что отраженный лунной поверхностью свет должен иметь несколько красноватый оттенок. Однако визуально эта особенность лунного блеска не воспринимается. Подобным же образом глаз практически не различает цветовые особенности отдельных деталей поверхности. Применение обычной цветной фотографии также не дает должного эффекта — лунная поверхность выглядит однотонной.

Различия в окраске отдельных районов обнаруживаются при сопоставлении интенсивности светового потока в участках спектра, разнесенных к краям видимой области. Количественная мера этих различий определяется величиной колор-индекса, или показателя цвета.

Колор-индекс  $C$  является отношением яркостей исследуемой детали в различных длинах волн отраженного излучения:

$$C = \frac{\rho(\lambda_2)}{\rho(\lambda_1)},$$

где  $\lambda_2 > \lambda_1$ .

В классических работах по лунной колориметрии Н. П. Барабашова, А. В. Маркова, Л. Н. Радловой и др. часто использовался показатель цвета в виде

$$C = m(\lambda_1) - m(\lambda_2).$$

В этом случае интенсивность отраженного излучения лунных площадок определялась в шкале звездных величин. При получении показателя цвета обычно принимались стандартные участки спектра: «фотографический» с эффективной длиной волны  $\lambda = 420$  мкм и «визуальный» с эффективной длиной волны  $\lambda = 560$  мкм.

В современных работах при определении колор-индекса выбираются различные области спектра в зависимости от поставленной задачи в конкретном исследовании. Наиболее часто используются участки спектра с эффективными длинами волн  $\lambda = 0,38$  мкм и  $\lambda = 0,62$  мкм. В связи с обнаружением типичной полосы поглощения в лунных спектрах большой интерес представляет измерение колор-индекса

$$C = \frac{\rho(0,95 \text{ мкм})}{\rho(0,75 \text{ мкм})}.$$

Области на Луне, имеющие определенные цветовые особенности, можно выявить путем вычитания плотности двух фотоизображений, одно из которых сделано, например, в ближней ультрафиолетовой части спектра, а другое — в красной.

Наиболее точно подобная операция выполняется с помощью специальных электронно-аналоговых

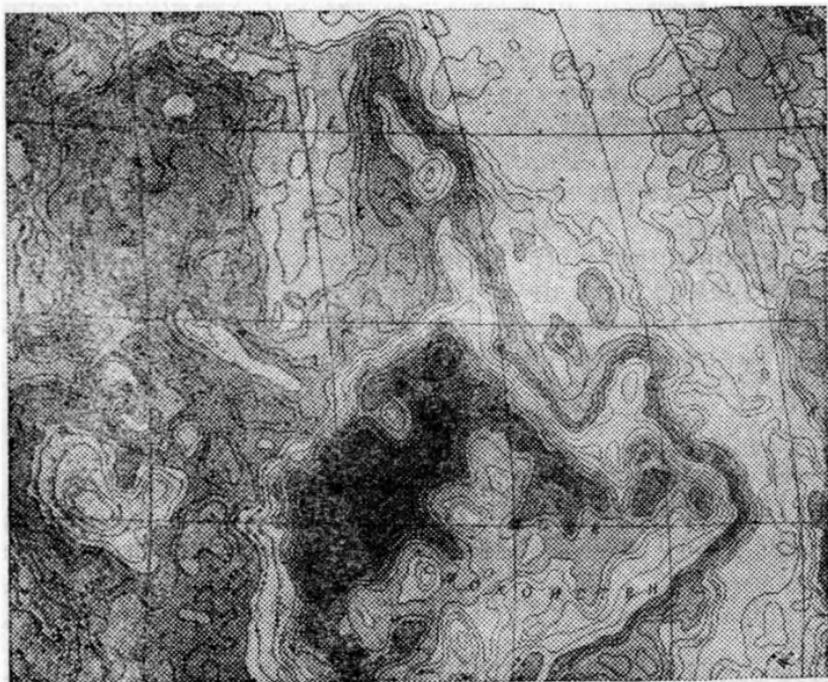


Рис. 28.

устройств, но возможно и простое сложение негатива одного снимка с позитивом другого, если они имеют одинаковую характеристическую кривую. Таким путем были получены многие из существующих в настоящее время карт и фотокарт цвета лунной поверхности.

На рис. 28 приведен фрагмент карты цвета видимого полушария Луны, составленной Н. Н. Евсюковым. При построении этой карты использованы снимки Луны, полученные в участках спектра 0,62 мкм и 0,38 мкм. Изолиниями показаны области равных значений колор-индекса. Общий диапазон встречающихся

ся значений колор-индекса составляет от 1,03 до 1,45.

Подобную съемку поверхности Луны можно назвать также спектрзональной, и в этом отношении описанная методика близка к используемой методике при изучении спектрзональных характеристик земной поверхности по материалам аэрофотосъемки или съемки из космоса.

## 5. ПОЛЯРИЗАЦИЯ ОТРАЖЕННОГО ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ СВЕТА

Давно известно, что свет, отраженный лунной поверхностью, оказывается частично поляризованным. Это значит, что в общем потоке отраженного Луной света, где колебания волн происходят во всех направлениях, выделяется пучок лучей с волновыми колебаниями в одной определенной плоскости.

Поляриметрические измерения позволяют исследовать вариации интенсивности отраженного излучения в зависимости от направления колебаний. Поляризация лунного света линейна и направление колебаний электрического вектора либо перпендикулярно, либо параллельно плоскости наблюдений, т. е. плоскости, в которой лежат падающий и отраженный лучи света.

Величиной, характеризующей поляризационные свойства поверхности, является степень поляризации  $P$ , определяемая отношением

$$P = \frac{I_{\max} - I_{\min}}{I_{\max} + I_{\min}},$$

где  $I_{\max}$  — интенсивность света с колебаниями электрического вектора в плоскости максимальной поляризации,  $I_{\min}$  — интенсивность света с колебаниями в перпендикулярной плоскости.

Измеряемая специальными приборами степень поляризации лунного света зависит от фазы и неодинакова для различных образований на поверхности. Максимум поляризации лунного света наступает при фазовых углах  $100$ — $110^\circ$  и достигает примерно  $P = 6$ — $8\%$  для наблюдений всего освещенного диска Луны. Детальные исследования выявляют различия в поляризации отраженного света для отдельных районов. Типичным является то, что максимум  $P$  для



проходит через анализирующее устройство и поступает на выходной блок, формирующий изображение на телевизионном экране. По желанию наблюдателя окончательное изображение полутоновыми оттенками показывает различия в степени поляризации, угле плоскости поляризации или яркости в момент наблюдений. Очевидно, что все три характеристики можно сопоставлять.

На рис. 29 показана одна из карт описанной серии, показывающая распределение степени поляризации света лунной поверхностью в видимой с Земли части восточного полушария Луны. Изолинии соответствуют степени поляризации в процентах и проведены с интервалом 1,4%. Общий диапазон значений степени поляризации составляет от 2,0 до 9,0%. Более темный цвет на карте соответствует большей степени поляризации. Как показывает карта, свет, отраженный от морских образований, поляризован сильнее.

Наибольшая степень поляризации отмечается в северной части Моря Спокойствия.

При общей закономерности, которой является связь величины степени поляризации с определенными формами рельефа, авторы серии карт выявили также некоторые детали поляризационной картины, которые не ассоциируются с известными топографическими подробностями. Это обстоятельство наводит на мысль о зависимости степени поляризации света от тонкой структуры лунного поверхностного слоя.

## 6. ТЕМПЕРАТУРА ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ И РАДИОФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

Нагрев лунной поверхности происходит главным образом за счет облучения солнечной радиацией. Как уже было упомянуто, лунная поверхность рассеивает лишь около 10% падающего на нее излучения. Остальная часть лучистой энергии преобразуется в тепло. Теплопроводность поверхностных слоев Луны низка, и поэтому нагревается только очень тонкий слой пород. Но, поскольку вся поглощенная солнечная энергия сосредоточивается в этом небольшом объеме, поверхностный слой разогревается до температуры более 400 К вблизи подсолнечной точки. В ночное время поверхностный слой сравнительно быстро излучает полученное тепло в окружающее пространство.

Возможен приток тепла из недр к поверхности. Несмотря на то, что недра Луны, как полагают, сравнительно холодны — их температура не превышает  $600\text{--}800^\circ\text{C}$ , все же приток тепла из глубин лунного шара к поверхности, согласно измерениям на Луне, всего лишь в три раза меньше, чем на Земле с ее активными недрами. Но, вероятно, влияние внутреннего тепла на степень нагрева поверхностного слоя незначительно, поскольку к концу лунной ночи температура поверхности падает несколько ниже  $100\text{ K}$ ,

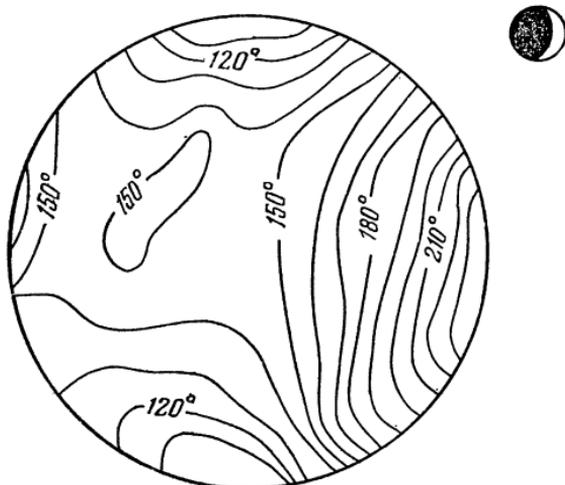


Рис. 30.

Таким образом, суточные перепады температуры превышают  $300^\circ$ .

Распределение температуры на видимом полушарии Луны изучается в инфракрасном участке спектра и в радиодиапазоне. Разрешение в последнем случае ниже из-за невысокого энергетического уровня регистрируемого излучения. Представление о распределении ночных и дневных значений температуры могут дать изотермы видимого с Земли полушария. На рис. 30 показана система изотерм на обращенном к Земле полушарии при фазовом угле  $78^\circ$ . Это распределение яркости получено по результатам наблюдений в радиодиапазоне на волне  $3\text{ мм}$  с разрешением примерно  $3'$ . Значения температуры даны в кельвинах.

Суточный ход температуры поверхности для избранного участка Луны по измерениям непосред-

ственно на поверхности приведен на рис. 31. Кривая соответствует изменениям температуры покровного вещества в течение лунного дня и части лунной ночи на широте  $+26^\circ$  (район посадки космического корабля «Аполлон-15»). Кратковременное падение температуры в середине дня вызвано прохождением земной тени по лунному диску. Для наблюдателя на Луне это соответствует явлению солнечного затмения. Резкое падение температуры за сравнительно короткий промежуток времени подтверждает низкую теплопроводность поверхностного вещества Луны.

Интересным результатом радиометрических измерений Луны явилось изучение в инфракрасном диапазоне длин волн видимого диска в период полного лунного затмения. Обнаружилась неоднородность остывания

лунной поверхности во время погружения Луны в земную тень. Первоначально было установлено, что кратеры с лучевыми системами — Тихо, Аристарх, Коперник и Кеплер — остаются более горячими, чем прилегающие участки. Позднее при полном сканировании диска в инфракрасных лучах (10—12 мкм) во время полного лунного затмения было обнаружено более 1000 подобных тепловых аномалий. Кроме упомянутых центров лучевых систем, к категории «горячих пятен» были отнесены практически все большие лучевые кратеры — Аристотель, Дионисий, Лангрэн, Менелай и другие. Изучение распределения тепловых аномалий показало, что примерно две трети из них располагаются в морских областях и только одна треть — на материках. Кроме совпадения с яркими лучевыми кратерами, тепловые аномалии отождествляются с районами повышенной яркости — светлыми пятнами.

В качестве объяснения существования тепловых аномалий на Луне были высказаны предположения о более плотном поверхностном веществе в районах «горячих пятен», сохраняющих тепло продолжительное

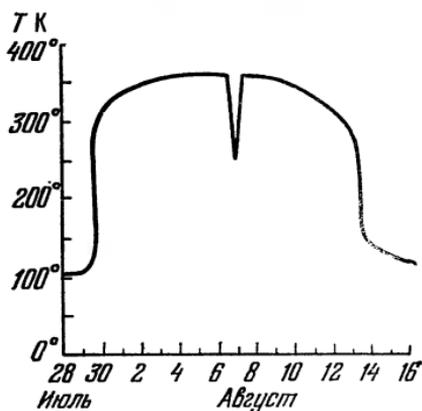


Рис. 31.

время по сравнению с окружающей поверхностью, либо о наличии интенсивного поля камней, что теоретически может привести к подобному же эффекту благодаря переизлучению тепла между отдельными кристаллическими осколками, сравнительно крупными по размерам и расположенными близко друг от друга.

В этой связи интересно ознакомиться с результатами радиофизических исследований Луны с помощью наземной аппаратуры и космической техники, которые позволяют судить о плотности и шероховатости поверхностного слоя пород Луны. В. С. Троицкий, В. Д. Кротиков и их коллеги по результатам анализа радиоизлучения Луны в диапазоне длин волн от миллиметрового до декаметрового сделали вывод о трехслойной модели верхнего покрова Луны. В верхнем слое плотность вещества резко меняется от очень рыхлой структуры поверхности до уплотненного грунта. Во втором слое плотность постепенно возрастает, а на глубине 5—15 м от поверхности должны располагаться коренные скальные породы. Этот результат был подтвержден радиофизическими исследованиями с борта космических аппаратов, анализ которых проведен Н. Н. Крупенио. Оказалось, что средняя толщина реголита — слоя раздробленных пород — должна составлять 5 м.

Общим результатом радиолокационных исследований стал вывод о том, что средняя плотность пород в морских областях на 10—15% выше средней плотности материкового вещества.

Разрешение радиофизических исследований в большинстве случаев **еще** недостаточно для отдельных объектов на Луне при наблюдении с поверхности Земли. Однако измерения с борта космических аппаратов и постепенное совершенствование наземных методов показывают, что радиофизические исследования являются перспективным направлением дистанционных исследований Луны.

## 7. ДИСТАНЦИОННАЯ ОЦЕНКА ПРИРОДНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ЛУНЫ

Дистанционные методы изучения Луны в настоящее время весьма разнообразны. Остановимся в основном на возможностях астрофизических методов,

принципы которых и характер получаемой информации были описаны выше.

Измерение интенсивности инфракрасного излучения позволяет определить яркостную и цветовую температуру поверхности, которые мало отличаются по величине от истинной температуры, если коэффициент излучения, как в случае Луны, близок к единице. Кроме температуры, по результатам инфракрасных измерений можно выявить и некоторые другие параметры лунного покровного вещества. Измерения теплового излучения неосвещенной части видимого полушария Луны во время лунных затмений или в процессе смены фаз приводят к оценке тепловой инерции пород по скорости остывания поверхности. Величина тепловой инерции лунного грунта оказалась на два порядка ниже, чем у земных горных пород. Поскольку такое низкое значение тепловой инерции свойственно только сильно размельченным породам, помещенным к тому же в условиях высокого вакуума, можно сделать вывод о степени раздробленности вещества на лунной поверхности. А вариации величины тепловой инерции могут указать на изменения раздробленности поверхностного слоя в исследуемых областях лунного шара. В частности, этот метод может использоваться для дистанционного поиска выходов монолитных скальных пород на поверхность, если такие места на Луне существуют. Подобные сведения являются весьма важными, но практически указанная особенность лунных ландшафтов не изучена и ее существование можно только предполагать.

Измерения яркостной радиотемпературы содержат также весьма важную информацию, позволяющую определять тепловой режим подповерхностных слоев, залегающих на глубине нескольких длин волн регистрируемого излучения. Радиофизические исследования установили, что на глубине около одного метра температура пород не меняется в течение лунных суток. Этот вывод вполне согласуется с низким значением тепловой инерции лунного реголита.

В последние годы для изучения лунной поверхности широко использовалась радиолокация, т. е. анализ отраженного излучения Луны в радиодиапазоне. Метод радиолокации позволяет изучать как топографические особенности ландшафтов — среднюю

изрытость, углы наклона отдельных площадок, так и физические постоянные, например диэлектрическую постоянную. Радиолокационные исследования в основном проводятся в сантиметровом и метровом диапазонах длин волн. Как уже упоминалось, широкие возможности в этом направлении открывает использование радиолокационных излучателей и приемников на космических аппаратах.

Не все из перечисленных выше видов собственно го и отраженного излучения Луны одинаковы по условиям наблюдения. Сравнительно слабое коротковолновое излучение в рентгеновской и гамма-областях спектра регистрируется с удовлетворительным разрешением только в непосредственной близости от лунной поверхности (с окололунной орбиты или прямо на Луне). Существенные ограничения имеют наземные наблюдения. Земная атмосфера имеет ограниченные «окна прозрачности» для электромагнитного излучения с определенными длинами волн.

В оптическом диапазоне атмосфера пропускает излучение с длиной волны от 0,3 до 5,2 мкм.

В инфракрасной части спектра через атмосферу проходит излучение в узких окнах прозрачности от 8 до 14 мкм и от 17 до 22 мкм.

В радиодиапазоне до земной поверхности проникает излучение с длиной волны от 1 мм до 30 м.

Ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучение полностью поглощаются земной атмосферой на различных высотах над поверхностью нашей планеты.

Разнообразные косвенные характеристики лунной поверхности позволяют исследовать и интерпретировать оптические методы, использующие отраженное излучение Луны в видимой части спектра. По результатам наблюдения оптических характеристик можно косвенно судить о геометрии рельефа, физических и механических параметрах грунта, химическом составе пород, возрастных особенностях деталей рельефа и их эволюции. Рассмотрим более подробно природу различных оптических свойств лунной поверхности.

Существенное влияние на отражательные свойства лунной поверхности оказывает рельеф исследуемой площадки, который не разрешается по отдельным деталям. Так, если внутри площадки, интегральная

яркость которой измеряется, нарушена статистическая однородность распределения деталей рельефа, наблюдения обнаруживают систематические отклонения от среднего хода яркости. Если рельеф типичен для лунной поверхности, исследуемая площадка отражает по закону, близкому к средней фотометрической функции. На рис. 32 в качестве примера приводятся

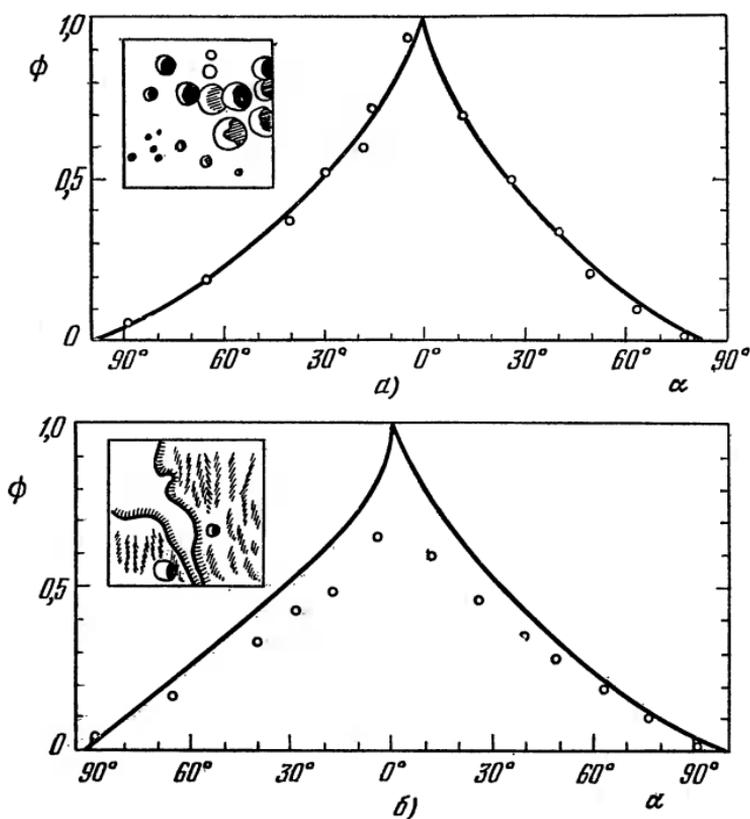


Рис. 32.

оба описанных случая. Рис. 32, *а* показывает типичный случай равномерно распределенных кратеров внутри площади измерений. Схема рельефа площадки составлена по крупномасштабным фотографиям, полученным при орбитальной съемке Луны. С Земли эти детали не разрешаются, и ограниченный квадратом участок представляется точечным источником отраженного света. Измеренные значения относительной яркости площадки (отдельные точки) с точностью до ошибок измерений совпадают с вычислен-

ными по средней фотометрической функции значениями (кривая). Изменение величины фотометрической функции  $\phi$  дано в зависимости от фазового угла  $\alpha$ .

Аномальное строение участка, показанного на рис. 32, б, служит причиной того, что вычисленная фазовая кривая систематически отклоняется от измеренного хода яркости.

Оба участка относятся к материковому типу поверхности.

Наиболее вероятной причиной различия альbedo поверхности следует считать химический состав пород. Этот вывод наглядно подтверждается корреляционными зависимостями между альbedo и содержанием некоторых химических элементов или соединений в веществе лунного грунта.

Орбитальная рентгеновская съемка с борта космических кораблей «Аполлон-15 и 16» позволила исследовать содержание алюминия по отношению к кремнию в массовых процентах,  $X = \text{Al/Si}$ , в поверхностных породах Луны при разрешении на местности около 150 км. Съемка охватывала около 10% всей территории Луны.

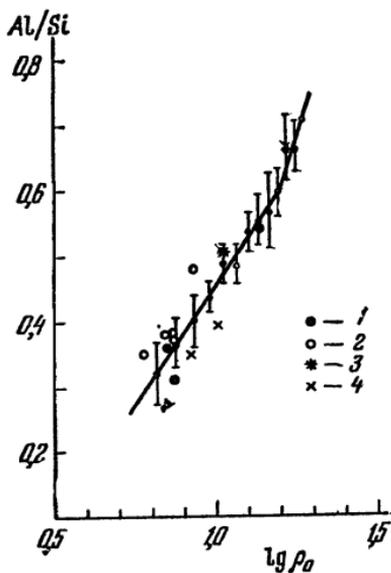


Рис. 33.

Используя приводившуюся выше общую карту альbedo Луны, можно получить величины истинного альbedo для площадок с измеренными значениями  $X$  для всей зоны рентгеновской съемки, включая территории как видимого, так и обратного полушария. На рис. 33 приводится график средней зависимости альbedo в логарифмической шкале от относительного содержания алюминия. Точками с вертикальными отрезками, показывающими пределы разброса данных сравнения, отмечены средние значения  $X$  для единичных интервалов  $\Delta\rho_0$ . Данные сравнения по отдельным местам посадок космических аппаратов обозна-

чены: 1 — «Сервейор-5, 6, 7», 2 — «Луноход-1, 2», 3 — «Луна-20», 4 — «Аполлон-14, 15, 16». Положение этих точек на графике показывает, что, несмотря на некоторые индивидуальные особенности мест посадок, общая зависимость сохраняется и для этих небольших по площади районов сбора образцов лунного грунта и определения химического состава поверхностных пород.

На основании приведенных данных найдены два уравнения линейной регрессии, определяющие вид средней зависимости, показанной на рис. 33.

При  $\rho_0 < 15,51$  средняя зависимость описывается уравнением

$$X = 0,74 \lg \rho_0 - 0,28,$$

где  $\lg \rho_0$  — логарифм альbedo.

Для области  $\rho_0 > 15,51$  зависимость имеет вид

$$X = 1,39 \lg \rho_0 - 1,06.$$

Таким образом, в исследованном интервале значений альbedo зависимость  $\lg \rho_0$  от  $Al/Si$  является линейной, но имеет излом при  $\rho_0 = 15,51$ .

По общей карте альbedo Луны можно исследовать характер распределения отражательной способности лунного вещества, которое выявляет основные особенности строения поверхности лунного шара.

На рис. 34 в виде гистограммы показано эмпирическое распределение альbedo по числу значений  $n$  для равномерно распределенных по площади точек. Эмпирическое распределение можно представить теоретическим, состоящим из четырех частных распределений нормального вида. На рис. 34 теоретическое распределение показано сплошной кривой, а частные распределения — прерывистыми.

Анализ выделенных частных распределений показал, что они представляют разные совокупности данных, т. е. можно предположить различную природу отражающих поверхностей и принять альbedo в качестве одного из независимых признаков типа лунного ландшафта. Сопоставляя частные распределения, можно получить вероятные значения граничных величин альbedo  $\rho_0$ , которые определяют принадлежность поверхностного материала к одному из выделенных типов поверхности. По найденным значениям  $\rho_0$ , пользуясь зависимостью альbedo от химического

состава, на рис. 33 можно найти соответствующие величины  $X = Al/Si$ . Если, далее, сравнить найденные граничные значения  $X$  с аналогичными величинами относительного содержания алюминия, принятыми в селенологической классификации пород, то можно убедиться, что четыре выделенных типа поверхности ассоциируются с четырьмя основными типами лунных пород. Эти типы пород: базальты, нориты, анортозитовые габбро и габбровые анортозиты.

Следовательно, на основании общей карты альбеда Луны можно построить предварительную схему

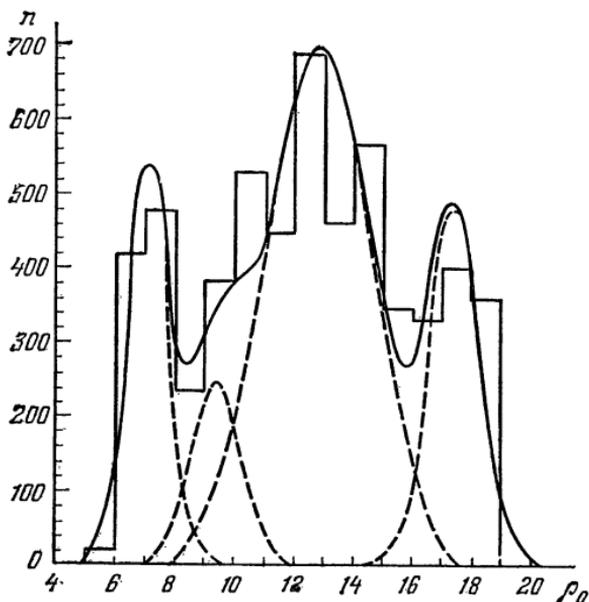


Рис. 34.

распространения на лунной поверхности названных выше типов пород. На рис. 35 представлена подобная схема, согласно которой базальты (1) в настоящее время занимают 17% поверхности лунного шара, нориты (2) — 10%, анортозитовые габбро (3) — 54%, габбровые анортозиты (4) — 19. Вне приведенной схемы остались анортозиты. Если зависимость на рис. 33 проэкстраполировать в область более высоких значений  $X$ , соответствующих анортозитам, то вычисленное среднее значение альбеда этих пород составит 25,6. Подобное альбеда встречается редко, следовательно, можно предположить, что анортозиты на

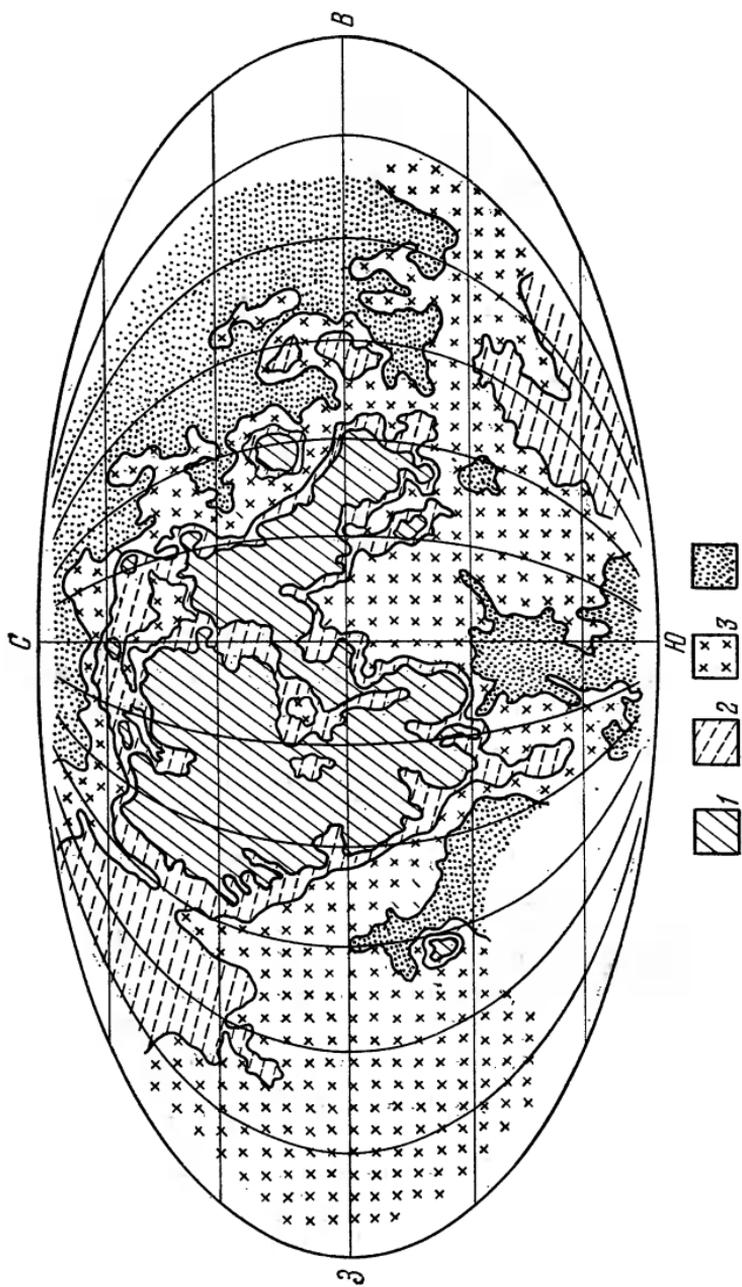


Рис. 35.

лунной поверхности занимают очень незначительные по площади области.

Спектральное альbedo лунной поверхности также тесно связано с химическим составом пород. Было обнаружено, что наклоны спектральных кривых в синюю область и глубина полосы поглощения на длине волны 0,95 мкм коррелируют с данными о составе пород. Многочисленные исследования последних лет показали, что по наклону спектральной кривой в области от 0,4 до 0,56 мкм можно определить содержание титана в породах по величине концентрации  $TiO_2$  с точностью до 1%.

Глубину полосы поглощения  $\frac{I(0,95 \text{ мкм})}{I(0,56 \text{ мкм})}$  связывают с содержанием в грунте минерала пироксена.

С химическим составом лунного вещества можно связать колор-индекс

$$C = \frac{\rho(0,65 \text{ мкм})}{\rho(0,38 \text{ мкм})}.$$

Эмпирическая зависимость колор-индекса  $C$  от разности концентраций окислов магния и титана по массовым процентам согласно Ю. Н. Липскому и В. В. Новикову имеет вид

$$\lg C = -0,076\Sigma_1 + 0,35,$$

где  $\Sigma_1 = (K_{MgO} - K_{TiO_2})$  — разность концентраций окислов.

Поляризационные свойства поверхности также имеют некоторые связи с химическим составом пород. Максимальная степень поляризации в коротковолновой области спектра тесно коррелирует с величиной альbedo поверхности. По данным О. Дольфюса

$$\lg \rho_0 = -0,724 \lg P_m + 0,19,$$

где  $P_m$  — максимальная степень поляризации.

Используя зависимость альbedo от содержания окислов алюминия и кремния, можно записать эмпирическую зависимость:

$$\lg P_m = -0,03\Sigma_2 + 0,83,$$

где  $\Sigma_2 = (K_{Al_2O_3} + K_{SiO_2})$  — сумма концентрации окислов алюминия и кремния в процентах по массе.

Кроме того, эмпирически найденное соотношение

$$K_{\text{FeO}} = -0,725\Sigma_2 + 56,5$$

непосредственно связывает степень поляризации с содержанием в породах полупрозрачных окислов FeO.

Перечисленные корреляционные связи оптических свойств Луны с различными природными особенностями поверхности убедительно показывают, что возможности дистанционных астрофизических исследований естественного спутника Земли еще далеко не исчерпаны, даже несмотря на бурное развитие прямых методов.

## ЛЮБИТЕЛЬСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

### ГЛАВА IV

#### ВИЗУАЛЬНЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ

##### 1. ТЕХНИКА ВИЗУАЛЬНЫХ НАБЛЮДЕНИЙ

Сравнительно недавно, всего лишь 25 лет тому назад, визуальные наблюдения видимого полушария Луны числились в арсенале методов профессиональных астрономов. С помощью визуальных зарисовок дополнялись мелкими деталями фотографии, полученные на крупных телескопах, с тем, чтобы в последующем послужить материалом для составления крупномасштабных карт. Глаз оказывался зорче фотопластинок. Даже при наблюдении в телескоп с небольшим увеличением окуляра бывает уже заметно дрожание изображения, обусловленное волнением атмосферы. Фотоэмульсия пластинки или пленки в этом случае фиксирует несколько наложенных, сдвинувшихся за время экспозиции изображений. Так же, как быстро движущийся перед объективом во время фотосъемки предмет оказывается смазанным, лунные детали выглядят размытыми, как бы расфокусированными. Глаз при той же разрешающей способности телескопа видит более мелкие объекты. Наше зрение обладает счастливой возможностью выбирать моменты наилучшей видимости и формировать зрительный образ наблюдаемого объекта на основании именно этой наиболее полной информации.

В наше время значение визуальных зарисовок Луны для профессиональной астрономии утратило свое значение. Многочисленные съемки лунной поверхности с космических аппаратов решили задачу получения материала для крупномасштабных карт.

Однако в любительской практике визуальные наблюдения остаются важным начальным этапом знакомства с лунной поверхностью и самой Луной как небесным объектом. Кроме того, впечатление от «живого», сиюминутного вида Луны, даже при использовании скромных наблюдательных средств, подчас бывает более сильным, чем от рассматривания самих высококачественных снимков, полученных на больших телескопах. Приведем несколько советов опытных наблюдателей-профессионалов.

Известно, что степень дрожания изображения зависит, прежде всего, от высоты Луны над горизонтом. У самого горизонта диск Луны настолько искажается турбуленцией, что детальные наблюдения невозможны. Следовательно, первым условием качественных наблюдений является наибольшая высота Луны над горизонтом. Следует учитывать также сезонные и местные условия, влияющие на спокойствие воздушных масс. Проводя визуальные наблюдения, следует отмечать время и качество изображения. Тогда по истечении известного срока можно будет на основании практического опыта судить, в какое время года и суток в данном месте можно при наличии ясной погоды ожидать наиболее устойчивые изображения лунного диска.

Часто наблюдателю приходится проводить часы у телескопа, выжидая редкие короткие периоды полного успокоения изображения, когда становятся различимыми тонкие детали поверхности.

Опытные наблюдатели недавнего прошлого использовали ряд приемов активной борьбы с атмосферным волнением. Например, Н. Н. Сытинская и В. В. Шаронов советовали иметь набор окуляров с различным увеличением, используя при сильном дрожании изображения окуляр с малым увеличением, а при более спокойном состоянии атмосферы применять окуляры со средним и большим увеличением. При большом отверстии телескопа положительный эффект может дать диафрагмирование объектива. В этом случае изображение становится более резким, хотя и остается дрожащим. Диаметр диафрагмы может быть в 2—4 раза меньше диаметра объектива.

При хороших атмосферных условиях в обычный бинокль с 8-кратным увеличением на лунном диске можно свободно различать кратеры диаметром 50—

70 км. Вблизи терминатора наименьшие различимые детали могут составлять 30—40 км в диаметре. Хорошо видны лучевые системы и отдельные протяженные лучи.

Если воспользоваться школьным телескопом-рефрактором, то возможности изучения деталей поверхности Луны значительно расширяются. При стабильном изображении в поле зрения телескопа на лунной поверхности вблизи терминатора можно различить кратеры диаметром 10—15 км. Объекты подобных размеров лежат на пределе разрешающей способности упомянутого телескопа и не всегда доступны для наблюдений. Но кратеры размером 50—60 км видны уже с подробностями, и наблюдения позволяют выделить их особенности — наличие центральной горки, вторичных кратеров на дне или валу и т. д.

Следует подчеркнуть, что все проводимые наблюдения должны быть целенаправленными, т. е. решать какую-либо заранее поставленную задачу. В равной мере это относится к визуальным наблюдениям, связанным с ознакомительным обзором лунной поверхности. Одной из задач в этом случае может быть составление схем или зарисовка наблюдаемых областей видимого полушария. Передача видимой картины даже простейшим рисунком или схемой уже дисциплинирует наблюдателя, вносит активный элемент в производимые им действия. Однако процесс зарисовки все же сильно подвержен субъективным влияниям. Наблюдатель, особенно начинающий, всегда подвержен соблазну изобразить то, что хочется видеть, а не то, что видит в действительности. Поэтому более полезным на первых порах может быть поиск и отождествление наблюдаемых объектов на карте или снимке тут же, у телескопа. Луна — довольно яркий объект и не следует бояться освещать помещение, в котором стоит телескоп, спокойным рассеянным светом, позволяющим рассматривать подсобные материалы. В некоторых случаях — при фазах, близких к полнолунию, когда яркость Луны особенно велика, подобное внутреннее освещение будет предупреждать утомляемость зрения и поэтому весьма желательно.

Если бы имелась возможность непрерывных наблюдений, ознакомиться со всей территорией видимого полушария можно было бы за две недели — от новолуния до полнолуния. Увидеть одни и те же дета-

ли рельефа при разных направлениях падающих лучей (с востока и с запада) можно лишь в течение всей лунации, т. е. примерно за месячный срок. Ну, а если учесть, что погода не всегда способствует качественным наблюдениям, то ознакомление с поверхностью может занять целый наблюдательный сезон. В этом случае необходимой принадлежностью является журнал наблюдений. Вид поверхности и отдельных деталей, наблюдавшийся день или два назад, еще может сохраняться в памяти и связываться в одну цепочку с наблюдениями, проводимыми в настоящий момент. Но если погоды приходится ждать неделю или две, то связать ранее видимое с новым помогут записи, зарисовки, снимки с отождествленными объектами, собранные в журнале.

Начинающему наблюдателю регулярно заполняемый журнал поможет установить сезонные особенности местных климатических условий и в дальнейшем планировать по месяцам свое наблюдательное время. Установить заранее фазу Луны и высоту ее над горизонтом, время восхода и захода помогут сведения, публикуемые в ежегодно издаваемом для астрономов-любителей Астрономическом календаре.

## 2. ОБЩИЙ ОБЗОР ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ

Опытный наблюдатель и наставник нескольких поколений астрономов-любителей Н. Н. Сытинская советовала начинающему наблюдателю Луны приступить к ознакомлению с лунной топографией в период полнолуния. С этим нельзя не согласиться. В полной фазе из-за отсутствия теней становятся практически неразличимыми мелкие детали рельефа и подчеркнута выделяются основные контуры видимого полушария — темные моря. Для отождествления отдельных образований, кратко описанных в главе II, можно воспользоваться картой-схемой, помещенной там же, центральная часть которой отображает видимое полушарие Луны. При этом следует учесть, что контуры морей на карте-схеме (рис. 8) проведены согласно изолиниям альбеда, т. е. по признаку отражающей способности. В некоторых случаях составители карт используют иной подход к проведению границ морей (например по контурам возвышенной «береговой линии» и др.). Это следует учитывать, работая

с различными подсобными и справочными материалами. Поскольку во многих случаях переходная зона «море — материк» имеет значительную протяженность, проведение границ морей допускает некоторый произвол. Возможно, внимательное изучение «береговой линии» поможет начинающему исследователю выработать свою точку зрения по данному вопросу.

Закрепив полученные в процессе наблюдений навыки в отождествлении основных контуров морей дополнительной тренировкой с картами и снимками, можно переходить к детальному изучению рельефа видимого полушария. В этом случае возможны два варианта начала наблюдений, каждый из которых предполагает свою систему. При фазах, на два-три дня отличающихся от полнолуния, ознакомление с отдельными деталями рельефа следует начинать с окрестностей уже знакомых по очертаниям морей, продвигаясь от одного крупного кратера к другому в глубь материка и от центральной части диска к лимбу.

Более удобным является другой вариант — следование за терминатором растущей Луны, когда граница дня и ночи, как некий естественный занавес, постепенно открывает картину лунных ландшафтов.

В этом варианте есть еще одно преимущество. Первое знакомство с деталями рельефа происходит при косом освещении (вблизи терминатора), когда их очертания выгодно подчеркиваются хорошо заметными тенями, что особенно важно для мелких деталей. Затем наблюдатель в последующие ночи сможет проследить, как меняется вид одних и тех же образований с приближением к полнолуннию.

Начинать наблюдения следует не ранее второго дня после новолуния. На очень узком серпе растущей Луны детали практически неразличимы.

При возрасте Луны около трех дней терминатор при среднем значении либрации по долготе проходит через центральную часть Моря Кризисов. На поверхности этого кругового моря становятся заметными пологие валы, поскольку при таком низком Солнце даже эти пологие возвышенности имеют затененные склоны. Обращают на себя внимание окружающие Море Кризисов горы, отдельные освещенные вершины которых видны и по другую сторону терминатора, на фоне темной, неосвещенной части диска. Чем выше вершина, тем ранее она освещается восходящим

над лунным горизонтом Солнцем и, следовательно, видна на большем расстоянии от средней линии терминатора (в сторону ночного полушария Луны).

Кроме района Моря Кризисов (рис. 36), в качестве задачи на этот же период наблюдений можно назвать изучение топографии таких крупных кратеров, как Лангрэн, Петавий, Фурнерий.

Еще через два дня терминатор переместится в район горного района Тавр, восточной части Моря Спокойствия, Моря Нектара. В северной части видимого диска следует обратить внимание на два расположенных рядом кратера — Геркулес и Атлас. В южной части представляет интерес большой древний кратер Жансен, очертания которого осложнены несколькими перекрывающими его более поздними кратерами.

В первой четверти (рис. 37) близтерминаторная область богата замечательными деталями лунного рельефа. В северной части видна примерно половина Моря Холода — образования, несколько отличающегося внешним видом и яркостью от типичной морской поверхности. С юга к Моря Холода примыкают окружающие Море Дождей горы Альпы, расщепленные широкой прямой трещиной, носящей название Альпийской Долины. Южнее располагаются живописные горы Кавказ и Апеннины, которые замыкают кольцо вокруг Моря Дождей с востока, отделяя его от Моря Ясности и от Моря Паров в юго-восточном направлении. Несколько южнее центра диска Луны выстроились цепочкой с севера на юг крупные кратеры Птолемей, Альфонс, Арзахель.

В последующие ночи перед глазами наблюдателя пройдут, появившись из тени, кратер Платон, расположенный к северу от Моря Дождей и примечательный ровным темным дном, отдельные вершины на равнине Моря Дождей — Питон, Пико, Горы Тенериф и Прямой Хребет и южнее — кратер Коперник. Основная особенность кратера Коперник, как и расположенного еще южнее кратера Тихо, пока не обнаруживается в полной мере. Когда терминатор пересекает эти образования, следует обратить внимание на их топографию. Позднее мы увидим, как названные кратеры превратятся в центры гигантских лучевых систем.

При возрасте Луны в 10 дней терминатор передвигается в западную часть Моря Дождей и наблюдателю откроется Залив Радуги, ограниченный

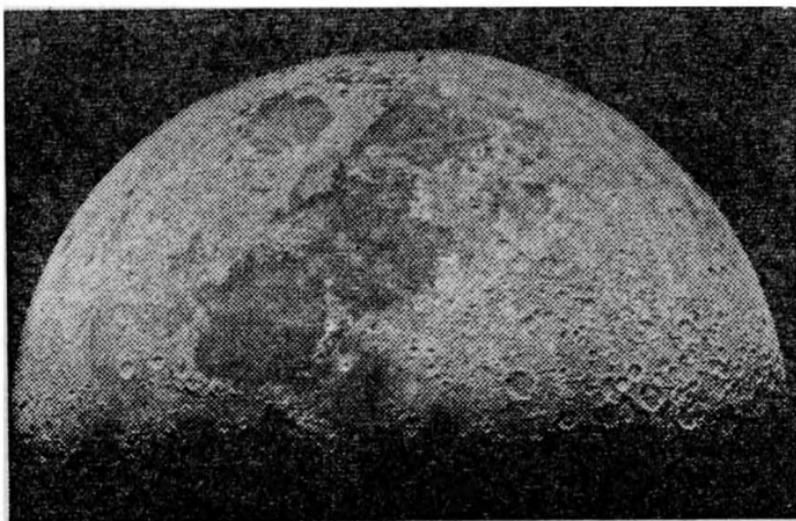


Рис. 37.

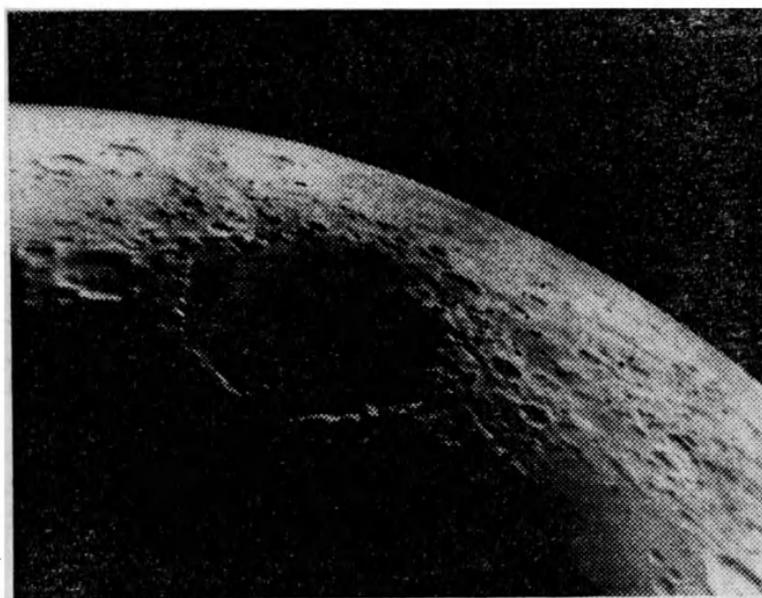


Рис. 36.

с севера и запада горами Юра, а в юго-восточной части сливающийся с морской равниной. В южной части притерминаторной зоны заслуживают внимания области между Морем Облаков и Морем Влажности и огромный южный материк — наиболее кратерированная область поверхности видимого полушария. В этом царстве ударных кратеров особенно интересно для начинающего наблюдателя проследить, как перекрытие одних кратеров другими выдает их относительный возраст: более древние находятся в разрушенном состоянии, более молодые располагаются на валу или на дне старых кратеров (рис. 38).

Затем перед взором наблюдателя появится кратер Кеплер, а на 12-й день от новолуния — еще один центр разветвленной системы светлых лучей — кратер Аристарх. На него следует обратить пристальное внимание по нескольким причинам. Прежде всего, кратер Аристарх — наиболее яркий объект видимого полушария. В полной мере эта особенность проявится несколько позже — при полнолунии. Также повышенной яркостью обладают и лучи Аристарха. По-видимому, сам кратер является одним из молодых крупных кратеров, а прилегающий к нему район носит явные следы проявления внутренних активных процессов на Луне — своеобразного лунного вулканизма. Несколько позднее из тени появится кратер Шиккард в южной части притерминаторной зоны — огромный кратер с двумя темными пятнами на дне, происхождение которых также связывают с лунным вулканизмом.

В последующие две ночи наблюдатель имеет возможность ознакомиться с западной окраиной Океана Бурь и прилегающим материком. Терминатор пройдет через кратеры Гримальди и Риччоли, расположенные рядом, но отличающиеся по строению дна. Гримальди полностью заполнен темным веществом, а Риччоли имеет лишь частичное заполнение в северной своей части. Одновременно с этими объектами в притерминаторной зоне появятся валы кратеров Эддингтон и Струве, которые почти полностью погребены лавовыми потоками Океана Бурь — над уровнем темной поверхности остались только наиболее возвышенные части валов.

В ночь полнолуния терминатор на западном краю диска исчезает, но узкая зона косо освещенного рельефа появляется с севера или с юга в зависимости



Рис. 38.

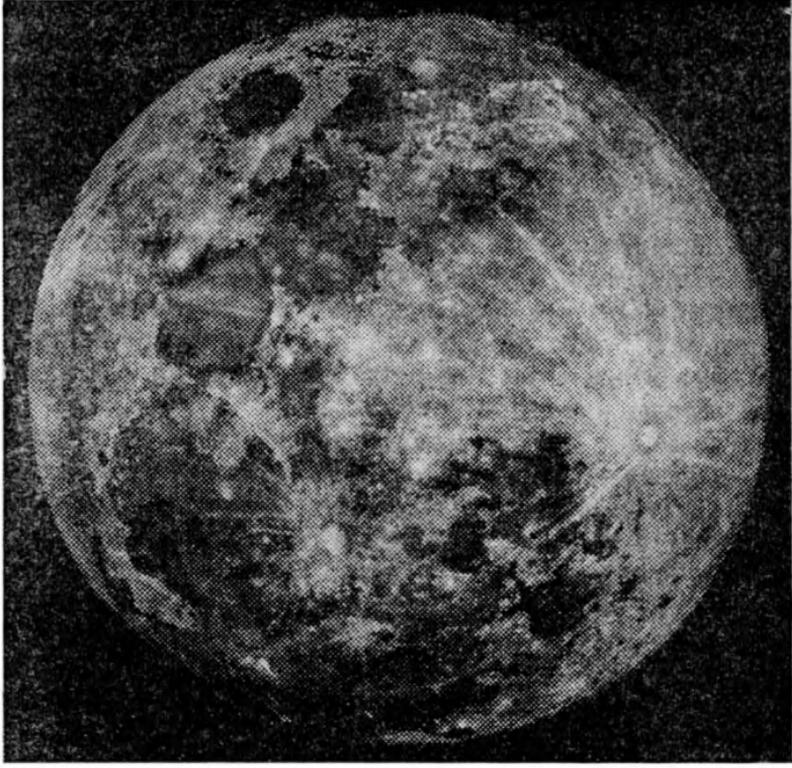


Рис. 39.

от того, к северу или югу от плоскости эклиптики оказывается в этот момент Луна.

Встретившись опять с фазой полнолуния (рис. 39), наблюдатель, проверив еще раз свои навыки в отождествлении контуров морей, может теперь обратиться к изучению образований видимого полушария, имеющих повышенную отражательную способность. Такими объектами являются кратеры — центры лучевых систем и расходящиеся от них светлые лучи.

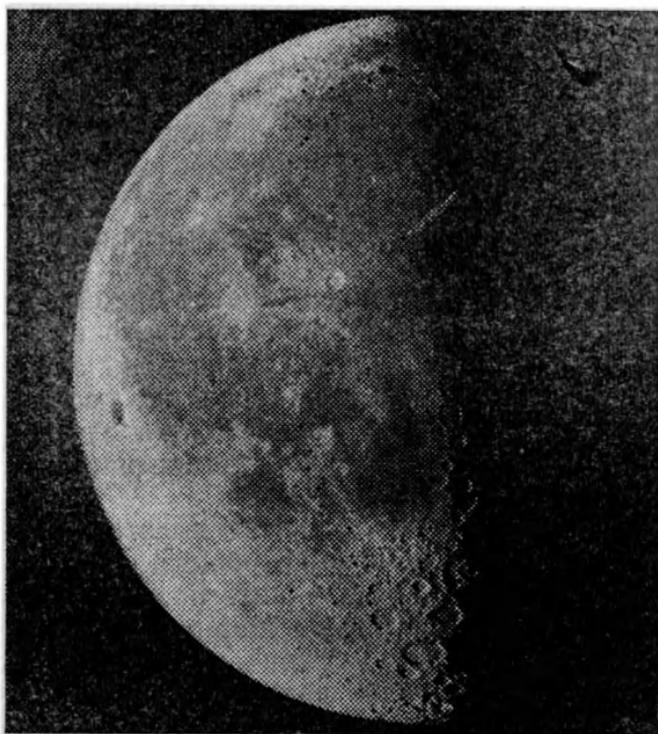


Рис. 40.

На видимом диске прежде всего выделяются лучевые системы кратеров Прокл (на материковой перемычке между Морем Спокойствия и Морем Кризисов), Лангрэн, Тихо, Коперник, Кеплер, Аристарх и некоторых других, меньших по размерам. Если позволит разрешающая способность применяемого инструмента, можно внимательно рассмотреть одно- или двухлучевые системы кратеров Мессье в Море Изобилия, Бессель в Море Ясности и Росс в южной части Моря Нектара.

День спустя после полнолуния терминатор покажется на восточном краю видимого диска и теперь уже будет постепенно закрывать ночной тенью детали лунных ландшафтов. Начиная с фазы Луны на ущербе можно вновь проделать путь от восточного края диска к западному вслед за вечерним терминатором. Область косо освещенная еще раз пройдет через знакомые уже образования, и наблюдатель получит возможность закрепить свои знания по лунной топографии. Изучая области восточной половины видимого диска, можно обнаружить новые подробности наблюдавшихся ранее объектов, поскольку солнечные лучи падают теперь с противоположной стороны. Повторное изучение образований западной половины видимого полушария проводится в фазе последней четверти (рис. 40) и при последующих фазах.

### 3. ВИЗУАЛЬНАЯ ФОТОМЕТРИЯ ЛУНЫ

Визуальная фотометрия является одной из традиционных задач любительских исследований Луны. Несмотря на то, что в профессиональной астрономии визуальная фотометрия давно уже не используется, для астронома-любителя эта методика служит необходимым упражнением в приобретении навыков фотометрических исследований вообще.

Одним из простейших способов фотометрии лунного света является измерение общего излучения Луны как источника света — интегральная фотометрия — с помощью блестящего шарика. Как известно, отражение в выпуклом сферическом зеркале дает уменьшенное изображение предмета. При достаточно большой степени кривизны зеркала и его удаленности от наблюдателя отраженное изображение лунного диска может быть меньше одной угловой минуты. Глазу подобное изображение представляется уже в виде точечного источника света — блика, не имеющего геометрических размеров. Если такое отраженное изображение поместить так, чтобы оно проектировалось на фоне звездного неба, то путем сравнения со звездами известного блеска можно получить фазовую яркость Луны в фотометрической шкале визуальных звездных величин.

При техническом осуществлении «способа блестящего шарика» можно воспользоваться устройством,

рекомендованным в свое время для астрономов-любителей Н. Н. Сытинской. На одном конце длинного деревянного бруска укрепляется стальной шарик от шарикоподшипника. Брусок должен быть достаточно длинным, чтобы блик на шарике и звезды воспринимались глазом одинаково резкими. Брусок укрепляется на вертикальной стойке, чтобы можно было перемещать шарик по высоте и азимуту. При проведении оценок фазовой яркости наблюдатель располагается так, чтобы Луна находилась сзади, а шарик с лунным бликом проектировался на созвездие, которое имеет ту же высоту над горизонтом, что и Луна. В созвездии выбирается группа звезд сравнения, по которым проводится оценка яркости блика на шарике. Поскольку Луна и звезды сравнения находятся на одной высоте над горизонтом, при последующем вычислении звездной величины Луны в наблюдаемой фазе исключается влияние ослабления света в атмосфере. Значения блеска звезд сравнения можно найти, например, в «Справочнике любителя астрономии» П. Г. Куликовского.

Полученная путем сопоставления с блеском звезд сравнения звездная величина  $m'_\zeta$  лунного блика будет отличаться от истинной величины  $m_\zeta$  на постоянную величину

$$m'_\zeta = m_\zeta + c.$$

Теоретическое выражение для  $c$  имеет вид

$$c = -2,5 \lg \frac{\rho R^2}{\Delta^2},$$

где  $\rho$  — коэффициент отражения поверхности шарика,  $R$  — радиус шарика,  $\Delta$  — расстояние шарика от глаза.

Стальной шарик должен иметь чистую поверхность, свободную от царапин и других дефектов. Тогда величину его коэффициента отражения можно принять  $\rho = 0,6$ .

Наблюдения в течение лунации позволят построить фазовую кривую Луны в звездных величинах, которую можно сравнить с фазовой функцией, приводившейся в главе III.

На практике удобно располагать набором из нескольких шариков разного диаметра. Это позволяет каждый раз подбирать такой размер шарика, при котором получается звездообразный блик, наиболее удобный для сравнения. Если все шарики изготовле-

ны из стали, т. е. имеют одинаковый коэффициент отражения, и помещаются постоянно в одно и то же место на бруске, т. е. расстояние от шарика до глаз остается постоянным, разница в значении  $c$  определяется только различиями размеров шариков:

$$c_1 - c_2 = 5 \lg \frac{R_2}{R_1}.$$

Если наблюдения будут проводиться систематически в течение нескольких лунаций с тем, чтобы точек на фазовой кривой было больше, фазовую функцию можно будет вывести достаточно надежно. Результаты наблюдений при малых фазовых углах позволят уверенно проэкстраполировать полученный ход фазовой яркости к нулевой фазе, что даст значение звездной величины Луны в полнолуние.

Все эти результаты можно сравнить с данными интегральной фотометрии Луны, приведенными в главе III, и с фазовой кривой, приводимой в табличном виде в Приложении V.

#### 4. НАБЛЮДЕНИЯ КРАТКОВРЕМЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ НА ЛУНЕ

Интереснейшей задачей любительских наблюдений Луны может стать поиск и регистрация кратковременных явлений на лунной поверхности.

При тщательном соблюдении ряда условий результаты подобных наблюдений будут представлять несомненную научную ценность. Следует оговориться, что проблема кратковременных явлений на Луне до сих пор остается во многом загадочной. Внезапность появления и короткое время существования делают описываемые явления «неуловимыми» для сложных комплексов современной астрофизической аппаратуры профессиональных обсерваторий. В этом отношении визуальные наблюдения огромного числа любителей астрономии могли бы восполнить недостаток информации.

Непременными условиями проведения поиска и регистрации кратковременных явлений должны быть: достаточно хорошее разрешение инструмента, идеальные погодные условия, строгое, беспристрастное отношение к увиденному и полное документирование наблюдаемого явления — дата, время, оценка состояния атмосферы (спокойствие и прозрачность), инструмент, место наблюдений (особенно важно отсутствие

посторонних источников света близости от места наблюдений), положение на лунной поверхности и характер увиденного. Особо ценными являются синхронные данные нескольких наблюдателей. Совпадение результатов наблюдений, проведенных одновременно из разных мест, в большинстве случаев служит гарантией достоверности виденного, исключают влияние субъективных оценок наблюдателя.

Что же собой представляют по современным данным кратковременные явления на Луне? Каталоги замеченных быстротечных изменений вида, окраски, яркости, четкости лунных деталей к настоящему времени содержат уже сотни случаев, достоверность которых весьма вероятно или вовсе не вызывает сомнений. Факты, отмеченные разными наблюдателями, собраны и обобщены в каталогах П. В. Флоренского и В. М. Чернова (СССР) и Б. Миддлхерст (США). По числу повторяемости явлений в одном и том же районе выделяются особо «активные» объекты, вблизи которых кратковременные изменения наблюдались многие десятки раз. Например, по данным Б. Миддлхерст в кратере Аристарх различные оптические явления зарегистрированы 112 раз. Наличие их в кратере Платон отмечалось в 29 случаях. Долина Шретера упоминается в 15 сообщениях. Явления в кратерах Альфонс и Тихо замечены 13 раз. Шестнадцать случаев относятся к Морю Кризисов. «Активными» объектами, как правило, являются относительно молодые крупные кратеры. Явной закономерностью в распространении мест кратковременных событий является расположение их по периферии круговых морей или вдоль систем складок и валов на морской поверхности.

Средняя продолжительность наблюдавшихся явлений не превышала 15 минут.

Обнаружена также зависимость частоты появления преходящих изменений от положения Луны на околоземной орбите. Оказалось, что наиболее активный период появления изменений соответствует времени прохождения Луны через перигей. Около четверти всех замеченных случаев приходится на трехдневный интервал, средний момент которого соответствует положению Луны в точке перигея. Другой пик частоты событий, содержащий более одной десятой от числа всех зарегистрированных случаев, приходится на

такой же по длительности период вблизи лунного апогея.

По характеру проявления кратковременные явления можно разделить на четыре группы. К первой относятся изменения внешнего вида объекта — его очертаний, контуров тени, вида центральной горки

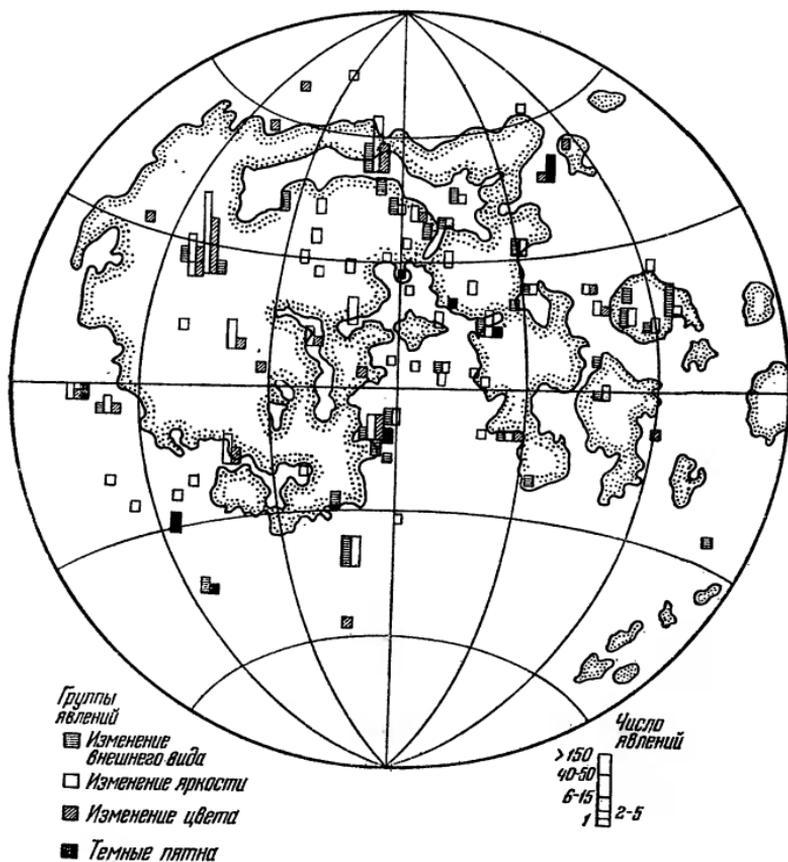


Рис. 41.

и т. д., а также локальные изменения четкости изображения, которые следует отличать от дрожания или размытости из-за влияния атмосферной неустойчивости. Вторую группу составляют случаи изменения яркости объекта или появления различного вида светлых пятен и точек. Третья группа включает случаи изменения цвета участков лунной поверхности, четвертая — случаи появления темных пятен.

На рис. 41 приводится карта-схема распределения кратковременных явлений на лунной поверхности,

составленная К. Б. Шингаревой по отечественным и зарубежным данным.

Пользуясь картой-схемой, наблюдатель может заранее наметить «активные» объекты, которые будут видимы при данной фазе. С большей вероятностью зафиксировать описанные явления можно в периоды прохождения Луной точек перигея и апогея. Эти моменты легко установить, воспользовавшись, например, эфемеридами Луны Астрономического календаря, по величине углового радиуса видимого диска.

Особый интерес представляют поиски кратковременных явлений на ночной стороне Луны при наблюдениях пепельного света. В этих условиях появление светящихся пятен или резкое увеличение яркости объектов особенно хорошо заметны. Но следует учесть, что поискам изменений в пепельном свете должны предшествовать продолжительные ознакомительные наблюдения вида деталей поверхности в этих условиях.

Начинающий наблюдатель часто принимает яркие объекты, освещенные отраженным светом Земли, за некие аномальные явления. Например, хорошо видимый в пепельном свете кратер Аристарх нередко считают «вспышкой» и т. д.

Поиски кратковременных явлений — весьма важная, но не очень благодарная задача. Многие и многие бесплодные часы может провести наблюдатель у телескопа, прежде чем заметит что-то необычное. Каждый наблюдатель, приступающий к изучению кратковременных явлений, должен это помнить. К успеху в этой сложной проблеме ведут систематичность и настойчивость в работе. В то же время поиски и наблюдения кратковременных явлений — именно та область изучения Луны, где потенциал любителей астрономии может быть с наибольшим эффектом использован для выполнения важной научной работы.

Успех здесь решающим образом зависит от числа наблюдателей, одновременно и независимо участвующих в работе. В 1967 г. с этой целью была создана международная сеть лунных наблюдателей для слежения за кратковременными явлениями. Международная сеть объединяет 147 станций в 31 стране. При выполнении этой программы не были забыты и любители астрономии из разных стран. Во время поле-

тов космических кораблей «Аполлон» к Луне были организованы наблюдения за появлением быстротекущих изменений на лунной поверхности с окололунной орбиты и с Земли. В наземных наблюдениях широкое участие приняли астрономы-любители.

## 5. НАБЛЮДЕНИЯ ЗАТМЕНИИ

Главным следствием лунного затмения является ослабление света Луны, вызванное прохождением земной полутени и тени. Одной из интересных задач любительских наблюдений может стать фотометрическое измерение степени ослабления блеска видимого диска Луны при различных фазах затмения. Техника измерений такая же, как при изучении интегрального фазового блеска Луны, т. е. используется способ свещающегося шарика.

Поскольку за короткий промежуток времени блеск лунного диска меняется в значительных пределах, для измерений необходимо заранее приготовить несколько шариков разного диаметра.

Интенсивность лунного света в различные моменты сравнивается с величиной блеска Луны перед началом или после окончания полутеневого затмения. Получаемая разница дает величину ослабления блеска.

Если интенсивность света от полной Луны вне затмения равна  $I_0$ , а в один из моментов затмения  $I_t$ , то коэффициент ослабления света в этой фазе равен

$$K = \frac{I_t}{I_0}.$$

Для того чтобы наблюдаемый эффект представить в звездных величинах, ослабление  $g$ , показывающее численное увеличение звездной величины Луны, выражается разностью

$$g = m_t - m_0 = -2,5 \lg \frac{I_t}{I_0},$$

где  $m_0$  — звездная величина Луны вне затмения,  $m_t$  — звездная величина Луны в одной из фаз затмения.

Практически измерения блеска Луны вне затмения проводятся за день или за два до и после даты

затмения. Затем результаты выполненных измерений приводятся к полнолунию в той же фотометрической системе. С этой целью надо по средней фазовой кривой Луны получить поправку, равную разнице между блеском Луны в истинное полнолуние и блеском при данной фазе вне затмения.

С использованием описанной поправки наблюдатель получает величину блеска полной Луны в фотометрической системе собственных измерений и относительно нее выводит все значения ослабления света. Выражение для подсчета ослабления света  $g$  имеет вид

$$g = m_t - m'_\alpha + \Delta m,$$

где  $m'_\alpha$  — звездная величина блеска Луны вне затмения при фазовом угле  $\alpha$ ,  $\Delta m$  — поправка для приведения к полнолунию.

Поправку  $\Delta m$  при известной величине фазового угла можно вычислить по средней фазовой функции Луны:

$$\Delta m = + 3,38 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right) - 1,07 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right)^2 + 0,99 \left( \frac{\alpha}{100^\circ} \right)^3.$$

Окончательной фотометрической характеристикой наблюдавшегося затмения служит таблица или график зависимости между ослаблением  $g$  и угловым расстоянием  $\sigma$  центра лунного диска от центра контура земной полутени (тени). Величины  $\sigma$  приводятся в эфемеридах лунных затмений, публикуемых в *Астрономическом календаре*. Сопоставляя полученную зависимость с аналогичными данными других наблюдателей и для других затмений, можно сделать вывод, светлее или темнее было наблюдавшееся затмение по отношению к другим. В качестве кривой сравнения можно использовать показанную на рис. 42 среднюю зависимость  $g$  от  $\sigma$ , полученную по визуальным наблюдениям пятнадцати затмений в разные годы на территории СССР.

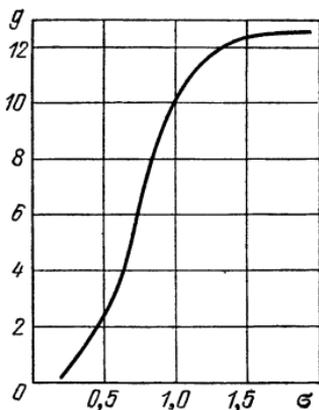


Рис. 42.

# ИЗУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ЛУННОГО ШАРА ПО СНИМКАМ, АТЛАСАМ И КАРТАМ

## 1. ТЕХНИКА РАБОТЫ С КАРТОГРАФИЧЕСКИМИ МАТЕРИАЛАМИ И СНИМКАМИ ЛУНЫ

Высококачественное воспроизведение и размножение различных фотографических и картографических материалов позволяет астроному-любителю проводить самостоятельные исследования лунной поверхности, используя результаты профессиональных наблюдений.

Помимо снимков, полученных наземными обсерваториями, становятся доступными также изображения лунной поверхности, сделанные с борта космических аппаратов.

Если снимок используется для измерений, необходимо установить его основные геометрические характеристики. Прежде всего потребуется вычислить масштаб изображения. Различают два вида масштабов — общий и частный. Общий масштаб определяет степень уменьшения изображения относительно самого объекта съемки, в данном случае Луны.

Значение общего линейного масштаба  $\mu$ , определяемого как отношение достаточно малых отрезков на проектируемой поверхности ( $dL$ ) и на проекции ( $dl$ ) выражается формулой

$$\mu = \frac{dl}{dL} = \frac{F}{D - R}.$$

где  $F$  — фокусное расстояние объектива съемочной камеры,  $D$  — расстояние до центра Луны,  $R$  — радиус Луны.

Обычно значения  $F$ ,  $D$  и  $R$  выражаются в одних и тех же единицах длины, а полученный масштаб записывается в виде дроби  $1 : m$ . Например, масштаб  $1 : 10\,000\,000$  означает, что 1 мм изображения соответствует 10 000 000 мм, т. е. 10 км на поверхности Луны.

Приближенную величину общего масштаба лунного снимка, полученного с Земли, можно вычислить как простое отношение радиуса  $r$  видимого диска на

снимке к радиусу Луны  $R = 1738$  км:

$$\mu \approx \frac{r \text{ (мм)}}{1738 \cdot 10^6}.$$

Общий масштаб, подсчитанный указанными способами, сохраняется только в центре изображения. С приближением к краю диска на снимке масштабное соотношение меняется. Закон этого изменения представляют выражения частных масштабов. Частные масштабы различаются отдельно по координатным линиям: по вертикалям — вдоль радиусов, проведенных из центра изображения Луны ( $\mu_1$ ) и по альмукантаратам — вдоль концентрических окружностей, соответствующих разным значениям зенитного расстояния от центра к краю изображения ( $\mu_2$ ).

В случае снимка, сделанного с большого расстояния, например с Земли, частные масштабы имеют простой вид:

$$\mu_1 = \cos z, \quad \mu_2 = 1.$$

Это означает, что масштаб отрезка, ориентированного по радиусу изображения, уменьшается пропорционально косинусу зенитного расстояния. Если измеряемый отрезок расположен вдоль перпендикулярного радиусу направления, его масштаб равен общему масштабу снимка.

Поэтому, если вам надо определить размер кратера, расположенного вблизи края диска, следует измерить наибольшую ось видимого эллипса кратера и соотнести с общим масштабом снимка.

В случае космических снимков общий масштаб определяется по первой из приведенных для  $\mu$  формул, а частные масштабы рассчитываются по следующим формулам:

$$\mu_1 = \frac{F(D \cos z - R)}{(D - R \cos z)^2}, \quad \mu_2 = \frac{F}{D - R \cos z}.$$

Измеряя направления на снимке и углы между ними, необходимо помнить об угловых искажениях в пределах изображения. Для наземных снимков величина  $\omega$ , на которую различаются углы между одними и теми же направлениями на поверхности Луны и на снимке, определяется по формуле

$$\sin \frac{\omega}{2} = \operatorname{tg}^2 \frac{z}{2}.$$

Для изображений, полученных с близких расстояний, наибольшие угловые искажения определяются из выражения

$$\sin \frac{\omega}{2} = \frac{a-b}{a+b},$$

где  $a$  — максимальная величина линейного частного масштаба на данной снимке,  $b$  — минимальная величина частного масштаба ( $\mu_1$  или  $\mu_2$ ).

На лунных картах, как правило, указывается величина общего масштаба и значение широты параллелей, на которых она сохраняется. В ряде случаев приводится также график изменения масштаба с широтой. Тогда линейные измерения на карте следует производить по этому масштабу путем отложения расстояний на горизонтальной линии, соответствующей средней широте измеряемого отрезка. Построение заданных направлений и измерение углов необходимо проводить с учетом угловых искажений для проекции, в которой построена карта.

Соответствующие формулы для расчета можно найти в специальных руководствах по математической картографии.

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ СЕЛЕНОГРАФИЧЕСКИХ КООРДИНАТ ОБЪЕКТОВ НА СНИМКАХ ЛУНЫ

Мелкомасштабные снимки Луны, получаемые с помощью наземных телескопов, являются ортографической проекцией, если учесть, что  $D$  достаточно велико по сравнению с лунным радиусом  $R$  (см. п. 4 гл. II).

Формулы прямоугольных координат в ортографической проекции имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} x &= R (\cos \beta_0 \sin \beta - \sin \beta_0 \cos \beta \cos \lambda'), \\ y &= R \cos \beta \sin \lambda', \end{aligned}$$

где  $\lambda' = \lambda_0 - \lambda$ ,  $\lambda_0$ ,  $\beta_0$  — селенографические координаты центра видимого диска, численно равные значениям оптической либрации по долготе и широте,  $\lambda$ ,  $\beta$  — селенографические координаты текущей точки поверхности,  $R$  — радиус проектируемой сферы, который при выбранном масштабе изображения определяет размер проекции.

Для того чтобы построить селенографическую сетку параллелей и меридианов, соответствующую данному снимку, нужно в приведенные формулы подставить значение радиуса лунного диска на снимке ( $R$ ) и значения  $\lambda_0$ ,  $\beta_0$  на момент экспозиции снимка, которые приводятся в таблицах Астрономического календаря на разные даты.

Затем в формулы подставляются значения  $\lambda$  и  $\beta$ , соответствующие узлам сетки координат (например, кратные  $10^\circ$ ). Полученные в результате вычислений величины  $x$  и  $y$  для соответствующих узлов сетки позволяют нанести их на основу в системе прямоугольных координат и провести меридианы и параллели. Следует напомнить, что ось  $x$  в картографии направлена вертикально вверх и совпадает с северным направлением центрального (проходящего через центр видимого диска) меридиана. Ось  $y$  горизонтальна и имеет положительное направление к востоку (вправо от центра проекции).

Вычисленная и построенная описанным путем селенографическая сетка координат в геометрическом отношении полностью соответствует снимку. Остается провести точное совмещение обоих изображений. С этой целью на снимке необходимо отождествить ряд объектов с известными селенографическими координатами, которые послужат «опорными пунктами». На сетке параллелей и меридианов, пользуясь известными координатами, также можно отметить положение выбранных опорных пунктов. Затем простым наложением сетки на снимок оба изображения совмещаются при совпадении положений одноименных опорных пунктов. Для проведения этой операции удобнее располагать сеткой на прозрачной основе (например, на фотопленке с отмытой эмульсией). Точность совмещения оценивается по величинам несовпадения положений опорных пунктов на снимке и на сетке.

В качестве опорных пунктов следует выбирать хорошо отождествляемые кратеры небольших размеров, координаты которых содержатся в селенодезических каталогах. Опорные пункты должны распределяться равномерно по площади снимка. Необходимое число опорных пунктов определяется в зависимости от требуемой точности совмещения координатной

сетки и снимка, т. е. точности селенографической привязки снимка.

Если выполняется селенографическая привязка мелкомасштабного снимка с малым количеством хорошо различаемых деталей, то для обеспечения необходимой точности достаточно снять координаты опорных пунктов с любой лунной карты.

В Приложении VI дается список координат некоторого числа опорных пунктов, которым можно воспользоваться для привязки собственных снимков Луны.

Проведя координатную привязку снимка, мы получаем возможность определить широту и долготу любого интересующего нас объекта, изображенного на данной фотографии видимого полушария Луны.

Координатная привязка снимков Луны, полученных с борта космических аппаратов, выполняется аналогичным путем, с той лишь разницей, что при построении сетки селенографических координат следует пользоваться формулами внешней перспективной проекции, приведенными в главе II.

### 3. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ ДЕТАЛЕЙ РЕЛЬЕФА ПО ИЗМЕРЕНИЮ ДЛИНЫ ТЕНЕЙ

Определить относительную высоту детали рельефа лунной поверхности можно по длине отбрасываемой тени. Рассмотрим

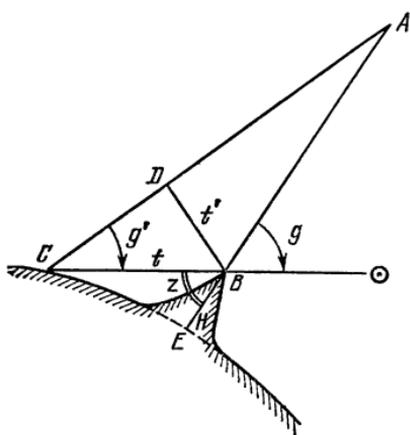


Рис. 43.

простой и доступный астроному-любителю вариант этого способа на примере определения высоты вершины над подошвой отдельно стоящей горы. На снимке измеряется длина тени и, согласно определенному заранее масштабу снимка, выражается в километрах. На рис. 43 приводится схема, из которой вытекает ряд необходимых для таких расчетов зависимостей.

Тень от горы высотой  $H$  вдоль направления солнечного луча  $BC$  имеет длину  $t$ . На снимке в проекции

из точки наблюдения  $A$  тень  $BD$  имеет длину  $t'$ , которую можно измерить. Топоцентрические значения фазовых углов в точке вершины и в конце тени соответственно обозначены  $g$  и  $g'$ .

При вершине  $B$  величина зенитного расстояния Солнца равна  $z$ .

Из треугольника  $B CD$  получим

$$t = \frac{t'}{\sin g'}.$$

По малости величины  $t$  можно принять  $g' \approx g$ . Тогда

$$t = \frac{t'}{\sin g}.$$

Из треугольника  $BCE$  определяем высоту  $H$ ,

$$H = t \cos z,$$

и окончательно

$$H = \frac{t' \cos z}{\sin g}.$$

Величины  $z$  и  $g$  вычисляются по известным селенографическим координатам вершины  $B$  ( $\lambda, \beta$ ), точки наблюдений — центра видимого диска ( $\lambda_0, \beta_0$ ) и точки Солнца ( $\lambda_\odot, \beta_\odot$ ):

$$\cos g = \sin \beta_0 \sin \beta_\odot + \cos \beta_0 \cos \beta_\odot \cos (\lambda_\odot - \lambda_0),$$

$$\cos z = \sin \beta \sin \beta_\odot + \cos \beta \cos \beta_\odot \cos (\lambda_\odot - \lambda).$$

При вычислении относительных высот вершин гор или валов кратеров следует иметь в виду, что тень должна падать на ровную, не имеющую систематического повышения или понижения местность. В противном случае длина тени укорачивается или удлиняется за счет наклона окружающей местности, что искажает вычисляемое значение относительной высоты.

Большое значение имеет также точное отождествление начала и конца тени. Это означает, что на контуре тени надо отыскать деталь, однозначно соответствующую затеняющей детали рельефа.

#### 4. СТАТИСТИКА ЛУННЫХ КРАТЕРОВ

Подсчеты общего числа лунных кратеров на единицу площади имеют важное значение для выяснения ряда природных характеристик различных областей Луны.

Например, число ударных кратеров может служить индексом возраста поверхности.

Происхождение подавляющего большинства лунных кратеров связано с ударными явлениями, вызванными падением метеоритных тел различных размеров. В среднем распределение ударных кратеров на лунной поверхности является случайным. Следовательно, можно считать, что чем дольше существует данная поверхность, тем больше кратеров может появиться в пределах рассматриваемой области. Тогда относительный возраст избранного участка можно определить путем подсчета числа кратеров на единице площади (плотность кратеров). С другой стороны, если возраст поверхности определен независимым методом — по радиационному возрасту распространенных в данном районе пород, то число ударных кратеров на единице площади позволит уточнить интенсивность падения метеоритных тел в эпоху формирования изучаемого ландшафта.

Общее распределение числа кратеров по размерам описывается зависимостью плотности объектов на единице площади от диаметра. Подобная зависимость имеет вид степенной функции

$$N = aD^k,$$

где  $N$  — плотность кратеров, выражаемая числом объектов, по диаметру больших некоторой величины  $D$  на постоянной площади,  $a$  и  $k$  — постоянные параметры, причем  $k < 0$  во всех случаях.

Величины  $a$  и  $k$  могут изменяться для различных районов Луны в зависимости от типа ландшафта, возраста поверхности, выбранного интервала диаметров кратеров и т. п.

Среднюю плотность кратеров для всей поверхности Луны (включая обратное полушарие) и размеров кратеров от 25 км до 200 км можно представить формулой

$$\lg N = 12,08 - 2,28 \lg D,$$

где  $N$  дано в пересчете на  $10^6$  км<sup>2</sup>, а  $D$  выражается в метрах.

Подсчеты кратеров по всей поверхности Луны показали различия в плотности объектов по морским и материковым областям. Количество кратеров в южном полушарии в 1,5 раза больше, чем в север-

ном, и во столько же раз больше на обратном полушарии, чем на видимом. Эти соотношения повторяют особенности распределения морей на лунной поверхности.

Интересной задачей может стать определение постоянных параметров  $a$  и  $b$  для различных районов поверхности Луны и сопоставление этих значений с другими характеристиками ландшафта.

Проводя подсчеты кратеров по снимкам и картам, следует учитывать изменение масштабов длин при измерении диаметров объектов, а также изменение масштабов площадей при определении стандартных участков поверхности. Для снимков, полученных с Земли, изменение масштабов площадей подчиняется закону

$$p = \cos z,$$

где  $z$  — зенитное расстояние, т. е. угловое расстояние измеряемой площади от центра видимого диска.

Более подробную статистическую информацию можно получить по крупномасштабным снимкам. Примером таких изображений могут служить прекрасные снимки с борта автоматической станции «Зонд-8», опубликованные в третьей части «Атласа обратной стороны Луны» (М.: Наука, 1975).

Для кратеров диаметром в несколько километров и менее разработаны системы классификации, учитывающие различия форм и степень сохранности образований.

Выделяются кратеры чашеобразные (сферический сегмент), конические, плоскодонные и концентрические (с двойным валом). На снимках определить принадлежность каждого кратера к одному из перечисленных видов можно по очертаниям и форме внутренней тени. На рис. 44 приводятся конфигурации тени в кратерах определенного профиля при высотах Солнца 10, 20 и 30°, построенные В. И. Кравцовой.

По численности преобладают кратеры первого типа, составляющие не менее 80% от общего числа всех объектов. Конические кратеры составляют 3—10% общего числа. Количество плоскодонных кратеров несколько больше — около 5—15%. Наиболее редким морфологическим типом являются кратеры с двойным концентрическим валом, число которых не превышает 5% от общего количества объектов.

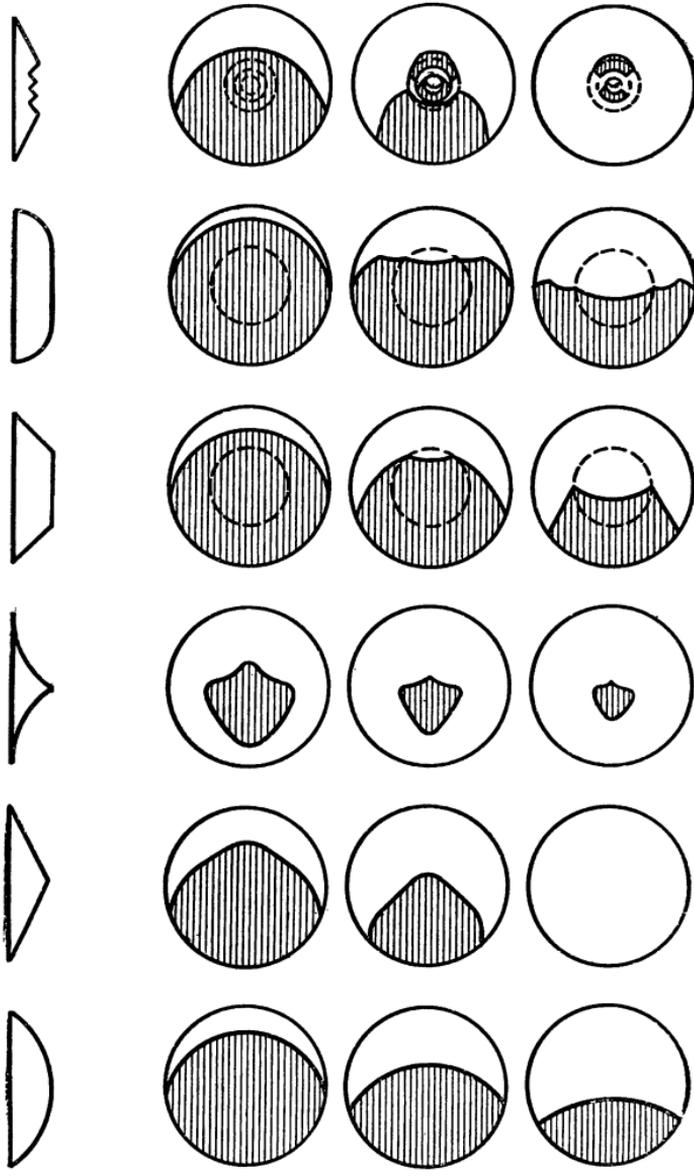


Рис. 14.

Измерения относительной высоты вала над дном по длине тени способом, изложенным выше, могут дать еще одну важную статистическую характеристику кратеров как формы рельефа — зависимость глубины кратера от диаметра. В общем случае эта зависимость имеет вид

$$H = aD^b,$$

где  $H$  — глубина,  $D$  — диаметр кратера,  $a$  и  $b$  — параметры, постоянные для значительных интервалов  $D$ .

Изменения параметров  $a$  и  $b$  являются прежде всего следствием разрушения первоначальных форм кратера. Например, хорошо сохранившиеся конические кратеры имеют отношение глубины к диаметру ( $H/D$ ) в среднем около 0,3. Для сильно разрушенных кратеров этого типа величина  $H/D$  составляет уже 0,08.

В среднем по большим участкам лунной поверхности установлено, что наиболее молодые кратеры, сохранившие четкие очертания, встречаются довольно редко — на их долю приходится лишь 3—4% от общего числа. Около 15% кратеров относятся к зрелым формам, уже частично разрушенным. Наиболее древние кратеры, имеющие сглаженные, сильно разрушенные формы, составляют самую большую группу — около 80% всех объектов. Существенный интерес представляют измерения и подсчеты по отдельным районам, отличающимся общей морфологией, альбедо или другими особенностями. Массовые определения отношения  $H/D$  или параметров  $a$  и  $b$  в сочетании с данными по плотности кратеров на единицу площади могут оказаться важной характеристикой возраста поверхности в целом.

Для кратеров размером от одного километра до нескольких десятков километров зависимость глубины от диаметра в первом приближении можно представить простым соотношением

$$H \approx 0,2 D.$$

Учитывая, что кратеры размером более 10 км довольно часто имеют центральную горку, высоту которой удобно определять по длине тени, можно указать еще одну зависимость, важную в статистике кратеров. Оказывается, высота центральной горки над

уровнем кратерного дна определяется в среднем размерами кратера. Приближенную зависимость высоты центральной горки  $h$  от диаметра кратера  $D$  можно описать выражением

$$h \approx 0,026D - 0,26.$$

Более точное соотношение указанных величин предоставим вывести читателям этой книги в качестве самостоятельного исследования.

Для самостоятельной разработки читателям можно предложить также задачу, связывающую статистику лунных кратеров с селенохронологией.

Поскольку падение крупного метеоритного тела с последующим образованием большого кратера происходит редко, в статистическом отношении чем больше кратер, тем он древнее. Как мы уже упоминали ранее, изучая взаимоналожения кратеров, можно выстроить временную последовательность их появления. Очевидно, что более старые образования несут на себе следы многократных наложений более молодых и, как правило, меньших по размерам кратеров. По снимкам материковых областей видимого и обратного полушарий попробуйте проследить, как кратеры меньшего размера располагаются на валу и дне более старого крупного кратера. Если в вашем распоряжении окажется снимок из лунного фотографического атласа с хорошим разрешением, вы можете обнаружить многочисленные примеры двух, трех или более последовательных наложений. Попробуйте, используя возможно большее число примеров, вывести приближенную зависимость между размером кратера и числом последовательных наложений все более мелких кратеров друг на друга в его пределах. В общем случае должно соблюдаться правило: чем крупнее кратер, тем большее число временных ступенек можно обнаружить по кратерам, возникшим позднее на его валу и дне.

## 5. ОЦЕНКА МОЩНОСТИ ЛАВОВОГО ПОКРЫТИЯ В КРАТЕРАХ И МОРЯХ

Наиболее древние кольцевые структуры лунного рельефа к настоящему времени оказались частично или полностью погребенными под пластами более поздних излияний базальтовых лав. Оценка мощно-

сти современного лавового покрытия кратеров и морей представляет исключительный интерес для изучения истории лунных ландшафтов.

Частично или полностью затопленное дно является распространенной особенностью крупных лунных кратеров. Подобные образования встречаются как вблизи границ между морскими и материковыми

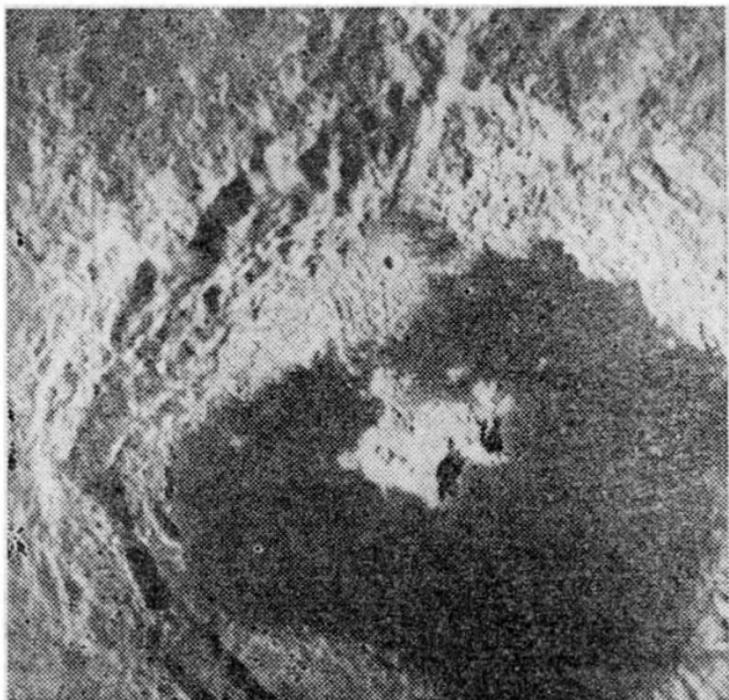


Рис. 45.

областями, так и внутри материков. Определить толщину базальтового покрова внутри кратера можно, например, по высоте центральной горки.

Типичным кратером с темным покрытием дна и центральной горкой является кратер Циолковский на обратной стороне Луны, имеющий диаметр около 190 км (рис. 45).

Средний уровень затопленной части дна кратера расположен на 4 км ниже гребня вала, что можно определить по длине тени описанным выше методом. Наиболее высокая точка центральной горки кратера возвышается над уровнем дна на 3,2 км. Если

воспользоваться приведенной выше зависимостью высоты центральной горки от диаметра кратера, можно определить, что первоначальное значение  $h_0$  в случае кратера Циолковский составляло 4,7 км. Следовательно, современный слой лавового покрытия может достигать толщины 1,5 м.

Другим способом определения мощности верхних слоев базальтовых пород может служить измерение высот над окружающей местностью вала частично затопленных кратеров. Этим способом удобно воспользоваться при построении систем изопахит — линий равных значений мощности слоев базальта в лунных морях. Схема измеряемых и вычисляемых элементов показана на рис. 46. На снимках морских районов, полученных при наиболее благоприятных

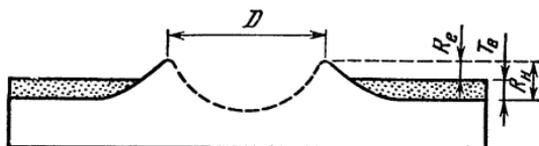


Рис. 46.

условиях освещения, по длине тени измеряют остаточную высоту вала  $R_e$  над окружающей местностью. Момент получения снимка должен быть таким, чтобы конец тени от гребня вала падал на ровный плоский участок местности, не имеющий заметного общего уклона. Измеряется также диаметр кратера  $D$ .

Если принять известной величину первоначальной высоты вала  $R_H$ , мощность базальтового напластования определится разностью

$$T_B = R_H - R_e.$$

Согласно данным статистического анализа зависимость высоты внешнего вала от диаметра кратера носит вид степенной функции:

$$R_H = kD^\alpha.$$

В случае молодых кратеров, вал которых практически сохранился полностью, постоянные функции имеют следующие значения:

$$k = 0,158, \quad \alpha = 0,488.$$

Величины  $R_H$  и  $D$  измеряются в километрах. Подставляя вычисленную величину  $R_H$  в выражение для  $T_B$ , в каждом конкретном случае получим оценки базальтового слоя в рассматриваемом морском районе.

Более строгий подход к описанным вычислениям требует учета деградации кратеров и соответствующей этому степени разрушения вала. Полагают, однако, что за время послеморского периода общий процесс разрушения крупных кратеров проходил

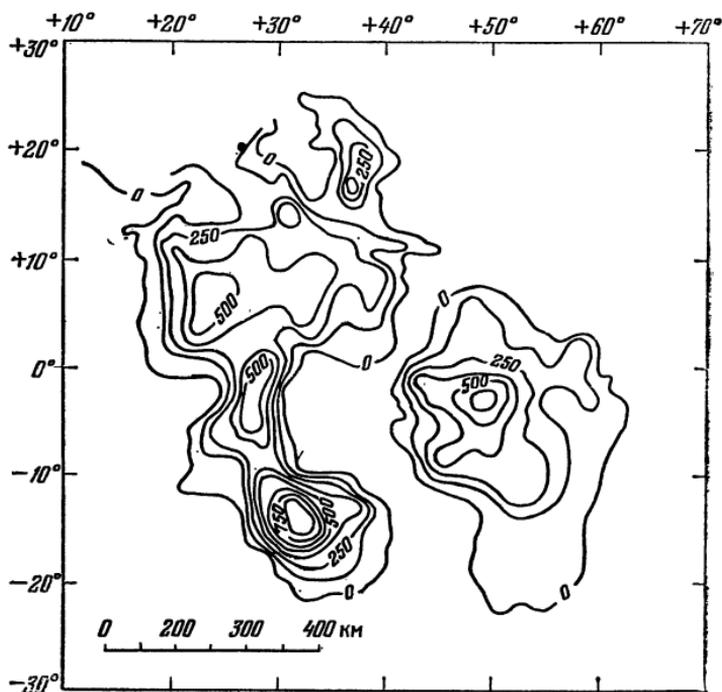


Рис. 47.

медленно. Подсчитано, что наибольшая степень разрушения вала ограничивается величиной менее 50 м.

Вместе с тем возможная индивидуальная степень деградации кратеров может быть учтена, поскольку формы древнего материкового рельефа имеют различный возраст и в отдельных случаях носят следы более интенсивного доморского разрушения. Учет степени деградации сводится к изменению значений постоянных степенной функции. Для кратеров с общим разрушением порядка 25% используют значения

$$k_1 = 0,122, \quad \alpha_1 = 0,488.$$

При степени общего разрушения 50% значения постоянных равны

$$k_2 = 0,077, \quad \alpha_2 = 0,488.$$

Если определения мощности слоя базальтовых лав проведены во многих точках, достаточно плотно покрывающих исследуемую область, то можно соединить точки с равными значениями плавными кривыми. В результате получится карта изопахит. Образец подобной карты дан на рис. 47. Изопахиты проведены через 125 м и показывают мощность базальтовых лав в Море Спокойствия, Море Нектара и Море Изобилия.

Описанные исследования можно проводить и по лунным картам, если показаны горизонталями или отдельными отметками значения относительных высот центральных горок и внешних валов кратеров.

## 6. ИЗУЧЕНИЕ ЛУЧЕВЫХ СИСТЕМ

Многие лунные кратеры обладают светлыми ореолами и лучами. В большинстве случаев ореолы и лучи окружают небольшие по размерам кратеры. Вместе с тем на Луне существуют лучевые системы, которые по размерам можно отнести к планетарным образованиям. На рис. 48 представлена схема расположения наиболее крупных лучевых систем Луны, список которых с координатами и размерами центральных кратеров приведен в таблице 9. По-видимому, приведенные данные не являются полными в отношении обратной стороны Луны, поскольку эта часть лунного шара недостаточно изучена при полнолунных условиях освещения, позволяющих выявить лучевые системы. Не все возможности выявления лучевых систем исчерпаны и в отношении видимого полушария. Поэтому изучение особенностей строения, систематизация и составление каталогов лучевых кратеров представляют определенный научный интерес помимо того, что подробное знакомство с лучевыми системами является благодарной темой любительских исследований.

По крупномасштабным снимкам или картам, хорошо передающим мелкие детали рельефа, можно проследить структуру лучей на разном удалении от кратера — центра системы.

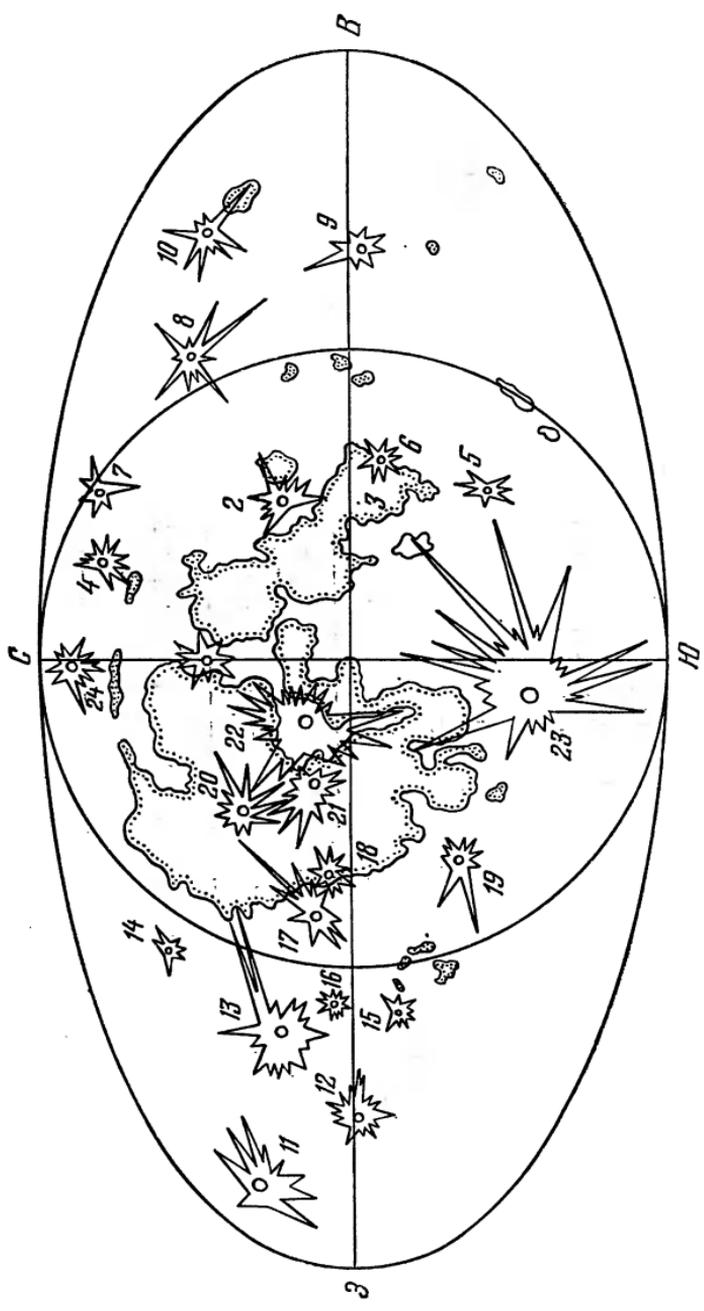


Рис. 48.

Вблизи вала лучевого кратера венцом располагаются радиально-струйчатые элементы, переходящие затем в светлые радиально ориентированные лучи.

Т а б л и ц а 9

№ п/п	Название кратера	Координаты		Диаметр, км
		долгота, град.	широта град.	
1	Аристилл	+1	+34	55
2	Прокл	+47	+16	30
3	Мессье	+48	-2	12
4	Фалес	+50	+62	35
5	Стевин А	+52	-32	10
6	Лангрэн	+61	-9	140
7	—	+83	+63	20
8	Джордано Бруно	+103	+36	25
9	—	+122	-3	25
10	—	+140	+33	15
11	Джексон	-163	+22	85
12	—	-135	-2	20
13	Ом	-114	+18	70
14	—	-108	+44	30
15	—	-108	-11	20
16	Ленц	-102	+3	20
17	Ольберс А	-78	+8	45
18	Кавальери	-67	+5	65
19	Бюрги А	-63,5	-24	15
20	Аристарх	-48	+24	40
21	Кеплер	-38	+8	30
22	Коперник	-20	+10	90
23	Тихо	-11	-43	90
24	Анаксагор	-10	+73	55

Для кратеров размером в несколько десятков километров область подобного рельефа соответствует темному ореолу. Вероятно, это связано с экранированием выбросов внешним валом кратера, возникающим одновременно с разлетом осколков раздробленных взрывом пород. У кратеров меньшего размера, не имеющих заметно возвышающегося внешнего вала, светлые лучи и сплошной ореол начинаются непосредственно от кромки кратера.

С целью систематизации разного вида лучевых кратеров полезно по снимкам, полученным при благоприятных условиях освещения, зарисовывать схемы расположения темных венцов, измеряя их протяжен-

ность. Одной из конкретных задач может стать поиск эмпирической зависимости размеров темного венца от диаметра лучевого кратера и высоты его внешнего вала.

Прослеживая далее особенности строения лучевых систем, следует обратить внимание, что в большинстве случаев лучи состоят из отдельных ярких элементов, ориентированных в одном направлении. Индивидуальной особенностью каждой лучевой системы является степень совпадения отдельных ярких элементов лучей с общим радиальным направлением. Изучение радиальности лучей рассматриваемой системы рекомендуем проводить по специально построенной картографической схеме. Если в формулы ортографической проекции, приведенные выше, подставить в качестве значений  $\lambda_0$  и  $\beta_0$  селенографические координаты центра лучевого кратера, то построенная проекция не будет искажать радиальные направления, проведенные из центра лучевой системы. Используя карты или снимки с нанесенной сеткой координат, на построенную схему надо нанести по координатам положение отдельных ярких элементов и сопоставить получаемые реальные направления светлых лучей с радиальными направлениями, отнесенными к центру лучевого кратера.

Даже не прибегая к фотометрическим измерениям, можно заметить, что при удалении от кратера вдоль луча наблюдается общее падение яркости. Лучевые системы, проходящие по морской поверхности, имеют меньшую яркость, чем лучевые системы на материке. Эту особенность также можно отразить на схеме изучаемой лучевой системы, прибегнув к приблизительной оценке яркости.

Иногда можно отметить различие в строении морских и материковых лучевых систем. Примером может служить сопоставление двух гигантских лучевых систем, доминирующих на видимом полушарии Луны — кратеров Коперник и Тихо. В первом случае форма лучевой системы имеет вид светлого ореола с паутинным переплетением отдельных лучевых элементов. При сохранении общих радиальных направлений в расположении ярких элементов система осложнена многочисленными разрывами и промежутками, что создает впечатление искривления отдельных лучей.

В случае кратера Тихо направленность лучевых элементов сохраняется на очень большом расстоянии от кратера. Сами яркие элементы более четко очерчены и, в отличие от ажурности лучей Коперника, лучевая система кратера Тихо состоит из небольшого числа широких, радиально направленных протяженных лучей.

Описанные типичные подробности строения систем светлых лучей также желательно отразить на картографических схемах изучавшихся объектов.

Для крупных лучевых кратеров типичной особенностью является наличие сектора отсутствия лучей. Наглядным примером служит система кратера Прокл, расположенного на материковой перемычке между Морем Спокойствия и Морем Кризисов. Протяженность лучей Прокла сравнительно небольшая — около 200—300 км в северо-западном, южном и северо-восточном направлениях, и около 400 км в западном направлении.

Общими причинами возникновения сектора отсутствия лучей в лучевых системах могут быть следующие обстоятельства:

1) падение кратерообразующего тела под очень косым углом, при котором в направлении подлета падающего тела остается зона, свободная от выбросов;

2) возвышающиеся формы рельефа в окрестностях падения кратерообразующего тела могут препятствовать разлету выбросов в каком-то определенном секторе;

3) в районе падения тела могут быть поверхностные породы, по-разному реагирующие на ударное воздействие выбросов, отчего яркость отдельных лучей различна.

Если на построенной картографической схеме лучевой системы выявился сектор отсутствия лучей, следует по снимкам этого района, полученным при косом освещении, попытаться выявить возможную морфологическую причину или ее отсутствие. В последнем случае появление сектора отсутствия лучей можно отнести за счет особенностей траектории падавшего тела.

Особого внимания заслуживают такие уникальные схемы распространения лучей, как, например, лучевая система кратеров Мессье и Мессье А в Море

Изобилия. Вдоль направления, соединяющего оба кратера, отходит прямой двойной луч, простирающийся примерно на 200 км по поверхности моря. Перпендикулярно к этому направлению от кратера Мессье распространяются симметрично в обе стороны две широкие светлые полосы протяженностью около 100 км каждая. Во всех других направлениях светлые лучи отсутствуют.

Еще более интересным фактом является то, что система Мессье имеет аналог. В соседнем Море Нектара такой же схемой распространения лучей обладает кратер Росс. Можно предположить, что существование по крайней мере двух подобных лучевых систем свидетельствует в пользу определенного процесса формирования ярких элементов, а не просто случайно возникшей необычной формы.

Приведенные примеры показывают, что изучение лучевых систем по снимкам и картам Луны открывает широкие возможности получения новых интересных данных методами любительских исследований.

## ГЛАВА VI

# ФОТОГРАФИЧЕСКИЕ НАБЛЮДЕНИЯ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ

### 1. ТЕХНИКА ФОТОГРАФИРОВАНИЯ ЛУНЫ

Благодаря сравнительно большой яркости и значительным угловым размерам видимого диска, Луна является весьма доступным объектом фотографирования при использовании несложных технических средств.

Для фотографирования в главном фокусе объектива телескопа надо снять окуляр и с помощью переходного устройства укрепить на окулярной части фотокамеру без объектива. Наиболее удобной является конструкция камеры, которая позволяет производить съемку на фотопластинки, а предварительное наведение и фокусировку изображения — по матовому стеклу.

Диаметр диска Луны на фотопластинке в сантиметрах примерно равен фокусному расстоянию объектива в метрах.

Съемку в главном фокусе объектива телескопа можно выполнять при неподвижном телескопе, поскольку использование высокочувствительных фотопластинок допускает короткие выдержки порядка  $1/10$  —  $1/50$  секунды. В случае фотографирования Луны с целью изучения топографии целесообразно применять слабый желтый светофильтр, что позволяет увеличить четкость изображения.

Снимки Луны более крупного масштаба можно получить с окулярной камерой. Объективом камеры служит окуляр телескопа. Кассетная часть располагается на некотором расстоянии от окуляра. Размеры кассетной части согласуются с размерами видимого диска Луны на изображении. Если фотокамера укрепляется на подвижной части окулярного телескопа, фокусировка изображения осуществляется по матовому стеклу простым перемещением окуляра. Еще более удобной является конструкция фотокамеры, позволяющая менять расстояние матового стекла от окуляра. Этим достигается возможность варьировать масштаб изображения.

С увеличением масштаба изображения падает его яркость. Поэтому при съемке с помощью окулярной камеры потребуется увеличить выдержку до одной секунды или более. В этом случае фотографирование с неподвижным телескопом приведет к смазыванию изображения, следовательно, становится необходимым часовым механизмом для ведения телескопа.

Многие из описанных выше задач изучения Луны можно решать с использованием полученных самостоятельно фотографических изображений лунного диска. В большинстве случаев последующая обработка результатов фотографирования потребует знания «выходных данных» снимка. Поэтому все сведения о каждой сделанной фотографии (дату и время съемки, выдержку, величину фокусного расстояния инструмента, тип фотопластинок, примечания о погодных условиях и др.) следует неукоснительно заносить в журнал наблюдений. Для того чтобы точно знать, к какому снимку относятся записанные в журнале сведения, на эмульсионной стороне фотопластинки простым карандашом надо в темноте написать дату и время экспозиции или номер снимка по журналу. После проявления карандашная запись сохранится на фотографическом слое и с ее помощью

будет нетрудно восстановить обстоятельства получения снимка.

Накапливая фототеку, полезно сразу же создавать ее каталог, в котором, кроме указанных выше данных о фотографировании, целесообразно привести для каждого снимка величины фазового угла, либраций по долготе и широте, углового радиуса видимого диска, определяемые на момент экспозиции по таблицам Астрономического календаря или Астрономического ежегодника.

## 2. ПОСТРОЕНИЕ ФОТОКАРТ ЛУНЫ

Построить фотокарту Луны, т. е. фотографическое изображение лунной поверхности с селенографической сеткой координат, на основе самостоятельно полученных снимков можно теми же способами, которые описаны в главе V. На момент экспозиции выбранного для фотокарты снимка определяются значения координат видимого диска, численно равные величинам оптической либрации:

$$\lambda_0 = l, \quad \beta_0 = b.$$

Поскольку в практике любительских наблюдений используются телескопы с небольшим фокусным расстоянием, точности получаемых мелкомасштабных изображений вполне удовлетворяет сетка координат, вычисленная по формулам ортографической проекции. Если возникнет необходимость в более строгом соответствии картографического изображения и фотографии, то следует использовать внешнюю перспективную позитивную проекцию.

Совмещение сетки и фотоснимка выполняется по опорным пунктам. Для этой операции можно приспособить обыкновенный фотоувеличитель. Вычерченная сетка параллелей и меридианов с нанесенными по координатам положениями опорных пунктов предварительно переснимается на репродукционной установке. При этом надо тщательно проследить за установкой фотоаппарата по отношению к поверхности столика, на котором лежит переснимаемый чертеж: плоскость фотопленки (или фотопластинки) в съемочной камере и плоскость чертежа должны быть параллельны. Полученный негатив (умень-

шенный относительно оригинала) закладывается в фотоувеличитель и проектируется на фотографию, изготовленную в масштабе будущей фотокарты.

Для наблюдателя, искушенного в фотографии, не составит труда путем двойного последовательного экспонирования фотоизображения и сетки координат получить фотокарту в окончательном виде.

Совмещение координатной сетки и мелкомасштабного снимка можно провести, не прибегая к использованию опорных пунктов, что не всегда удобно, особенно при фазах между новолунием и четвертями, когда Луна наблюдается в виде узкого серпа.

Одним из рекомендуемых способов в подобном случае может стать ориентирование сетки координат по направлению центрального меридиана при совмещенных центрах видимого диска и проекции.

Для того чтобы на снимке определить положение центрального меридиана, требуется в процессе наблюдений отметить на пластинке с изображением видимого диска

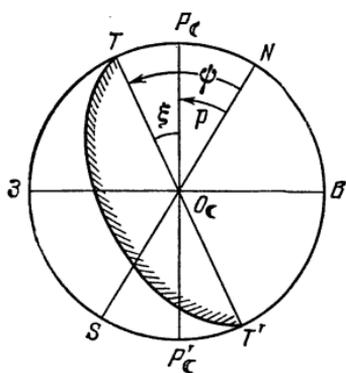


Рис. 49.

Луны направление суточного движения. В телескопе с параллактической установкой, достаточно точно ориентированной по отношению к оси мира, можно натянуть в фокальной плоскости нить, направление которой предварительно совмещается с направлением видимого суточного движения какой-нибудь яркой звезды. При съемке на снимке лунного диска тень от нити изобразится в виде резкой тонкой линии. Приступая к совмещению снимка с координатной сеткой, надо через центр видимого диска провести прямую перпендикулярно полученному следу суточного движения. На рис. 49 эта прямая, соответствующая направлению круга склонений, обозначена  $NO_C S$ . Затем из таблиц Астрономического календаря на момент съемки надо выбрать значение  $p$  позиционного угла центрального меридиана  $P_C O_C P'_C$ . Угол  $p$  (см. также рис. 19) отсчитывается от северного направления круга склонений против часовой стрелки. Отложив на снимке угол  $p$  от направления  $NO_C$  с вершиной в

центре видимого диска  $O_{\zeta}$ , получим положение центрального меридиана  $P_{\zeta}O_{\zeta}$ . Последующее наложение координатной сетки на снимок сводится к совмещению центров видимого диска и проекции, а также направлений центрального меридиана на обоих изображениях.

С меньшей точностью, но значительно проще совмещение координатной сетки и снимка выполняется по линии рогов.

На рис. 49 линия рогов обозначена  $TO_{\zeta}T'$ . На снимке это направление можно провести через центр видимого диска, соединив крайние точки терминатора. Линия рогов отклоняется от центрального меридиана на угол  $P_{\zeta}O_{\zeta}T = \xi$ , который равен  $\xi = \psi - p$ , где  $p$  — позиционный угол центрального меридиана,  $\psi$  — позиционный угол лунного терминатора (или линии рогов), отсчитываемый от северного направления круга склонения против часовой стрелки. Значение угла  $\psi$ , так же как и  $p$ , выбирается из таблиц Астрономического календаря на момент съемки.

Определив величину  $\xi$ , нетрудно построить направление центрального меридиана на снимке, а затем совместить фотоизображение с координатной сеткой.

Пользуясь значениями физических координат Луны  $\lambda_0$ ,  $\beta_0$ ,  $p$  и  $\psi$ , необходимо иметь в виду, что сообщаемые в астрономических календарях и ежегодниках величины относятся к центру Земли, т. е. действительны для случая наблюдений из центра диска Земли, видимого с Луны. При таком положении наблюдателя на земной поверхности Луна находится точно в зените. С территории нашей страны Луна на такой высоте над горизонтом не наблюдается, но чем меньше высота Луны над горизонтом, тем значительнее табличные величины физических координат отличаются от наблюдаемых. При положении диска Луны у самого горизонта смещение видимого центра относительно расчетного может достигать одного градуса. В этом случае для обеспечения требуемой точности вычисление и совмещение координатной сетки с фотоизображением следует проводить с исправленными за параллактическое смещение величинами физических координат Луны. Формулы для вычисления параллакса можно найти в специальных руководствах по сферической астрономии.

### 3. ФОТОГРАФИЧЕСКАЯ ФОТОМЕТРИЯ ЛУНЫ

Располагая самостоятельно полученными оригинальными негативами Луны, наблюдатель имеет возможность провести фотометрические исследования деталей ее поверхности.

Снимки, предназначенные для фотографической фотометрии, должны быть прокалиброваны с помощью специальной фотометрической шкалы, впечатываемой в каждый негатив перед его проявлением.

Предварительно необходимо изготовить пластинку — ослабитель, состоящий из набора полей различной плотности. Наиболее простой техникой изготовления ослабителя является засветка ограниченных участков фотопластинки с различной продолжительностью экспозиции. Для ослабителя желательно использовать диапозитивные пластинки или пленки. Перед экспонированием на фотослой накладывается маска из светонепроницаемого материала, в которой вырезаны 6—8 окошек произвольной формы. В начале экспозиции открыты все окошки маски, которые затем последовательно закрываются через промежутки времени, каждый раз увеличивающиеся вдвое. Таким образом, на пластинке-ослабителе получим последовательность полей с различным почернением, соответствующим ряду длительности экспозиций: 0,5 с, 1 с, 2 с, 4 с, 8 с, 16 с и т. д. Интенсивность засветки подбирается опытным путем так, чтобы крайние поля ослабителя соответствовали минимальному и максимальному почернению.

Затем ослабитель надо проградировать в шкале фотометрических единиц. Сделать это можно тем же фотографическим способом, прибегая к последовательному экспонированию фотометрических полей засветкой различной интенсивности. Регулировать степень интенсивности можно удалением источника освещения на различные расстояния. Производя засветку, надо добиться полного устранения рассеянного света, каких-либо посторонних отблесков и бликов.

В противном случае точность градуировочной шкалы будет невысокой.

Ряд засветок от источника света, постепенно удаляющегося на расстояния  $l_1, l_2, l_3, \dots, l_n$ , дает последовательность почернений, соответствующих интенсивности освещения, которую можно вычислить

по закону квадратов расстояния. В относительной шкале звездных величин интенсивность освещения вычисляется по формуле

$$m_k - m_0 = -2,5 \lg \frac{l_0^2}{l_k^2}.$$

Если принять величину  $m_0$  равной нулю, то

$$m_k = 5 (\lg l_k - \lg l_0);$$

здесь  $l_0$  — наименьшее расстояние до источника света, для которого интенсивность освещения в звездных величинах ( $m_0$ ) принята равной нулю,  $l_k$  — расстояние, при котором получена засветка, соответствующая интенсивности освещения  $m_k$ .

Число засветок градуировочной шкалы желательно иметь больше, чем фотометрических полей на ослабителе, для того чтобы сравнением почернений получить возможно точнее значения  $m$  для каждого поля ослабителя.

После экспонирования пластинки в съемочной камере телескопа на участок, заведомо не занятый изображением лунного диска, контактным способом впечатывается шкала ослабителя. Следовательно, проявленный негатив будет содержать изображение как лунного диска, так и фотометрической шкалы, с помощью которой степень почернения негатива можно переводить в значения звездных величин.

В практике профессиональных исследований сравнение степени почернения разных участков негатива и полей фотометрической шкалы производят с помощью специальных приборов — микрофотометров. Для цели любительских исследований подобное сравнение можно сделать визуально. С негатива надо получить отпечаток, отрезать изображение ослабителя и, прикладывая его к разным участкам снимка, оценить значения  $m$  для исследуемых деталей лунной поверхности.

Фотометрические определения по одиночному снимку представляют интерес в случае изображения полного диска Луны в фазе полнолуния. Оценка яркости деталей в шкале звездных величин показывает различия альbedo лунных образований, т. е. их отражательной способности.

Классической задачей лунной фотометрии является определение фазовых изменений яркости отдель-

ных деталей рельефа. Провести самостоятельные исследования в этом направлении, несомненно, будет интересно каждому наблюдателю. На всех пластинках серии, полученных в течение лунации, надо впечатать фотометрическую шкалу, строго соблюдая одинаковую продолжительность экспозиции и неизменность интенсивности источника света, используемого при печатании. Этим обеспечивается фотометрическая связь всех изображений, сделанных в разное время. Очевидно, что звездные величины объектов на разных негативах при описанных условиях будут выражены в одной системе единиц и могут сопоставляться между собой. Величины яркости каждого объекта при разных фазах наносятся на график по значению фазового угла. Различия в кривых показывают индивидуальные отличия закона рассеяния света.

Фазовые изменения яркости деталей удобнее представлять в шкале относительных яркостей, значения которых связаны со шкалой звездных величин зависимостью

$$m_{\alpha} - m_0 = -2,5 \lg \frac{I_{\alpha}}{I_0},$$

где  $m_{\alpha}$  — звездная величина объекта при фазовом угле  $\alpha$ ,  $m_0$  — звездная величина объекта при  $\alpha = 0^{\circ}$ ,  $I_{\alpha}$  — яркость объекта при фазовом угле  $\alpha$ ,  $I_0$  — яркость объекта в относительной шкале при  $\alpha = 0^{\circ}$ . Полагая, что максимальная яркость объекта в полнолуние равна  $I_0 = 1,0$ , получим

$$\lg I_{\alpha} = -0,4 (m_{\alpha} - m_0).$$

Кривые фазовых изменений яркости отдельных деталей, построенные в шкале  $I$ , можно сравнивать между собой, поскольку различия альбедо в этом случае не влияют на форму графиков.

Поскольку в течение лунации снимки видимого диска могут быть сделаны при различных высотах Луны над горизонтом, в значения яркости объектов следует вводить поправки за ослабление света в земной атмосфере. Описание техники вычисления поправок и необходимые для этого таблицы приводятся в руководствах по астрономической фотометрии.

Окончательно полученные кривые изменения яркости каждого объекта в зависимости от фазового

угла можно сравнить с такими же кривыми, построенными для среднего закона отражения света лунной поверхностью, который представляет пространственная индикатриса рассеяния (см. Приложение VIII).

#### 4. ФОТОМЕТРИЧЕСКИЕ КАРТЫ ЛУНЫ

Современные фотометрические исследования Луны базируются на измерениях яркости по площадям, которые выполняются путем построения системы изофот. В последнее время созданы сложные электронные приборы, предназначенные для фотометрической обработки снимков протяженных астрономических объектов с последующим построением системы линий равной яркости — изофот.

Вместе с тем получил широкое распространение способ фотографической эквиденситометрии, основанный на эффекте Сабатье, который заключается в частичном обращении изображения при дополнительной засветке после неполного проявления. В этом случае сложение в одном фотослое негатива и позитива для разных по плотности частей снимка дает на границе прямого и обращенного изображений тонкую линию — эквиденситу. Эта линия соответствует контуру области с выделяемой плотностью.

Фотографический способ сравнительно прост и вполне доступен каждому наблюдателю, знакомому с основами фотографии.

Способ фотографической эквиденситометрии был разработан Э. Лау и В. Кругом. В отечественной литературе применение способа для фотометрического анализа изображений протяженных астрономических объектов описано в серии работ И. И. Брейдо и др.

Фотографическая эквиденситометрия обладает высокой разрешающей способностью и допускает при необходимости значительное увеличение полученных изображений систем эквиденсит без ущерба для фотометрической точности.

Техника получения эквиденсит состоит в следующем. Оригинальный негатив надо контактно перепечатать на высококонтрастной фотопленке или фотопластинке. Все последующие операции также выполняются на высококонтрастном фотографическом материале путем контактной печати. Для того чтобы получить широкий набор эквиденсит, с оригинального

негатива делается серия контактных копий при различных по длительности экспозициях. На каждой из копий должны хорошо проработаться области изображения с разной плотностью. Например, на первой копии, полученной с оригинального негатива при короткой экспозиции, лучше всего будут проработаны морские образования, на второй копии при более длительной экспозиции — переходные области, на третьей — материковые территории, на четвертой — лучевые системы и т. д.

Затем с каждой копии надо получить эквиденситы I ступени. Для этого опять делается контактный отпечаток на пластинке или пленке (первая экспозиция) и погружается в проявитель. Через короткое время процесс первого проявления прерывается и пластинка переносится в ванночку для промывки в проточной воде. Во время короткой промывки пластинка освещается равномерным светом (вторая экспозиция), после чего пластинка опять переносится в проявитель (второе проявление). Завершается обработка промежуточной промывкой, фиксированием и окончательной промывкой.

В описанном процессе используется специальный (парааминофеноловый) проявитель, обеспечивающий повышенную контрастность проявляемого изображения:

Парааминофенол	7 г
Сульфит натрия безводный	50 г
Сода безводная	50 г
Вода	до 1 л

Проявитель изготавливается за сутки до применения. При растворении сульфита в воде комнатной температуры может выпасть осадок в виде рыхлых хлопьев, которые исчезают при нагревании раствора.

Подобными же свойствами обладает проявитель ORWO MN-28, имеющий состав:

Лимонная кислота	5 г
Гидрохинон	25 г
Сульфит натрия безводный	40 г
Фосфат калия	110 г
Бромистый калий	3 г
Вода	до 1 л

Этот проявитель также следует выдержать в течение суток после приготовления.

Режим обработки подбирается опытным путем в зависимости от используемых материалов. В качестве предварительного варианта можно рекомендовать следующую продолжительность операций, применявшуюся для фотопластинок FO-5 ORWO, парааминофенолового проявителя и освещенности 30 лк при экспонировании и засветке:

Первая экспозиция	2÷45 с
Первое проявление	45÷60 с
Промывка	60 с
Вторая экспозиция (засветка)	1÷20 с
Второе проявление	120 с
Промывка	
Фиксирование	
Промывка	

Фиксирование проводится в обычном фиксаже для пластинок или пленок.

После завершения полного цикла обработки на пластинке должны просматриваться эквиденситы I степени — изолинии плотности, которые могут быть еще довольно широкими.

С пластинки эквиденсит I степени контактно по описанной выше схеме получают эквиденситы II степени, с которых аналогично получают эквиденситы III степени. В случае необходимости можно с последнего изображения получить эквиденситы IV степени. На рис. 50а, 50б и 50в приводятся примеры системы изолиний плотности, построенных способом фотографической эквиденситометрии.

Следующим этапом построения фотометрической карты является калибровка или стандартизация эквиденсит в системе единиц яркости, т. е. превращение изолиний плотности в изофоты.

Калибровку можно провести по эквиденситам ступеней фотометрической шкалы, впечатанной на оригинальный негатив с помощью ступенчатого ослабителя, как было описано выше. В этом случае соответствующей эквиденсите приписывается значение  $m$  или  $I$  того поля фотометрической шкалы, которое оконтуривает данная изолиния.

Более сложным процессом является фотометрическая стандартизация системы эквиденсит. Изложим здесь наиболее доступный способ опорного каталога. Способ заключается в том, что на изучаемом снимке отождествляется ряд объектов, яркость которых при

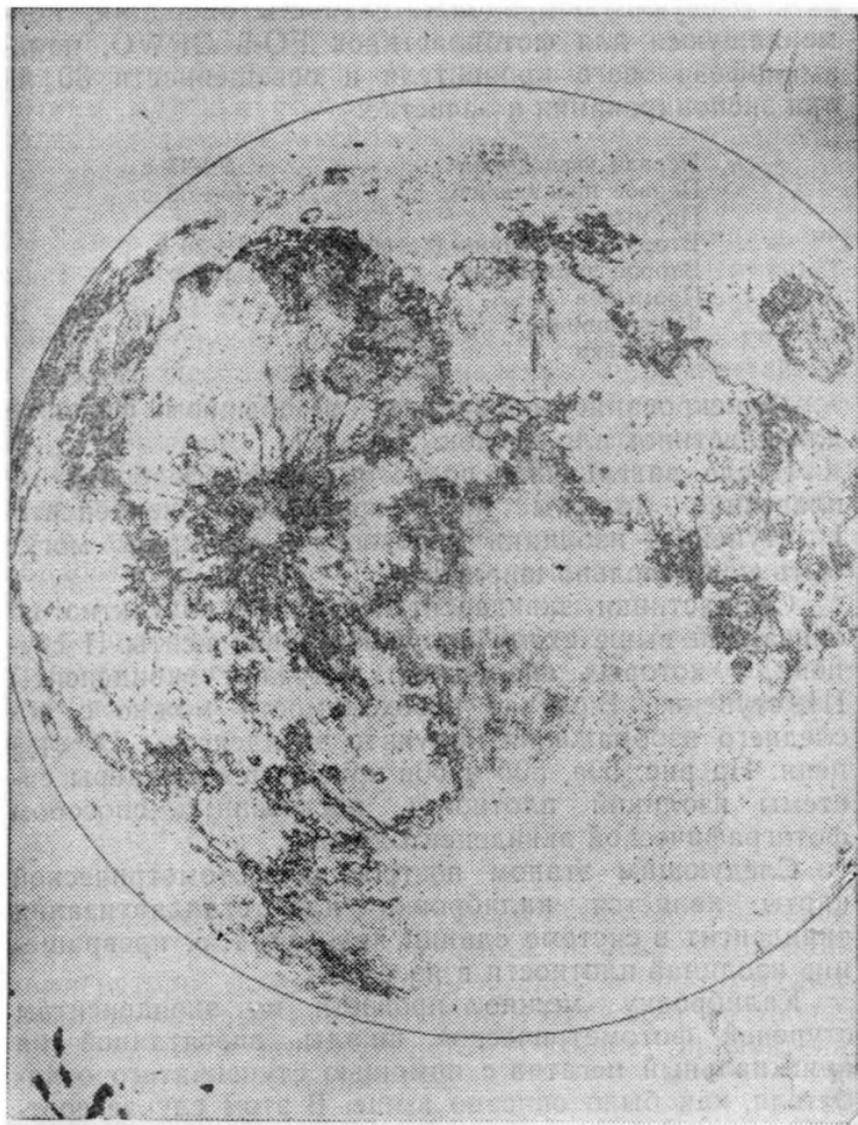


Рис. 50а.

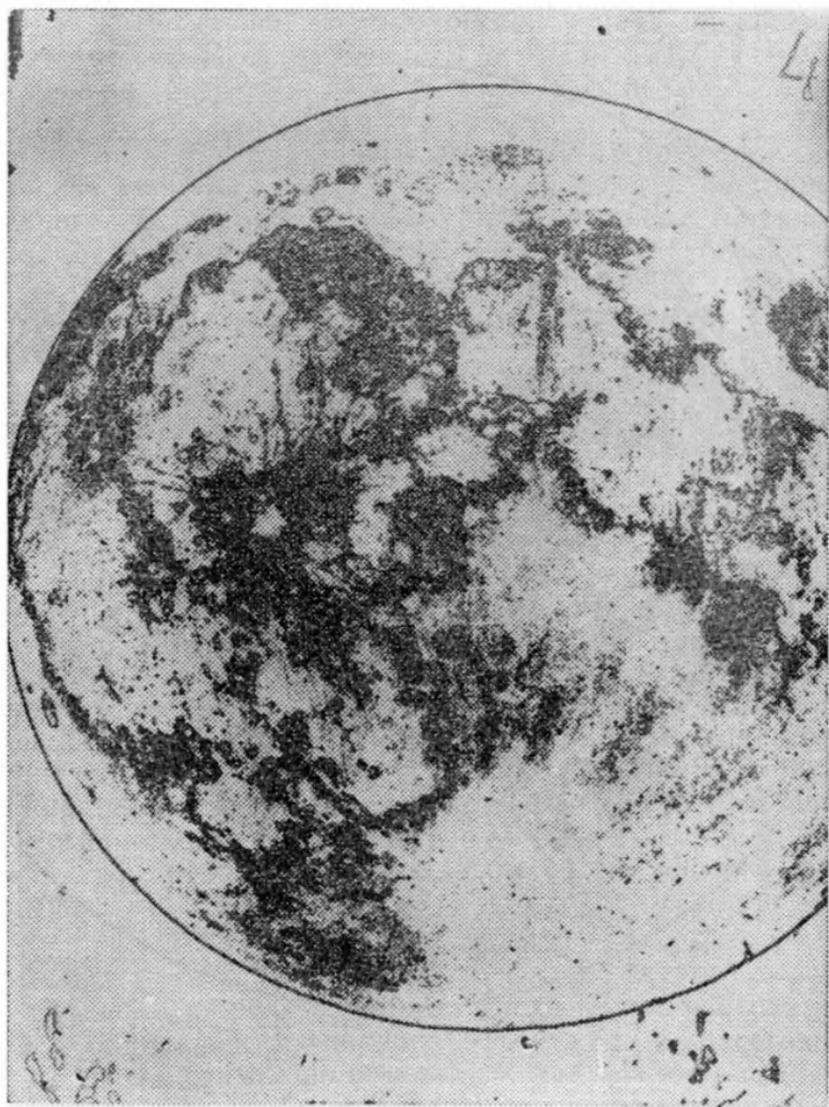


Рис. 506.

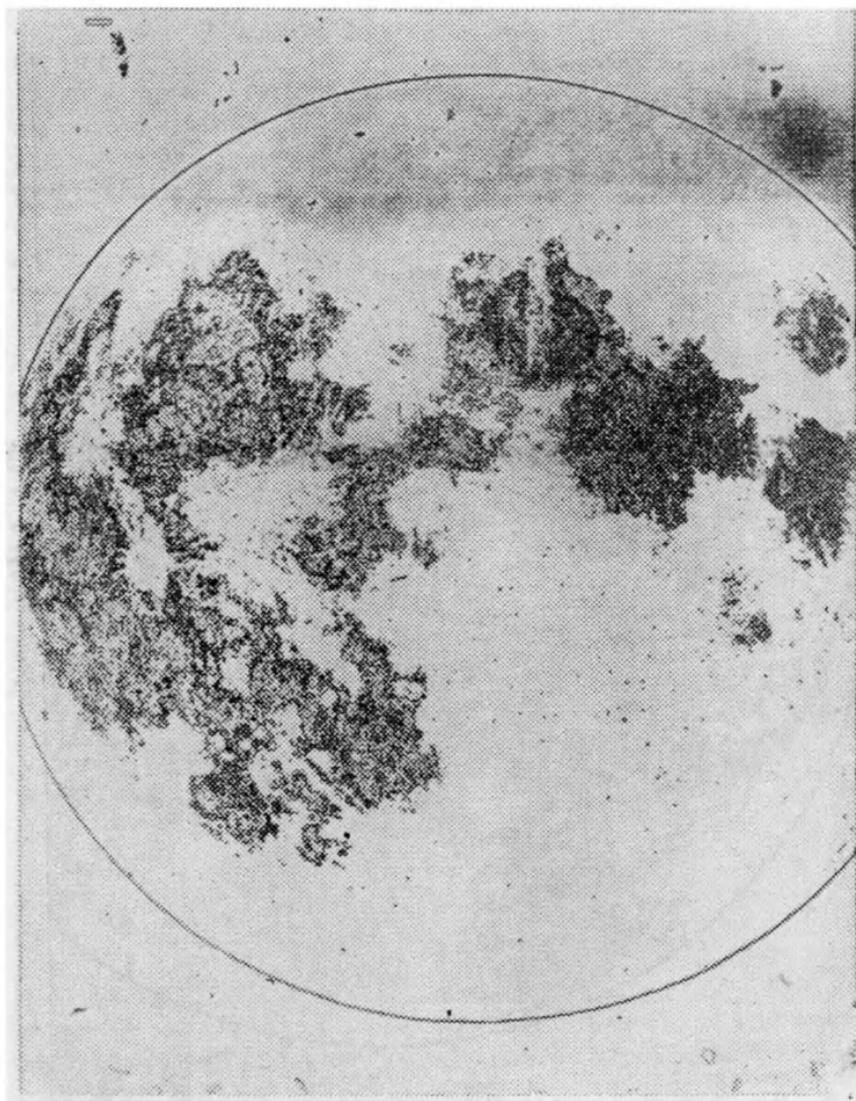


Рис. 50в.

данных условиях ранее уже определялась и соответствующие сведения содержатся в фотометрических каталогах. В нашей стране широко известны среди специалистов фотометрические каталоги, в составлении которых на разных обсерваториях принимали участие Н. П. Барабашов, В. В. Шаронов, Н. Н. Сытинская, Л. Н. Радлова, В. И. Езерский, В. А. Федорев и др.

Для любительских исследований достаточно будет воспользоваться данными, приводимыми в настоящей книге. В приложении содержится список (каталог) альbedo объектов видимого полушария в абсолютной системе яркости лунных деталей Н. Н. Сытинской. Альbedo дается в процентах отражательной способности.

Яркость деталей на исследуемом снимке будет меньше их альbedo в зависимости от условий освещения и наблюдения, т. е. в зависимости от величины фотометрической функции  $\phi$

$$\rho = \rho_0 \phi(i, \varepsilon, A).$$

Природа фотометрической функции была рассмотрена в главе III. В Приложении VIII приводится также таблица пространственной индикатрисы рассеяния, из которой можно выбрать нужное значение  $\phi$  по величинам угловых параметров  $i, \varepsilon, A$ . Следовательно, после того как на снимке отождествлены объекты из каталога, требуется для каждого из них определить значения угловых параметров фотометрической функции.

Угол отражения  $\varepsilon$  вычисляется по простой формуле

$$\sin \varepsilon = \frac{r}{R'},$$

где  $R'$  — радиус видимого диска Луны на снимке,  $r$  — радиус-вектор данного объекта, т. е. расстояние от центра снимка до объекта.

Для того чтобы вычислить значение угла падения лучей  $i$ , необходимо на снимке построить направление экватора интенсивности — большого круга селеноцентрической сферы, проходящего через центр видимого диска и подсолнечную точку. Проще всего это сделать графически, проведя через центр диска перпендикуляр к линии рогов. Если линию рогов построить затруднительно (в фазах, близких к полно-

луню), подсолнечную точку можно нанести на снимок по координатам, приводимым в таблицах Астрономического ежегодника.

Угол падения вычисляется по формуле

$$\cos i = \cos \varepsilon \cos \alpha + \sin \varepsilon \sin \alpha \cos \delta,$$

где  $\varepsilon$  — ранее вычисленный угол отражения данного объекта,  $\alpha$  — фазовый угол для рассматриваемого снимка,  $\delta$  — азимутальный угол между радиусом-вектором объекта и радиусом экватора интенсивности, направленным в сторону подсолнечной точки.

Фотометрический азимут  $A$  вычисляется по формуле

$$\sin A = \frac{\sin \alpha \sin \delta}{\sin i}.$$

Определив значения  $i$ ,  $\varepsilon$ ,  $A$  для каждого из каталожных пунктов, можно выбрать соответствующие величины  $\phi$  и вычислить значения яркости  $\rho$  для изображения объектов на данном снимке.

Теперь остается сопоставить систему эквиденсит с полученными значениями яркости отдельных объектов и тем областям равной плотности, в которых окажутся калибровочные пункты, приписать соответствующее значение яркости в абсолютной системе единиц. В случае расхождений в значениях  $\rho$  для одной и той же плотности изображения их следует усреднить. Отклонения от среднего покажут уровень точности выполненной стандартизации изображения.

На завершающей стадии построения фотометрической карты изолинии разных ступеней сводятся в одно изображение простым перечерчиванием на прозрачной основе или путем фотомонтажа. Точное наложение изолиний осуществляется по самым ярким небольшим кратерам, изображение которых в изолиниях, как правило, прослеживается в системах эквиденсит всех ступеней. На сводное изображение наносится координатная сетка, и процесс составления фотометрической карты можно считать законченным. Изучение с помощью подобных материалов отражательной способности отдельных деталей и протяженных областей Луны открывает перед наблюдателем широкие возможности познания природы лунной поверхности, ее типичных черт и уникальных особенностей.

## 5. ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ЛУНЫ СО СВЕТОФИЛЬТРАМИ

Съемка Луны с цветными светофильтрами является, пожалуй, наиболее сложной из рассматриваемых задач. Для ее выполнения необходимо подобрать соответствующие фотоматериалы и светофильтры из цветного стекла.

В главе III были описаны оптические свойства лунной поверхности, в частности особенности отражения света в различных участках спектра. Для того чтобы выявить цветовые особенности покровного вещества Луны, необходимо сопоставить изображения в двух разнесенных по спектру диапазонах длин волн. Чем больше интервал между диапазонами, тем контрастнее проявляются цветовые свойства поверхности Луны.

Съемки в коротковолновой части спектра производятся на несенсибилизированных пластинках, чувствительных к ультрафиолетовым, фиолетовым, синим и голубым лучам. Чтобы еще больше сузить спектральный диапазон, перед фотопластинкой надо поместить светофильтр, обрезающий значительную часть синих и голубых лучей. Наиболее подходящим в этом случае является светофильтр УФС-6. Сочетание несенсибилизированной эмульсии и указанного фильтра обеспечивает съемку в диапазоне шириной менее 0,1 мкм при эффективной длине волны около 0,38 мкм. Выполняя съемку, следует учитывать, что несенсибилизированные пластинки обладают низкой чувствительностью, а светофильтр УФС-6 имеет большую плотность. Поэтому экспозиция должна быть длительной. Конкретные условия съемки подбираются опытным путем.

Снимки в длинноволновой области спектра получают на фотопластинках типа изопанхром, которые обладают повышенной чувствительностью к красным и темно-красным лучам. Но, кроме того, изопанхроматические эмульсии чувствительны к широкому интервалу длин волн, охватывающему практически весь визуальный участок спектра. Следовательно, для сужения эффективного диапазона длин волн необходимо использовать светофильтр, обрезающий коротковолновую часть регистрируемого излучения. Наиболее подходящим из имеющихся стандартных фильтров в этом случае является КС-13 — красный

средней плотности. Этот фильтр поглощает ультрафиолетовые, фиолетовые, синие, зеленые и частично желтые и оранжевые лучи. В сочетании с изопанхроматическими пластинками использование светофильтра КС-13 позволяет получать снимки в довольно узкой спектральной области, шириной 0,05 мкм, при эффективной длине волны около 0,64 мкм. Экспозицию при получении снимков в красной области спектра также надо подобрать опытным путем. Заметим лишь, что она будет меньше, чем в случае съемки в коротковолновом участке спектра по описанной выше методике.

После получения спектрзональных снимков их следует прокалибровать путем впечатывания изображения ступенчатого ослабителя. Засветка производится через соответствующий фильтр рассеянным светом. При этом серией предварительных пробных экспозиций надо подобрать такие условия освещения и длительность экспонирования, чтобы плотность на изображении самого светлого поля практически не отличалась от плотности фона негатива.

Простое сопоставление лежащих рядом двух негативов, полученных в разных участках спектра, уже покажет заметную разницу в распределении плотности изображения, особенно в районах лунных морей. Указанные различия станут еще более явственными при сравнении копий, отпечатанных на контрастном фотоматериале (пластинках, пленках или фотобумаге).

Наибольшей наглядностью обладает цветоделительное изображение, составленное из негатива одного спектрзонального снимка и позитива другого. Основной сложностью получения подобного единого спектрзонального изображения является такой подбор компонентов пары, чтобы они оба имели одинаковую характеристическую кривую, т. е. одинаковый характер соответствия интенсивности излучения плотности почернения изображения. Простыми средствами осуществить фотометрическое совмещение изображений с точностью, допускающей измерения, довольно сложно. Поэтому рекомендуем ограничиться получением качественной картины распределения цвета на лунной поверхности. При сложении позитива и негатива эффект цветовых различий усиливается как бы вдвое, и довольно четко можно выделить участки

с различной спектральной отражательной способностью.

Техника получения комбинированного спектрозонального изображения заключается в следующем. С негатива-оригинала пластинки, экспонированной в красных лучах, изготавливается серия копий разной плотности и контраста. Пригодной для использования в цветоделительной паре будет позитивная копия, при сложении которой с негативом-оригиналом, экспонированным в ультрафиолетовых лучах, изображение ослабителя напросвет станет однотонным, не отличающимся от фона, так же как и большая часть материковых областей на изображении Луны. Очевидно, что совмещение по деталям надо проводить возможно тщательнее, не допуская двоения контуров.

После совмещения компонентов пары обе пластинки жестко скрепляются окантовкой, специальной рамкой или каким-либо другим способом. Затем с помощью фотоувеличителя с такого комбинированного оригинала можно получить рабочие копии на фотопластинке, пленке или бумаге. Фрагмент спектрозонального изображения, полученного описанным способом, приведен на рис. 51.

Рассмотрим порядок отождествления цветовых особенностей на окончательном спектрозональном изображении, построенном по описанной схеме.

На ультрафиолетовом негативе-оригинале участки лунной поверхности, имеющие повышенную отражательную способность в коротковолновой области видимой части спектра,— «синие» участки, обладают наибольшей плотностью почернения. На красном негативе-оригинале эти детали, напротив, имеют меньшую плотность. Но после контактного копирования на полученном позитиве их плотность станет пропорционально более высокой. Сложив позитивную копию с негативом-оригиналом, мы суммируем плотность «синих» участков, усиливая ее примерно вдвое. Плотность «красных» участков останется на прежнем низком уровне. Таким образом, общий контраст комбинированного изображения повысится по сравнению с контрастом каждого из оригинальных снимков.

Если затем с комбинированного оригинала мы получаем рабочий отпечаток, более светлым тоном на фотографии будут выделяться «синие» участки поверхности, а темным тоном — «красные». Переходные

полутона покажут степень «покраснения» или «посинения» покровного вещества.

Необходимо еще раз подчеркнуть, что употребляемые здесь определения цветности условны и не соответствуют восприятию глаза.

Спектрональные изображения открывают много новых возможностей исследования лунной поверхности,



Рис. 51.

На этих фотографиях выявляются детали, не наблюдаемые на обычных снимках. По цвету участков поверхности можно судить об относительном возрасте образований: как правило, более молодые области отличаются «синеватой» окраской, а старые — «красным» цветом. По этому признаку внутри морей отождествляются отдельные лавовые потоки и можно восстанавливать динамику заполнения морского ложа базальтовыми породами в эпоху глобального лунного вулканизма. Цветность деталей поверхности слу-

жит также указателем различного химического состава слагающих их пород.

Поскольку спектральная отражательная способность, так же как и интегральная, проявляется лучше всего при малых углах падения солнечных лучей, снимки для цветоделительных изображений удобнее получать в фазах, близких к полнолунию. Вместе с тем фазовые изменения цветности, в среднем, незначительны. Поэтому не лишены интереса также спектрональные пары по снимкам, сделанным при фазовых углах, отличных от нуля. В этом случае следует учесть, что цветовые контрасты будут падать с приближением к терминаторной зоне, так как наличие многочисленных теней послужит нейтральным «шумом», размывающим общую картину цветоделительного изображения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Завершая работу над книгой, автор надеется, что она будет не только прочитана. Одно из назначений этой книги — быть постоянным руководством по выполнению самостоятельных исследований Луны любителем астрономии.

Естественный спутник Земли предоставляет широкие возможности для приобщения к астрономическим наблюдениям начинающих любителей.

Основной адресат книги — учащиеся средней школы, участники астрономических кружков, юные сотрудники народных обсерваторий. Занятия любительскими исследованиями Луны помогут им в более глубоком освоении школьных программ, расширении кругозора и, возможно, в выборе будущей профессии.

Старшим читателям, которые уже выбрали свою основную профессию и увлекаются любительской астрономией в часы досуга, книга поможет сделать эти занятия более упорядоченными и интересными.

А всем вместе хочется пожелать истинной увлеченности делом, успешной самостоятельной работы и по больше ясных ночей!

## ПРИЛОЖЕНИЯ

### I. ОСНОВНЫЕ ДАННЫЕ О ЛУНЕ

- Средний суточный параллакс Луны  $57'02'',61$ .  
Среднее расстояние Луны от Земли  $384\,400$  км.  
Наибольшее удаление Луны от Земли в апогее  $405\,500$  км.  
Наименьшее удаление Луны от Земли в перигее  $363\,300$  км.  
Видимый угловой диаметр Луны на среднем расстоянии от Земли  $31'05'',16 = 1865'',16$ .  
Наибольший видимый угловой диаметр Луны  $32'53'',5$ .  
Наименьший видимый угловой диаметр Луны  $29'28'',1$ .  
Диаметр Луны  $3476,0$  км  $= 0,2725$  экв. диаметра Земли (примерно  $3/11$  земного).  
Объем Луны  $21,99 \cdot 10^9$  км<sup>3</sup>  $= 0,02$  объема Земли (примерно  $1/50$  земного).  
Площадь поверхности Луны  $37,96 \cdot 10^6$  км<sup>2</sup>  $= 0,074$  площади поверхности Земли (примерно  $1/14$  земной).  
Масса Луны  $7,35 \cdot 10^{25}$  г  $= 0,0123$  массы Земли ( $1/81,30$  земной).  
Средняя плотность Луны  $3,34$  г/см<sup>3</sup>  $= 0,607$  средней плотности Земли.  
Ускорение силы тяжести на поверхности Луны  $1,623$  м/с<sup>2</sup>  $= 0,166$  земного (примерно  $1/6$  земного).  
Первая космическая скорость для Луны  $1,68$  км/с.  
Вторая космическая скорость для Луны (скорость освобождения)  $2,38$  км/с.  
Средний эксцентриситет лунной орбиты  $0,055$  (линейный эксцентриситет  $21\,000$  км).  
Эксцентриситет лунной орбиты меняется от  $0,044$  до  $0,072$ .  
Наклон лунной орбиты к эклиптике  $5^{\circ}08'43'',4$ .  
Наклон лунной орбиты к эклиптике меняется от  $5^{\circ}17'$  до  $4^{\circ}59'$ .  
Средний наклон лунного экватора к орбите  $6^{\circ}41'$ .  
Наклон лунного экватора к орбите меняется от  $6^{\circ}51'$  до  $6^{\circ}31'$ .  
Наклон лунного экватора к эклиптике  $1^{\circ}32'47''$ .  
Наклон лунной орбиты к земному экватору меняется от  $18^{\circ}18'$  до  $28^{\circ}36'$ .  
Наибольшее значение либрации по долготе  $7^{\circ}54'$ .  
Наибольшее значение либрации по широте  $6^{\circ}50'$ .  
Параллактическая либрация около  $1^{\circ}$ .  
Невидимая с Земли часть поверхности Луны составляет  $41\%$  всей лунной поверхности.  
Либрационные зоны составляют  $18\%$  всей лунной поверхности.  
Видимая угловая скорость движения Луны по небу  $13^{\circ},2$  в сутки (примерно  $30'$  в час).

- Средняя скорость движения Луны по орбите 1,023 км/с (примерно 3681 км/час).
- Ускорение Луны в ее движении вокруг Земли 0,272 см/с<sup>2</sup>.
- Сидерический месяц, равный периоду вращения Луны, 27 сут. 07 час. 43 мин. 11,47 с = 27,321661 суток (примерно 655,7 час).
- Синодический месяц, равный периоду смены фаз Луны (фазовому циклу), 29 сут. 12 час. 44 мин. 02,78 с = 29,5305882 суток (примерно 708,7 час).
- Продолжительность синодического месяца меняется вследствие эллиптичности лунной орбиты от 29,25 сут. до 29,83 сут. (примерно на 13 час.).
- Тропический месяц 27,321582 суток.
- Аномалистический месяц 27,554551 суток.
- Драконический месяц 27,212220 суток.
- Период вращения линии узлов 6798 сут. = 18,61 лет.
- Период вращения линии апсид 3232 сут. = 8,85 лет.
- Угловая скорость вращения линии апсид примерно 40° в год.
- Максимум отраженного излучения Луны приходится примерно на длину волны 0,6 мкм.
- Максимум собственного излучения Луны приходится примерно на длину волны 7 мкм.
- Визуальная звездная величина Луны в истинное полнолуние  $-12^m,91$ .
- Освещенность от Луны на расстоянии Земля — Луна в истинное полнолуние 0,449 лк.
- Геометрическое альbedo Луны в истинное полнолуние 0,147.
- Фазовый интеграл Луны в системе истинного полнолуния 0,509.
- Сферическое альbedo Луны в истинное полнолуние 0,075.
- Средняя визуальная звездная величина Луны в полнолуние, наблюдаемая с Земли,  $-12^m,71$  (полная Луна светит в 465 000 раз слабее Солнца).
- Средняя яркость полной Луны, наблюдаемой с Земли, 0,251 сб.
- Средняя освещенность, создаваемая полной Луной, находящейся в зените, на земной поверхности, перпендикулярной к направлению падающих лучей, 0,25 лк.
- Среднее альbedo всей лунной поверхности 12,44 %.
- Среднее альbedo материковых областей Луны 13,45 %.
- Среднее альbedo морских областей Луны 7,30 %.
- Показатель цвета Луны  $B - V = +1^m,2$ .
- Среднее значение максимальной степени поляризации света лунной поверхностью (при фазовых углах 100—110°) 6—8 %.
- Максимальная степень поляризации материковых областей Луны 6,5—7,5 %.
- Максимальная степень поляризации морских областей Луны 12—16 %.
- Температура поверхности Луны в подсолнечной точке около  $+130^\circ\text{C}$ .
- Температура поверхности Луны на ночной стороне около  $-160 \div 170^\circ\text{C}$ .
- Концентрация газов у поверхности Луны в дневное время на освещенной стороне  $10^4\text{ см}^{-3}$  ( $10^{-13}$  концентрации молекул газов в земной атмосфере).
- Концентрация газов у поверхности Луны в ночное время (на темной стороне)  $2 \cdot 10^5\text{ см}^{-3}$ .
- Общая площадь морских образований на поверхности Луны составляет 16,9 %.

Площадь морей на видимом полушарии Луны составляет 31,2 % поверхности.

Площадь морей на обратном полушарии Луны составляет 2,6 % поверхности.

Среднее отношение глубины к диаметру лунных кратеров 0,2. Средняя толщина слоя реголита 2—3 м.

Возраст древних материковых пород Луны 4,3—4,6 млрд. лет. Средний возраст лунных базальтов Имбирийской системы 3,7 млрд. лет.

Средний возраст лунных базальтов Эратосфеновской системы 3,2 млрд. лет.

Возраст кратера Коперник 0,85 млрд. лет.

Средняя мощность лунной коры на видимом полушарии 60 км.

Средняя мощность лунной коры на обратном полушарии 100 км.

Плотность анортозитовых пород Луны 2,9 г/см<sup>3</sup>.

Плотность базальтовых пород Луны 3,3 г/см<sup>3</sup>.

## II. КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ, ПРОВОДИВШИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ОКОЛОЛУННОМ ПРОСТРАНСТВЕ И НА ПОВЕРХНОСТИ ЛУНЫ

В таблице приводится название аппарата, страна, с территории которой осуществлен запуск, дата запуска и краткие сведения о проведенных научных исследованиях. Содержание таблицы окажется полезным, когда в процессе самостоятельной работы астроному-любителю потребуются более подробные дополнительные сведения о природе Луны, полученные с помощью космических аппаратов. Данные, приводимые в таблице, укажут направление поиска специальной литературы. Особо следует обратить внимание на места посадок космических аппаратов в различных районах лунной поверхности. Эти площадки, подробно изученные непосредственно на Луне, служат в качестве эталонных при изучении лунной поверхности методами астрономии, геологии, геохимии и геофизики. Для наблюдателя будет полезным при ознакомлении с лунной поверхностью отождествить на ней места посадок различных космических аппаратов в соответствии с данными, приводимыми в таблице. Площадки, в которых проводились исследования на Луне, имеют сравнительно малые размеры. Поэтому нельзя проводить прямое сопоставление результатов наблюдений с Земли при помощи любительских телескопов, имеющих небольшое разрешение, с данными, полученными непосредственно на Луне. Однако, некоторое косвенное сравнение вполне возможно. Например, с помощью ряда космических аппаратов непосредственно на Луне или по анализу доставленных на Землю образцов был определен средний химический состав пород в различных областях Луны. Эти данные, как правило, можно считать представительными для окружающей место посадки поверхности. Можно сравнить различия в отражающей способности таких мест, а при достаточном наблюдательном навыке, и их цветовые оттенки с типами пород, слагающих поверхностный слой.

По образцам, доставленным на Землю, определен средний абсолютный возраст пород в различных районах видимого полушария Луны. Эти сведения можно сопоставить с морфологическими особенностями наблюдаемых форм рельефа, попытаться обнаружить видимые признаки разновремениности формирования изучаемых мест.

Сведения, приводимые в таблице, помогут наблюдателю самостоятельно составить различные варианты подобных программ наблюдений.

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Луна-1» СССР	2.I.1959	4 января 1959 г. станция прошла на расстоянии 5000—6000 км от Луны. Проведены исследования межпланетного пространства на трассе перелета и вблизи Луны.
«Луна-2» СССР	12.IX.1959	13 сентября 1959 г. станция достигла поверхности Луны в районе с координатами: 0° д., 30° с. ш. На трассе перелета исследовалось межпланетное пространство.
«Луна-3» СССР	4.X.1959	7 октября 1959 г. проведена съемка обратной стороны Луны с расстояния около 70 000 км, изображения переданы на Землю по каналам радиосвязи.
«Луна-4» СССР	2.IV.1963	6 апреля 1963 г. станция прошла на расстоянии 8500 км от Луны.
«Рейнджер-6» США	30.I.1964	2 февраля 1964 г. аппарат достиг поверхности Луны в районе Моря Спокойствия.
«Рейнджер-7» США	28.VII.1964	31 июля 1964 г. аппарат достиг лунной поверхности в Море Познанном в районе с координатами: 20° 36' з. д., 10° 36' ю. ш. С расстояний от 2110 км до 439 м получены и переданы на Землю снимки поверхности. На последних кадрах различимы детали размером до 0,25 м.
«Рейнджер-8» США	17.II.1965	20 февраля 1965 г. достиг лунной поверхности в Море Спокойствия в районе с координатами: 24° 48' в. д., 2° 36' с. ш. С расстояний от 2510 км до 160 м получены и переданы на Землю снимки поверхности. На последних кадрах различимы детали размером до 1,5 м.
«Рейнджер-9» США	21.III.1965	24 марта 1965 г. достиг лунной поверхности в кратере Альфонс в районе с координатами: 2° 24' з. д., 12° 54' ю. ш. С расстояния от 2363 км до 600 м получены и переданы на Землю снимки поверхности. На последних кадрах различаются детали размером до 0,3 м.
«Луна-5» СССР	9.V.1965	12 мая 1965 г. станция достигла поверхности Луны, проводилась отработка системы мягкой посадки.
«Луна-6» СССР	8.VI.1965	Отработка мягкой посадки.
«Зонд-3» СССР	18.VII.1965	20 июля 1965 г. получены и переданы на Землю снимки обратной стороны Луны с расстояния около 10 000 км, завершён предварительный обзор поверхности лунного шара.

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Луна-7» СССР	4.X.1965	Отработка мягкой посадки.
«Луна-8» СССР	3.XII.1965	Отработка мягкой посадки.
«Луна-9» СССР	31.I.1966	3 февраля 1966 г. осуществлена мягкая посадка на западной окраине Океана Бурь — в районе с координатами: 64° 22' з. д., 7° 08' с. ш. Получены первые панорамы лунной поверхности с разрешением до 1 мм, выполнены фотометрические измерения отражательной способности грунта.
«Луна-10» СССР	31.III.1966	Станция выведена на орбиту ИСЛ. Выполнены комплексные орбитальные исследования Луны и окололунного пространства — радиационной и метеоритной обстановки, гравитационного поля, рентгеновского, инфракрасного и гамма-излучений Луны, проведены магнитометрические измерения.
«Сервейор-1» США	30.V.1966	2 июня 1966 г. аппарат осуществил мягкую посадку к северу от кратера Флемстид в районе с координатами: 43° 14' з. д., 2° 28' ю. ш. Переданы на Землю снимки лунной поверхности, проведены исследования механических, термических и электрических свойств грунта.
«Лунар орбитер-1» США	10.VIII.1966	Аппарат выведен на орбиту ИСЛ, получены и переданы на Землю снимки лунной поверхности.
«Луна-11» СССР	24.VIII.1966	ИСЛ Комплексные исследования Луны и окололунного пространства с орбиты.
«Сервейор-2» США	20.IX.1966	22 сентября 1966 г. достиг лунной поверхности в районе Океана Бурь.
«Луна-12» СССР	22.X.1966	ИСЛ Продолжены комплексные исследования Луны и окололунного пространства, проведена фотосъемка поверхности, изображения переданы на Землю.
«Лунар орбитер-2» США	6.XI.1966	ИСЛ. Проведена фотосъемка поверхности, изображения переданы на Землю.
«Луна-13» СССР	21.XII.1966	24 декабря 1966 г. осуществлена мягкая посадка в Океане Бурь в районе с координатами: 63° 03' з. д., 18° 52' с. ш. Получены панорамы поверхности, измерены физические и механические характеристики грунта.
«Лунар орбитер-3» США	5.II.1967	ИСЛ. Проведена фотосъемка поверхности, изображения переданы на Землю.

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Сервейор-3» США	17.IV.1967	20 апреля 1967 г. осуществлена мягкая посадка в Океане Бурь в районе с координатами: 23° 20' з. д., 2° 59' ю. ш. Получены снимки поверхности, исследовались механические, термические и электрические свойства грунта.
«Лунар орбитер-4» США	4.V.1967	ИСЛ. Проведена фотосъемка поверхности, изображения переданы на Землю.
«Сервейор-4» США	14.VII.1967	17 июля 1967 г. аппарат достиг лунной поверхности в районе Залива Центрального.
«Эксплорер-35» США	19.VII.1967	ИСЛ. Изучение окололунного пространства.
«Лунар орбитер-5» США	1.VIII.1967	ИСЛ. Проведена фотосъемка поверхности, изображения переданы на Землю; проведены исследования окололунного пространства.
«Сервейор-5» США	8.IX.1967	11 сентября 1967 г. осуществлена мягкая посадка в Море Спокойствия в районе с координатами: 23° 12' в. д., 1° 25' с. ш. Получены снимки поверхности, исследовались физико-механические свойства и химический состав грунта.
«Сервейор-6» США	7.XI.1967	10 ноября 1967 г. осуществлена мягкая посадка в Заливе Центральном в районе с координатами: 1° 23' в. д., 0° 31' с. ш. Получены снимки поверхности, исследовались физико-механические свойства и химический состав грунта.
«Сервейор-7» США	7.I.1968	10 января 1968 г. осуществлена мягкая посадка к северу от кратера Тихо в районе с координатами: 11° 27' з. д., 40° 53' ю. ш. Получены снимки поверхности, исследовались физико-механические свойства и химический состав грунта.
«Луна-14» СССР	7.IV.1968	ИСЛ. Продолжение исследований гравитационного поля Луны и окололунного пространства.
«Зонд-5» СССР	15.IX.1968	Облет Луны с возвращением космического аппарата на Землю. 21 сентября станция приводнилась в Индийском океане. Выполнены исследования по трассе полета, получены изображения Земли с больших расстояний.
«Зонд-6» СССР	10.XI.1968	Облет Луны с возвращением на Землю. Получены 17 ноября и доставлены на Землю фотографии лунной поверхности.
«Аполлон-8» США	21.XII.1968	Полет по трассе Земля — Луна — Земля космического аппарата с экипажем.

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Аполлон-10» США	18.V.1969	С окололунной орбиты проведена фотосъемка лунной поверхности. Полет по трассе Земля — Луна — Земля космического аппарата с экипажем. С окололунной орбиты проведена фотосъемка лунной поверхности. Оработка операций, связанных с обеспечением посадки на Луну и возвращением экипажа на Землю.
«Луна-15» СССР	13.VII.1969	ИСЛ. Оработка новых автоматических навигационных систем.
«Аполлон-11» США	16.VII.1969	20 июля 1969 г. осуществлена посадка космического аппарата с экипажем в Море Спокойствия в районе с координатами: 22° 29' в. д., 0° 40' с. ш. Проведено фотографирование лунной поверхности, сбор и доставка на Землю лунных образцов.
«Зонд-7» СССР	8.VIII.1969	Облет Луны с возвращением на Землю. Получены 14 августа и доставлены на Землю снимки лунной поверхности. Проведены исследования по трассе полета.
«Аполлон-12» США	14.XI.1969	19 ноября 1969 г. осуществлена посадка аппарата с экипажем в Океане Бурь в районе с координатами: 23° 24' з. д., 3° 12' ю. ш. В месте посадки проведена фотосъемка лунной поверхности, сбор образцов лунных пород, установлен автоматический комплекс приборов.
«Аполлон-13» США	11.IV.1970	Облет Луны с возвращением на Землю.
«Луна-16» СССР	12.IX.1970	20 сентября 1970 г. осуществлена мягкая посадка в Море Изобилия в районе с координатами: 56° 18' в. д., 0° 41' ю. ш. Взята проба лунного грунта, доставленная 24 сентября 1970 г. на Землю.
«Зонд-8» СССР	20.IX.1970	Облет Луны с возвращением на Землю. Получены 27 октября и доставлены на Землю снимки лунной поверхности.
«Луна-17» СССР	10.XI.1970	17 ноября 1970 г. осуществлена мягкая посадка в Море Дождей в районе с координатами: 35° 00' з. д., 38° 17' с. ш. На поверхность Луны доставлен автоматический самоходный аппарат «Луноход-1», прошедший за 10,5 месяцев трассу исследований протяженностью 10,5 км. Переданы многочисленные изображения поверхности, выполнены механические и физические исследования грунта, определен химический состав пород.

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Аполлон-14» США	31.I.1971	5 февраля 1971 г. осуществлена посадка аппарата с экипажем к северу от кратера Фра Мауро в районе с координатами: 17° 28' з. д., 3° 40' ю. ш. В месте посадки проведена фотосъемка, сбор образцов, установлен автоматический комплекс приборов.
«Аполлон-15» США	26.VII.1971	30 июля 1971 г. осуществлена посадка аппарата с экипажем к востоку от Борозды Хэдли в районе с координатами: 3° 39' в. д., 26° 07' с. ш. В месте посадки и по трассам движения самоходного аппарата проведена фотосъемка, сбор образцов лунных пород. Установлен автоматический комплекс приборов.
«Луна-18» СССР	2.IX.1971	ИСЛ. Отработка методов автоматической окололунной навигации и обеспечения посадки на материковую поверхность со сложным рельефом.
«Луна-19» СССР	28.IX.1971	ИСЛ. Комплексные исследования Луны и окололунного пространства с селеноцентрической орбиты. Проведены исследования гравитационного и магнитного полей, космического излучения и плотности метеоритного потока в окололунном пространстве.
«Луна-20» СССР	14.II.1972	Осуществлена мягкая посадка в материковом районе с координатами: 56° 33' в. д., 3° 32' с. ш. Взята проба лунного грунта, доставленная на Землю 25 февраля 1972 г.
«Аполлон-16» США	16.IV.1972	21 апреля 1972 г. осуществлена посадка аппарата с экипажем к северу от кратера Декарт в районе с координатами: 15° 31' в. д., 9° 00' ю. ш. В месте посадки и по трассам движения самоходного аппарата проведена фотосъемка, сбор образцов лунных пород. Установлен автоматический комплекс приборов.
«Аполлон-17» США	7.XII.1972	11 декабря 1972 г. осуществлена посадка аппарата с экипажем в области Таур — Литтров в районе с координатами: 30° 45' в. д., 20° 10' с. ш. В месте посадки и по трассам движения самоходного аппарата проведена фотосъемка, сбор образцов лунных пород. Установлен автоматический комплекс приборов.
«Луна-21» СССР	8.I.1973	16 января осуществлена мягкая посадка в кратере Лемонье в районе с координатами: 30° 27' в. д., 25° 51' с. ш. На по-

Название космического аппарата	Дата запуска	Основное содержание эксперимента
«Луна-22» СССР	29.V.1974	верхность Луны доставлен «Луноход-2», выполнивший за 5 месяцев работы комплексные исследования в переходной зоне «море — материк» на трассе протяженностью 37 км. Получены изображения поверхности, проведены механические, физические, магнитометрические и фотометрические исследования грунта, определялся химический состав пород. ИСЛ. Длительные комплексные исследования Луны и окололунного пространства с орбиты. Получены изображения лунной поверхности.
«Луна-23» СССР	28.X.1974	Станция выведена на орбиту ИСЛ с последующей посадкой в южной части Моря Кризисов.
«Луна-24» СССР	9.VIII.1976	19 августа 1976 г. осуществлена мягкая посадка в Море Кризисов в районе с координатами: 62° 12' в. д., 12° 45' с. ш. Произведено автоматическое бурение лунного грунта на глубину около 2 м, полученный образец грунта доставлен на Землю 22 августа 1976 г.

### III. ПОЛНЫЕ ЛУННЫЕ ЗАТМЕНИЯ, КОТОРЫЕ МОЖНО БУДЕТ НАБЛЮДАТЬ С ТЕРРИТОРИИ СССР В ТЕКУЩЕМ СТОЛЕТИИ

В таблице приводятся: дата, момент начала и окончания полной фазы затмения по московскому времени, географическая долгота местности, над которой в середине затмения Луна будет находиться в верхней кульминации, и район видимости в СССР (по данным М. М. Дагаева).

Дата	Время полной фазы		Долгота местности, град.	Районы видимости
	Начало, час.	Окончание, час.		
1985, 4.05	22,4	23,5	+60	Кроме Чукотки и Камчатки
1985, 28.10	20,4	21,1	+90	Вся территория СССР
1983, 24.04	15,2	16,3	+168	Восточная половина СССР
1986, 17.10	21,7	22,9	+67	Кроме Чукотки и Камчатки
1989, 20.02	18,0	19,3	+129	Кроме западных районов
1990, 9.02	21,8	22,6	+76	Кроме Чукотки
1992, 10.12	02,1	03,3	+3	Западная половина СССР
1993, 4.06	15,2	16,8	+165	Восточная половина СССР
1996, 4.04	02,4	03,8	-1	Западные районы СССР
1997, 16.09	21,2	22,3	+77	Кроме Чукотки
2000, 16.07	17,4	19,1	+130	Кроме западных районов

#### IV. ФАЗЫ ЛУНЫ (КАЛЕНДАРЬ НАБЛЮДАТЕЛЯ)

В таблице приводится значение возраста Луны в сутках по числам месяцев, кратным десяти, на длительный период времени. Наблюдатель может заранее определить дату выбранной им для наблюдений фазы Луны. Использование таблицы позволит составлять предварительные программы наблюдений на значительный срок вперед и таким образом заблаговременно планировать наблюдательное время. (Вычисления для таблицы выполнены М. Ю. Шевченко и К. И. Дехтяревой.)

Год	1984			1985			1986		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Январь	6	16	26	17	27	8	27	8	18
Февраль	8	18	27	18	28	6	0	10	18
Март	6	16	26	17	27	8	27	8	18
Апрель	8	18	28	18	28	8	0	10	20
Май	8	18	28	19	29	10	0	10	20
Июнь	10	20	0	20	0	10	2	12	22
Июль	10	20	0	21	2	12	2	12	22
Август	12	22	2	23	4	14	4	14	24
Сентябрь	13	23	4	24	4	14	5	15	25
Октябрь	14	24	5	24	4	14	5	15	25
Ноябрь	15	25	6	25	6	16	8	18	28
Декабрь	15	25	6	25	6	16	8	18	28

Год	1987			1988			1989		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Январь	9	19	29	20	0	10	1	11	21
Февраль	10	20	28	21	2	11	3	13	21
Март	9	19	29	20	0	10	1	11	21
Апрель	11	21	1	22	2	12	3	13	23
Май	11	21	1	22	2	12	3	13	23
Июнь	13	23	3	24	4	14	5	15	25
Июль	13	23	3	24	4	14	5	15	25
Август	15	25	5	25	6	16	7	17	27
Сентябрь	16	26	6	27	8	18	8	18	28
Октябрь	17	27	8	27	8	18	9	19	29
Ноябрь	18	28	8	0	10	20	11	21	2
Декабрь	18	28	8	0	10	20	11	21	2

## Продолжение табл.

Год	1990			1991			1992		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Число месяца									
Январь	12	22	2	23	4	14	4	14	24
Февраль	14	24	2	25	5	13	6	16	25
Март	12	22	2	23	4	14	4	14	24
Апрель	14	24	4	25	6	16	6	16	26
Май	14	24	4	25	6	16	6	16	26
Июнь	16	26	6	27	7	17	8	18	28
Июль	16	26	6	27	7	17	8	18	28
Август	18	28	8	28	8	18	10	20	0
Сентябрь	19	29	10	1	11	21	12	22	2
Октябрь	20	0	10	1	11	21	12	22	2
Ноябрь	22	2	12	3	13	23	14	24	4
Декабрь	22	2	12	3	13	23	14	24	4

Год	1993			1994			1995		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Число месяца									
Январь	15	25	6	26	6	16	7	17	27
Февраль	17	27	5	27	8	16	9	19	27
Март	15	25	6	26	6	16	7	17	27
Апрель	17	27	8	27	8	18	9	19	29
Май	17	27	8	28	9	19	10	20	0
Июнь	19	29	10	0	10	20	11	21	2
Июль	20	0	10	1	11	21	12	22	2
Август	21	2	22	2	12	22	13	23	4
Сентябрь	23	4	14	4	14	24	15	25	6
Октябрь	23	4	14	4	14	24	15	25	6
Ноябрь	25	6	16	6	16	26	17	27	8
Декабрь	25	6	16	6	16	26	17	27	8

Год	1996			1997			1998		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Число месяца									
Январь	18	28	8	0	10	20	10	20	0
Февраль	20	0	9	1	11	19	12	22	0
Март	18	28	8	0	10	20	10	20	0
Апрель	20	0	10	1	11	21	12	22	2
Май	20	0	10	2	12	22	13	23	4
Июнь	22	2	12	3	13	23	14	24	4
Июль	22	2	12	4	14	24	15	25	6
Август	24	4	14	6	16	26	16	26	6
Сентябрь	25	6	16	7	17	27	18	28	8

## Продолжение табл.

Год	1996			1997			1998		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
Октябрь	25	6	16	7	17	27	18	28	8
Ноябрь	27	8	18	9	19	29	20	0	10
Декабрь	27	8	18	9	19	29	20	0	10

Год	1999			2000		
	10	20	30	10	20	30
Январь	21	2	12	3	13	23
Февраль	23	4	12	4	14	23
Март	21	2	12	3	13	23
Апрель	23	4	14	4	14	24
Май	24	4	14	4	14	24
Июнь	25	6	16	6	16	26
Июль	25	6	16	6	16	26
Август	27	8	18	8	18	28
Сентябрь	28	8	18	9	19	29
Октябрь	0	10	20	9	19	29
Ноябрь	1	11	21	11	21	2
Декабрь	1	11	21	11	21	2

Примечание. Значения возраста Луны на конец февраля даются в каждом году для последнего дня этого месяца.

## V. ИНТЕГРАЛЬНАЯ ФАЗОВАЯ ЯРКОСТЬ ЛУНЫ

В таблице приводятся значения относительной интегральной яркости  $I$  для фаз, соответствующих значениям фазового угла  $\alpha$ .

$\alpha$	$I$	$\alpha$	$I$	$\alpha$	$I$
0°	1,000	65°	0,147	125°	0,017
5	0,818	70	0,125	130	0,013
10	0,715	75	0,108	135	0,010
15	0,626	80	0,092	140	0,007
20	0,550	85	0,080	145	0,006
25	0,482	90	0,070	150	0,004
30	0,422	95	0,057	155	0,003
35	0,364	100	0,047	160	0,002
40	0,316	105	0,039	165	0,0015
45	0,274	110	0,032	170	0,0010
50	0,232	115	0,027	175	0,0005
55	0,200	120	0,022	180	0,0000
60	0,170				

VI. СПИСОК ОПОРНЫХ ПУНКТОВ  
ДЛЯ СЕЛЕНОГРАФИЧЕСКОЙ ПРИВЯЗКИ  
И ФОТОМЕТРИЧЕСКИХ ИЗМЕРЕНИИ

№	Название	$\lambda^\circ$	$\beta^\circ$	$\rho_0$	Примечание
1	Флемстид	-44,20	-4,50	7,0	
2	Евклид	-29,55	-7,37	13,5	
3	Гиппарх С	+8,18	-7,42	21,7	
4	Платон	-9,50	+51,50	7,3	южная часть
5	Кассини	+3,93	+40,42	10,6	сев.-зап. часть
6	Геродот	-49,58	+23,25	9,5	
7	Архимед	-4,00	+29,67	8,1	центр
8	Гамбар	-15,25	+0,90	7,5	
9	Кондорсе	+69,50	+12,00	10,1	
10	Герике	-14,00	-11,67	9,8	
11	Абу-ль-Фида	+13,92	-13,73	13,2	
12	Магеллан	+44,08	-12,00	9,8	
13	Крюгер	-66,83	-16,67	8,4	
14	Любинецкий	-23,82	-17,83	7,8	
15	Евдокс	+16,50	+44,25	13,3	центр
16	Автолик	+1,47	+30,67	9,7	
17	Менелай	+16,00	+16,25	15,6	
18	Клеомед	+56,00	+28,00	12,0	центр
19	Гевелий	-67,33	+2,00	12,3	центр
20	Кеплер	-37,95	+8,08	13,0	
21	Коперник	-20,00	+9,67	15,5	центр
22	Эратосфен	-11,42	+14,50	10,2	
23	Таруний	+46,42	+5,58	9,0	
24	Гершель У.	-2,08	-5,75	13,4	
25	Гассенди	-39,83	-17,33	11,0	центр
26	Буллияльд	-22,25	-20,70	13,1	центр
27	Фракасторо	+32,95	-21,37	8,6	центр
28	Тихо	-11,33	-43,00	19,0	
29	Деландр	-4,00	-32,50	22,8	центр
30	Годен	+10,20	+1,83	15,5	
31	Пикеринг	+7,03	-2,62	17,3	мал. кратер
32	Зильбершлаг	+12,50	+6,25	13,5	мал. кратер
33	Кэли	+15,10	+3,98	11,1	мал. кратер
34	Теон Старший	+15,40	-0,78	16,6	мал. кратер
35	Кратер	-79,95	+24,68	7,2	к северу от Струве
36	Океан Бурь	-68,90	+24,45	6,3	к югу от Бригса
37	Гримальди	-67,20	-4,00	7,7	центр
38	Море Дождей	-21,05	+24,42	7,4	к югу от Ламберта
39	Море Ясности	+28,12	+24,20	6,8	вост. край
40	Море Спокойствия	+36,37	+14,92	6,9	сев.-вост. край
41	Море Изобилия	+51,33	-5,97	7,2	центр
42	Море Кризисов	+57,18	+13,58	7,4	
43	Материк	-50,40	-34,12	12,0	в южн. части
44	Мопертюи	-28,35	+50,43	11,1	

№	Название	$\lambda^\circ$	$\beta^\circ$	$\rho_0$	Примечание
45	Материк	-4,63	-17,45	11,1	рядом с Арзахелом
46	Материк	+31,67	+41,68	11,2	
47	Гемин	+58,00	+36,00	16,1	сев.-вост. вал
48	Вильгельм	-20,00	-42,50	15,5	центр
49	Вейгель	-37,50	-58,83	13,1	юго-вост. вал
50	Цельнер	+19,00	-8,00	15,4	
51	Лежандр	+68,00	-27,67	14,3	сев.-зап. вал
52	Дове	+30,00	-47,17	14,4	юго-зап. вал
53	Жансен	+45,00	-42,00	15,7	сев.-вост. часть
54	Лилио	+8,00	-53,00	15,6	сев.-вост. вал
55	Материк	+11,50	-52,50	15,6	три мал. кратера
56	Шиккард	-54,00	-45,00	11,3	центр
57	Залив Росы	-45,00	+51,00	9,0	юго-зап. кр. Гарпал
58	Море Влажности	-39,00	-24,00	6,6	центр. часть
59	Залив Радуги	-32,00	+45,00	7,4	центр
60	Море Дождей	-18,00	+39,00	6,9	центр. часть
61	Залив Центральный	-1,00	+1,00	7,7	центр
62	Море Паров	+3,00	+13,00	7,3	центр
63	Море Ясности	+18,00	+26,00	7,2	центр
64	Озеро Смерти	+26,00	+44,50	9,8	зап. часть
65	Море Спокойствия	+30,00	+7,00	7,0	центр
66	Море Холода	+30,00	+54,00	8,1	вост. часть
67	Вейс	-19,63	-31,50	14,0	
68	Тацит	+19,00	-16,58	14,6	
69	Петавий	+60,67	-25,17	15,1	центр. горка
70	Цензорин	+32,72	-0,43	16,1	
71	Горы Харбингера	-40,92	+26,50	8,1	

В таблице приводятся селенографические координаты  $\lambda$  и  $\beta$ , альbedo  $\rho_0\%$  для кратеров и отдельных морских и материковых участков лунной поверхности. В зависимости от масштаба снимка из списка выбираются кратеры возможно меньших размеров на изображении, которые уверенно отождествляются. Эти пункты используются как опорные при совмещении фотографического изображения и рассчитанной предварительно сетки селенографических координат.

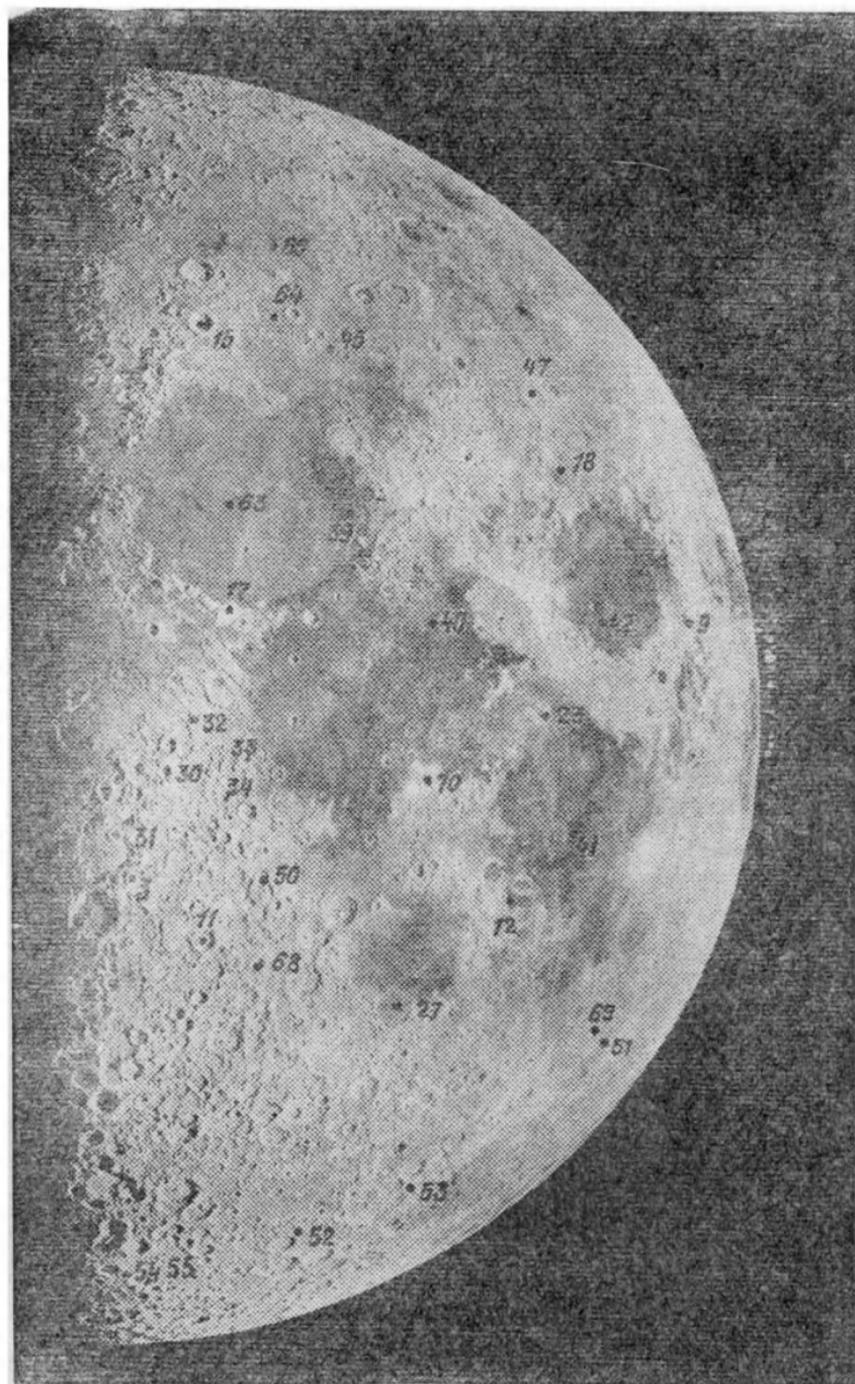
Для выполнения фотометрических измерений с использованием калибровки и стандартизации по методу опорного каталога из списка выбираются пункты с различной отражательной способностью (кратеры и отдельные участки поверхности), положение которых опознается по изображению или наносится по координатам. Текущая яркость выбранных опорных пунктов определяется как произведение  $\rho = \rho_0 \cdot \phi$ . Величина фотометрической функции находится с помощью графиков Приложения VIII.

## VII. РАСПОЛОЖЕНИЕ ОПОРНЫХ ПУНКТОВ

На снимках Луны в первой и последней четверти показано положение опорных пунктов из списка, приведенного в Приложении VI.



Приложение VII.



Приложение VII.

## VIII. ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ИНДИКАТРИСА РАССЕЯНИЯ

На графиках приводится изменение значений фотометрической функции  $\phi$  (ось ординат) в зависимости от угловых параметров  $i$ ,  $\varepsilon$ ,  $A$ .

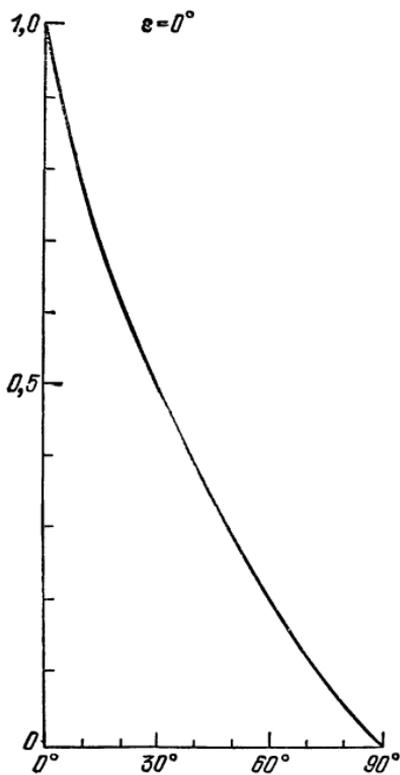
Каждый график построен для одного значения угла отражения  $\varepsilon$ , кратного  $10^\circ$ :  $0^\circ$ ,  $10^\circ$ ,  $20^\circ \dots 90^\circ$ . Кривые для  $\varepsilon = 90^\circ$  физически обозначают яркость лимба.

По оси абсцисс отложены значения угла падения  $i$ .

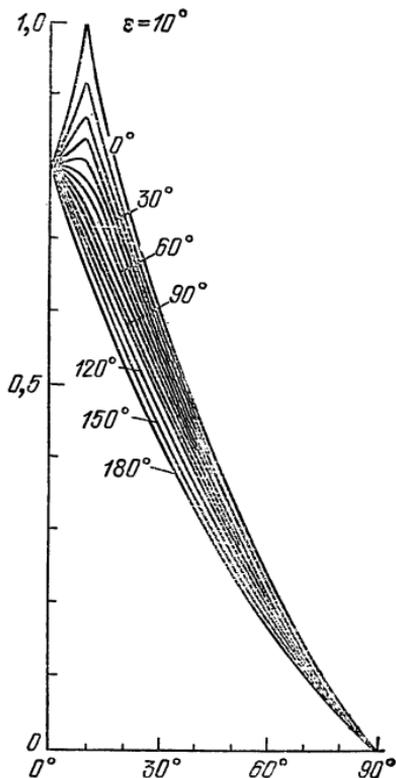
Каждая кривая графика соответствует изменениям фотометрической функции в зависимости от  $\varepsilon$  и  $i$  для фиксированного значения азимута  $A$  кратного  $10^\circ$ . Кривые подписаны через  $30^\circ$  значений  $A$ .

Для конкретного набора углов  $i$ ,  $\varepsilon$ ,  $A$  значение  $\phi$  находится путем интерполяции между соседними значениями  $\varepsilon$  и  $A$ .

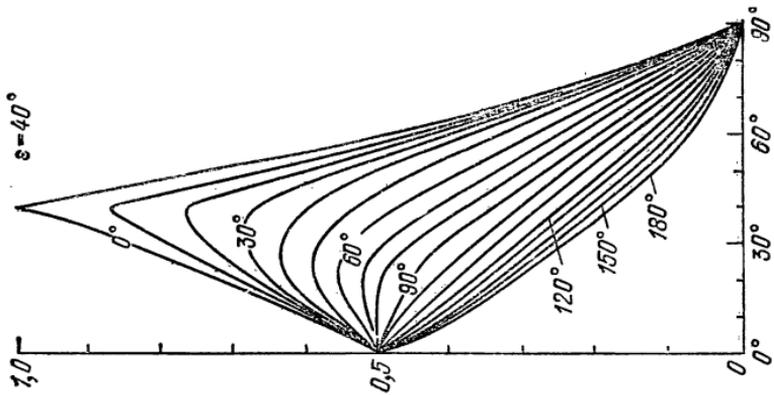
При  $\varepsilon = 0^\circ$  величины  $\phi$  одинаковы для выбранного значения  $i$  при всех значениях  $A$ .



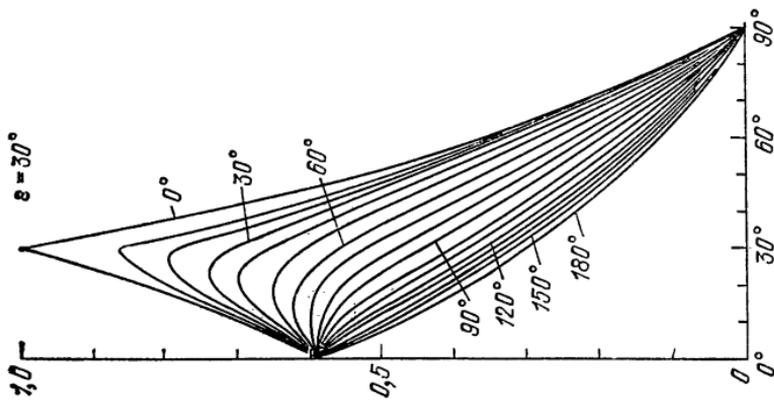
Приложение VIII.



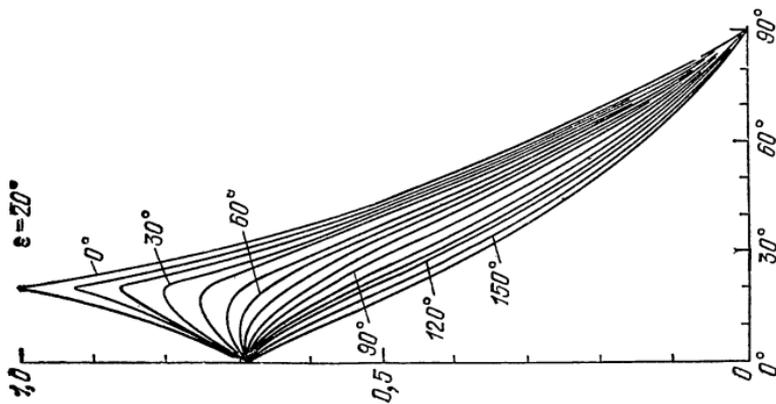
Приложение VIII.



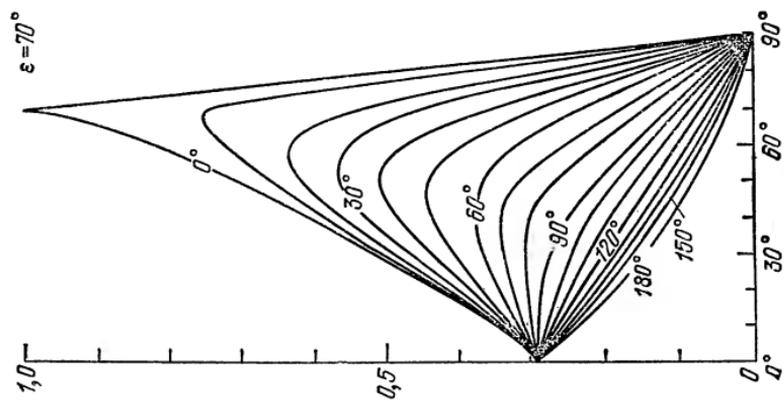
Приложение VIII.



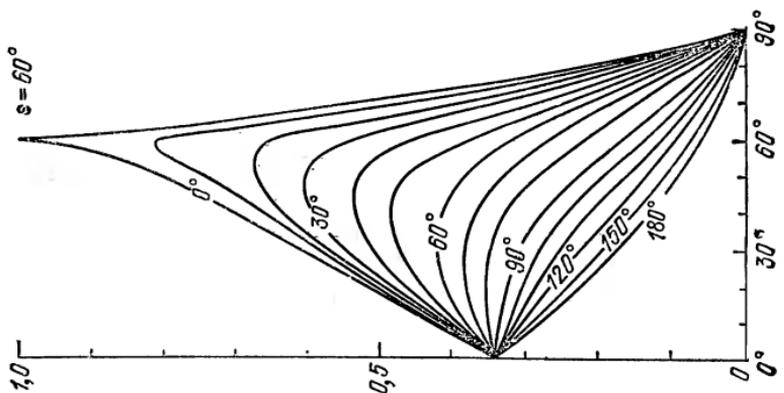
Приложение VIII.



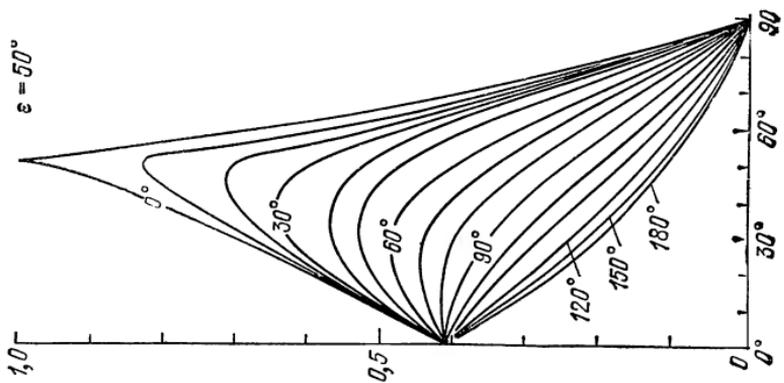
Приложение VIII.



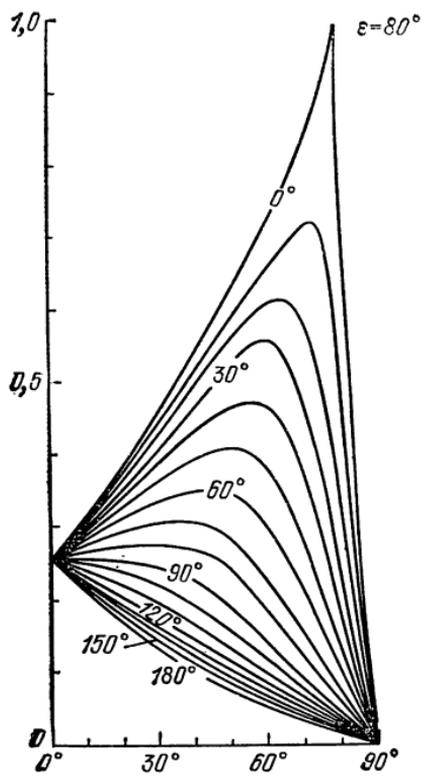
Приложение VIII.



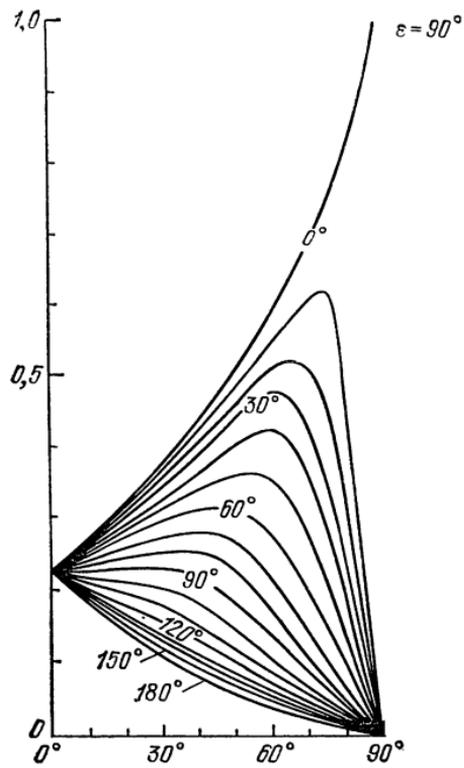
Приложение VIII.



Приложение VIII.



Приложение VIII.



Приложение VIII.

## ЛИТЕРАТУРА

### КНИГИ ОБЩЕГО ХАРАКТЕРА

- Гуриштейн А. А.* Извечные тайны неба. — М.: Просвещение, 1973.  
*Жарков В. Н.* Внутреннее строение Земли и планет. — М.: Наука, 1978.  
«Зонды» исследуют лунную трассу. М.: Машиностроение, 1969.  
Исследование космического пространства: Т. 5. Луна, ч. 1. — М.: ВИНТИ, 1973.  
Космохимия Луны и планет. — М.: Наука, 1975.  
*Куликов К. А., Гуревич В. Б.* Новый облик старой Луны. — М.: Наука, 1974.  
*Куликовский А. Г.* Справочник любителя астрономии. — М.: Наука, 1971.  
Луна. — М.: Мир, 1975.  
Планеты и спутники. — М.: Мир, 1974.  
Современные представления о Луне. — М.: Наука, 1972.  
Физика Луны и планет. — М.: Наука, 1972.  
Физика и астрономия Луны. — М.: Мир, 1973.

### МОНОГРАФИИ

- Атлас обратной стороны Луны. — М.: Изд-во АН СССР, 1960.  
Атлас обратной стороны Луны. Часть II. — М.: Наука, 1967.  
Атлас обратной стороны Луны. Часть III. — М.: Наука, 1975.  
*Вдовыкин Г. П.* Экзобиология Луны. — М.: Наука, 1975.  
*Викторов С. В., Чесноков В. И.* Химия лунного грунта. — М.: Знание, 1978.  
Вулканизм и тектоника Луны. — М.: Наука, 1974.  
*Гаврилов И. В.* Фигура и размеры Луны по астрономическим наблюдениям. — Киев: Наукова думка, 1969.  
*Гаврилов И. В., Кислюк В. С.* Сводный каталог селеноцентрических положений 2580 базисных точек на Луне. — Киев: Наукова думка, 1970.  
*Гаврилов И. В., Кислюк В. С., Дума А. С.* Сводная система селенодезических координат 4900 точек лунной поверхности (видимая сторона Луны). — Киев: Наукова думка, 1977.  
*Галкин Н. Н.* Геофизика Луны. — М.: Наука, 1978.  
Грунт из Моря Изобилия. — М.: Наука, 1973.  
Грунт из материкового района Луны. — М.: Наука, 1979.  
Грунт из Моря Кризисов. — М.: Наука, 1980.

- Дагаев М. М.* Солнечные и лунные затмения. — М.: Наука, 1978.
- Жарков В. Н., Паньков В. Л., Калачников А. А., Оснач А. И.* Введение в физику Луны. — М.: Наука, 1969.
- Крупенио Н. Н.* Радионисследования Луны и планет земной группы. Итоги науки и техники, серия астрономия, т. 16. — М.: ВИНТИ, 1980.
- Куликов К. А., Гуревич В. Б.* Основы лунной астрометрии. — М.: Наука, 1972.
- Липский Ю. Н., Никонов В. А., Скобелева Т. П.* Единая система селенодезических координат из девяти каталогов на видимом полушарии. — М.: Наука, 1973.
- Липский Ю. Н., Родионова Ж. Ф., Скобелева Т. П., Дехтярева К. И., Казимиров Д. А., Ситников Б. Д., Порошкова Г. А., Бубнова Н. В., Шуваева В. А.* Каталог кратеров Марса и статистика кратеров Марса, Меркурия и Луны. — М., 1977.
- Первые панорамы лунной поверхности. — М.: Наука, 1966.
- Первые панорамы лунной поверхности: т. II. — М.: Наука, 1969.
- Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1». — М.: Наука, 1971.
- Передвижная лаборатория на Луне «Луноход-1»: Т. II — М.: Наука, 1978.
- Проблемы геологии Луны. — М.: Наука, 1969.
- Рускол Е. Л.* Происхождение Луны. — М.: Наука, 1975.
- Сагитов М. У.* Лунная гравиметрия. — М.: Наука, 1979.
- Тектоника и структурная геология. Планетология. — М.: Наука, 1976.
- Черкасов И. И., Шварев В. В.* Грунт Луны. — М.: Наука, 1975.
- Черкасов И. И., Шварев В. В.* Грунтоведение Луны. — М.: Наука, 1979.
- Шевченко В. В.* Современная селенография. — М.: Наука, 1980.

## ЖУРНАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

- Армстронг Н.* Исследование лунной поверхности. — Земля и Вселенная, 1970, № 5, с. 30—36.
- Виноградов А. П.* О происхождении лунных пород. — Земля и Вселенная, 1970, № 3, с. 3—11.
- Виноградов А. П.* Кратко о Луне. — Вестник МГУ, 1973, № 6.
- Гольдовский Д. Ю.* Научные итоги программы «Аполлон». — Земля и Вселенная, 1973, № 5, с. 30—33.
- Ерошенко Е. Г.* Магнетизм Луны. — Земля и Вселенная, 1975, № 5, с. 26—32.
- Кутузов И. А.* Проблемы картографирования Луны. — Земля и Вселенная, 1975, № 5, с. 66—67.
- Левин Б. Ю., Маева С. В.* Загадки происхождения и истории Луны. — Земля и Вселенная, 1975, № 1, с. 22—28.
- Липский Ю. Н., Шевченко В. В.* О природе светлых лучей на Луне. — Астроном. журнал, 1968, т. 45, № 2, с. 389—398.
- Липский Ю. Н., Родионова Ж. Ф.* Картографирование Луны. — В кн.: Успехи Советского Союза в исследовании космического пространства, 1967—1977. — М.: Наука, 1978, с. 406—434.
- Родионова Ж. Ф.* Новая карта Луны. — Земля и Вселенная, 1979, № 1, с. 30—33.
- Сафронов В. С.* Лунные масконы. — Земля и Вселенная, 1970, № 3, с. 32—38.

- Тюфлин Ю. С.* Современные методы и результаты картографирования Луны и Марса. — Земля и Вселенная, 1975, № 5, с. 68—73.
- Флоренский К. П.* «Луноход-1» о поверхности Луны. — Земля и Вселенная, 1972, № 2, с. 6—8.
- Чуйкова Н. А.* Фигура Луны. — Земля и Вселенная, 1973, № 5, с. 34—39.
- Шевченко В. В.* Физическая селенография. — Вестник АН СССР, 1973, № 4, с. 10—19.
- Шевченко В. В.* Луна: 15 лет космических исследований. — Земля и Вселенная, 1975, № 3, с. 13—20.
- Шевченко В. В.* Луна: Космические и наземные исследования. — Земля и Вселенная, 1979, № 1, с. 22—29.

#### СПЕЦИАЛЬНЫЕ РАБОТЫ

- Аким Э. Л., Степаньянц В. А., Власова З. П.* Уточнение масс Земли и Луны по наблюдениям за движением удаляющихся от Земли автоматических межпланетных станций «Венера-4», «Венера-5», «Венера-6» и «Венера-7». — Докл. АН СССР, 1971, т. 201, № 6, с. 1303—1306.
- Акимов Л. А.* О законе отражения света лунной поверхностью. — Вестник ХГУ, 1965, № 4, вып. 1, с. 43—61.
- Акимов Л. А.* О влиянии мезорельефа на распределение яркости по диску планеты. — Астроном. журнал, 1975, т. 52, № 3, с. 635—641.
- Базилевский А. Т.* Геологическое строение и история развития поверхности Луны. — Известия АН СССР. Серия геологическая, 1977, № 5, с. 15—19.
- Бондаренко Л. Н., Лейкин Г. А.* Исследования физических свойств лунной поверхности в СССР. — Астрономический вестник, 1970, № 3, 4.
- Брейдо И. И., Ермошина К. Н.* Построение изофот протяженных небесных объектов фотографическим методом эквиденсит. — Астроном. журнал, 1968, т. 45, № 4, с. 865—877.
- Брейдо И. И., Виленская Б. Г.* Новый способ получения изофот протяженных объектов фотографическим методом эквиденсит. — Журнал научной и прикладной фотографии и кинематографии, 1971, т. 16, вып. 5, с. 373—375.
- Зверева А. М., Северный А. Б., Терез Э. И.* Измерения яркости неба на Луноходе-2. — Космич. исслед., 1974, т. 12, № 6, с. 910—916.
- Евсюков Н. Н., Шестопалов Д. И.* Поляриметрическое картирование Луны. — Астроном. журнал, 1975, т. 52, № 6, с. 1283—1298.
- Липский Ю. Н., Новиков В. В., Попов А. П.* Сравнительный анализ оптических, рентгеновых и химических параметров лунного материкового грунта. — Труды ГАИШ, 1978, т. 48, с. 136—146.
- Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г.* О распределении яркости по диску Луны в полнолуние. — Астроном. циркуляр, № 524, с. 5—7.
- Мороженко А. В., Яновицкий Э. Г.* Оптические свойства поверхностного слоя Луны. — Астроном. журнал, 1971, т. 48, № 1, с. 172—183.
- Шевченко В. В.* Основные фотометрические постоянные Луны в системе истинного полнолуния. — Астроном. журнал, 1980, т. 57, № 6, с. 1341—1343.

*Владислав Владимирович Шевченко*

ЛУНА И ЕЕ НАБЛЮДЕНИЕ

(Серия: «Библиотека любителя астрономии»)

Редактор *Г. С. Куликов*

Техн. редактор *Е. В. Морозов*

Корректор *А. Л. Ипатова*

ИБ № 11212

Сдано в набор 16.09.82. Подписано к печати 26.09.83. Т-19214.  
Формат 84×108<sup>1/32</sup>. Бумага книжно-журнальная. Литературная гарнитура. Высокая печать. Условн. печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 10,31. Тираж 100 000 экз. Заказ № 895.  
Цена 30 к.

Ордена Трудового Красного Знамени  
Первая типография издательства «Наука».  
159034, Ленинград, В-34, 9 линия, 12

Издательство «Наука»  
Главная редакция физико-математической литературы.  
117071, Москва, В-71, Ленинский проспект, 15

**БИБЛИОТЕКА ЛЮБИТЕЛЯ АСТРОНОМИИ**

**ВЫШЛИ ИЗ ПЕЧАТИ:**

- В. А. Бронштэн. Планеты и их наблюдение.**
- В. П. Цесевич. Переменные звезды и их наблюдение.**
- К. И. Чурюмов. Кометы и их наблюдение.**
- Л. Л. Сикорук. Телескопы для любителей астрономии.**
- В. В. Шевченко. Луна и ее наблюдение.**

