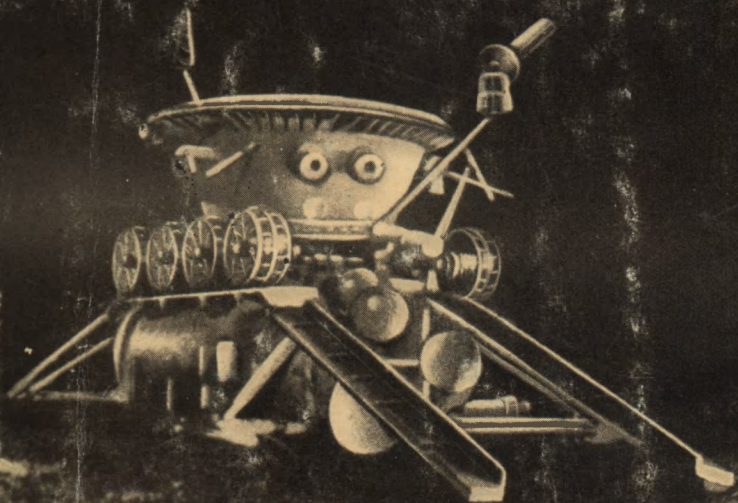


С.Н. МИНЧИН
А.Т. УЛУБЕКОВ



ЗЕМЛЯ - КОСМОС - ЛУНА



8353 *Sp*

С. Н. МИНЧИН и **А. Т. УЛУБЕКОВ**

ЗЕМЛЯ — КОСМОС — ЛУНА



С. Н. МИНЧИН

А. Т. УЛУБЕКОВ

Москва
«МАШИНОСТРОЕНИЕ»
1972



629.78
М-626
УДК

ЗЕМЛЯ- КОСМОС- ЛУНА

8353 пр.

Н Т Б
НИИ Приборостроения



~~УДК 627.787. 004.7. 525.5 (623)~~

629.484; 525.34

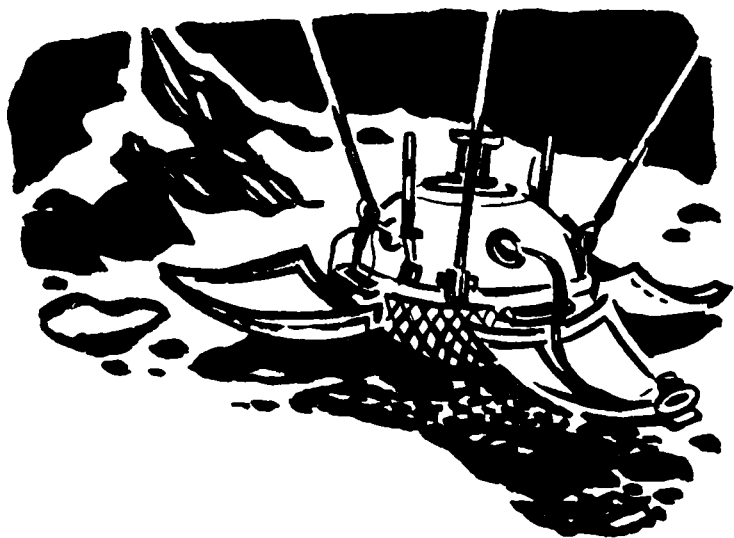
С. Н. Минчин и **А. Т. Улубеков. Земля—космос—Луна.**
М., «Машиностроение», 1972, стр. 244.

Эта книга — рассказ об истории и основных этапах исследования человеком Луны главным образом с помощью автоматических космических аппаратов. Сначала — о том, что было известно о Луне на основе использования наземных технических средств наблюдения. Далее — о полетах к Луне советских и американских автоматических станций и кораблей «Аполлон», о значении этих полетов в изучении и освоении нашей небесной соседки. И, наконец, — о том, что мы сегодня знаем о Луне — о ее физико-химических свойствах, рельефе поверхности, структуре грунта — и как эти знания использовать в интересах человечества.

Книга рассчитана на широкий круг читателей.

Иллюстр. 65, табл. 5, библи. 24 назв.

Редактор **В. Алексеев**



Еще совсем недавно космические полеты были областью писателей-фантастов. Человечество только в мечтах стремилось расширить границы познанной части Вселенной, достичь ближайших к Земле небесных тел. А уже в 1959 г. успехи в развитии науки и техники позволили осуществить в Советском Союзе запуск к Луне первых автоматических станций. С той поры началось планомерное изучение нашего естественного спутника советскими и американскими космическими аппаратами.

Начальными шагами человека космической эры являются научные исследования окружающего нас мира и создание опорных баз на околоземных

ВВЕДЕНИЕ

орбитах и Луне — наиболее доступном для нас небесном теле.

«Первые десять лет полетов в космос,— отмечает академик А. А. Благонравов,— доставили уникальные научные материалы, на получение которых прежними способами ушли бы долгие годы упорного, а в ряде случаев и бесполезного труда. Сейчас можно только предполагать, какими поистине бесценными материалами обогатится человечество в результате исследования Луны, планет Солнечной системы, которые являются составными частями единого мира — мира, имеющего общее происхождение, общее настоящее и будущее».

Каковы пути изучения и освоения Луны? По-видимому, они должны включать в себя следующие этапы.

1. Исследование основных свойств лунной поверхности, грунта и окололунного пространства с помощью автоматических научных станций, что, помимо фундаментальных научных результатов, позволит правильно проектировать аппараты для полетов человека на Луну.

2. Углубленное изучение Луны автоматическими станциями (в том числе и с возвращением на Землю) и первые полеты человека с посадкой на поверхность Луны.

3. Создание на Луне постоянных обитаемых баз и серии специализированных автоматических установок научного и прикладного характера.

4. Использование Луны для навигационных, метеорологических, связных и других практических целей; систематические научные исследования с лунных баз, имеющих принципиальные преимущества перед земными; утилизация материальных ресурсов Луны для местных и внелунных нужд.

На трудном пути проникновения в космос человечество делает только первые шаги, но уже достигло значительных успехов.

Развитие современной космонавтики, включая и изучение Луны, идет в двух направлениях: использование автоматических станций и пилотируемые полеты.

Примерно через год после запуска первого спутника Земли советские автоматические научные станции начали исследование Луны. Космические автоматы сфотографировали ее обратную, невидимую с Земли сторону, совершили мягкую посадку на поверхность Луны, передавая на Землю с помощью телевидения панораму лунной по-

верхности. Вскоре после этого на окололунную орбиту были выведены искусственные спутники Луны, продолжившие ее изучение. К исходу 1970 года были запущены уникальные по сложности и эффективности космические автоматы: «Луна-16», доставившая с Луны на Землю образцы грунта другого небесного тела, и станция «Луна-17» с «Луноходом-1», который провел длительные исследования лунной поверхности не только в месте посадки станции, но и на значительном удалении от нее. Наряду с этим были выполнены и другие научные эксперименты.

12 апреля 1961 года советский космонавт Юрий Гагарин открыл эру полетов человека в космос. После первого в мире космического рейса были проведены многочисленные полеты советских и американских космонавтов. В США в течение последних лет осуществлялась программа «Аполлон», целью которой явилась высадка людей на Луну.

За 15 лет космической эры в мире запущено несколько десятков автоматических станций к Луне и планетам Солнечной системы и более тысячи искусственных спутников Земли. За это же время пилотируемых кораблей было запущено значительно меньше, и из общего количества запусков космических объектов они составляют небольшую часть.

Но чему отдать предпочтение — автоматическим станциям или космическим кораблям с космонавтами на борту? Очевидно, необходимо и то, и другое на первых этапах изучения и освоения космоса.

Автоматы имеют широкие возможности и, по мнению многих ученых, — большие преимущества перед другими типами космических аппаратов при исследовании планет Солнечной системы. «Космические роботы» могут проникать в самые отдаленные и труднодоступные районы Вселенной, исследовать их и передавать или доставлять на Землю ценнейшую научную информацию. Наконец, они могут выполнять вместо людей целый ряд конкретных заданий.

Рейсы автоматических станций предшествовали и будут предшествовать пилотируемым полетам. Автоматы играют незаменимую роль разведчиков, авангардных средств исследования. К тому же автоматы значительно экономичнее пилотируемых кораблей, не нуждаются в

сложных системах жизнеобеспечения (а следовательно, более надежны), обеспечивают передачу или непосредственную доставку на Землю новых научных материалов из тех районов Солнечной системы, где пребывание людей пока что невозможно или связано с большим риском.

Вместе с тем нельзя полностью заменить работой автоматов сумму ощущений человека и его творческую деятельность — поэтому должно отдаваться и участию людей в изучении и освоении космического пространства, когда это оправдано или необходимо.

Все это получило свое подтверждение в знаменательном полете космического корабля «Аполлон-11» с первой высадкой человека на поверхность Луны.

Полеты кораблей типа «Аполлон» были бы невозможны без предварительной разведки и исследований, проведенных автоматическими станциями, и в то же время ими было подтверждено большинство научных данных, добытых при полетах автоматов.





В настоящем разделе кратко изложены основные сведения, полученные о нашем древнем спутнике классическими методами астрономии и радиоастрономии.

Постоянное изменение вида Луны, ее движение еще в древности привлекали внимание человека. Первые систематические наблюдения движения Луны по небу производились уже шесть тысячелетий назад в странах Двуречья (Ассирия и Вавилон).

За несколько веков до нашей эры греческие ученые в результате длительных наблюдений установили основные закономерности, которым подчинено наше ночное светило. Они высказали предположение,

ЧТО ИЗВЕСТНО О ЛУНЕ!

ДВИЖЕНИЕ ЛУНЫ

что Луна сияет отраженным солнечным светом, правильно объяснили ее фазы, а вавилонский астроном Берос доказал, что Луна постоянно обращена к Земле одной своей стороной.

Об успехах наблюдательной астрономии древних говорит факт предсказания Фалесом Милетским солнечного затмения, наблюдавшегося в 585 году до нашей эры.

Первая попытка определить расстояние до Луны и ее размеры принадлежит Аристарху Самосскому (третий век до нашей эры). Некоторые особенности движения Луны установил за два века до нашей эры Гиппарх, он же создал первую теорию ее видимого движения, которая в 120 году нашей эры была уточнена Птолемеем. Новые уточнения в теорию видимого движения Луны были внесены в XVI веке Николаем Коперником и Тихо Браге. Но все теории движения Луны от Гиппарха до Тихо Браге были чисто эмпирическими и их задачей было — возможно точнее описать видимое движение Луны по небосводу.

Создание подлинной теории движения Луны стало возможным только после открытия Кеплером (1571—1630) трех законов планетных движений и работ Ньютона (1642—1717), открывшего закон всемирного тяготения.

Эта задача оказалась одной из самых сложных в особом разделе астрономии — небесной механике. Объясняется это тем, что движение Луны определяется не только полем тяготения Земли, но и притяжением Солнца и (гораздо слабее) других планет Солнечной системы, а также влиянием несферичности фигур Земли и Луны, которое вызывает определенные «возмущения», или «неравенства», в движении Луны.

Вопросами теории движения Луны занимались многие крупные математики и механики прошлого и наших дней; в настоящее время теория движения Луны разработана достаточно подробно.

Благодаря своему движению вокруг Земли Луна меняет положение на небесной сфере относительно звезд; при этом одинаковое положение повторяется каждые 27 суток 7 часов 43 минуты 11,47 секунды; указанный промежуток времени называется сидерическим, или звездным, месяцем.

В связи с тем что Луна находится внутри сферы действия земного притяжения, под которой понимается об-

ласть пространства, где центральным телом является наша планета, а Солнце и близкие планеты рассматриваются как возмущающие тела,— движение Луны определяется в основном тяготением Земли.

В этих условиях Луна, двигаясь вокруг Земли по орбите, описывает эллипс, в фокусе которого находится наша планета. Эксцентриситет лунной орбиты, т. е. отношение расстояния между фокусами эллипса к его большой оси, сравнительно невелик — всего 0,0549, но и такая небольшая вытянутость орбиты приводит к тому, что расстояние Луны от Земли все время меняется. Когда Луна находится в ближайшей к Земле точке (в перигее), это расстояние составляет 363 000 километров, а в наиболее удаленной от Земли точке (в апогее) оно возрастает до 405 000 километров; среднее же расстояние Луны от Земли принимается равным 384 440 километрам.

Таким образом, эксцентриситет лунной орбиты вызывает изменение среднего расстояния Луны от Земли в ту и другую сторону на 21 000 километров. Как отмечалось выше, движение Луны возмущается притяжением Солнца, близких планет, а также отступлением формы Земли от шарообразной. Совокупность этих воздействий изменяет расстояние до Луны приблизительно на 6500 километров, так что в общей сложности это расстояние колеблется в пределах от 356 410 до 406 740 километров.

Длина лунной орбиты составляет в среднем 2 414 000 километров; этот путь Луна проходит за 2 336 400 секунд, и, следовательно, средняя скорость движения Луны вокруг Земли несколько превышает один километр в секунду (3680 километров в час).

Луч света (как и радиоволна) проходит расстояние от Земли до Луны немногим больше чем за одну секунду, приблизительно в 400 раз быстрее, чем от Земли до Солнца.

Взаимное расположение Земли, Луны и Солнца в пространстве непрерывно изменяется (из-за обращения Земли вокруг Солнца, а Луны вокруг Земли), поэтому мы в разные моменты времени наблюдаем разные части освещенного Солнцем видимого с Земли полушария Луны. Доля Луны, освещенная в данный момент времени Солнцем, называется ее фазой; граница, отделяющая освещенную Солнцем часть Луны от темной, называется терминатором. Явление последовательных изменений ви-

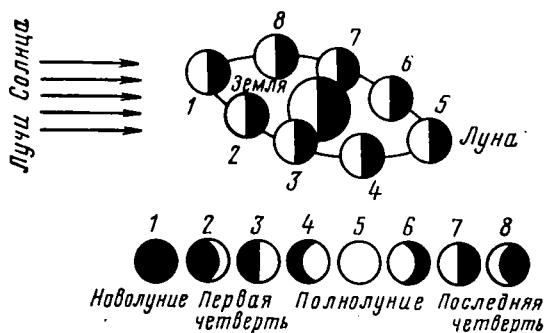


Рис. 1. Схема изменения фаз Луны

димой формы Луны (серп, полудиск, полная Луна и т. д.) называют сменой лунных фаз.

Схема изменения видимых очертаний Луны, т. е. ее фаз, представлена на рис. 1, где в центре изображена Земля, освещенная солнечными лучами; на рисунке показано восемь последовательных положений Луны на ее орбите (1, 2, ..., 8), а также вид Луны на небе в различных фазах, соответствующих этим положениям.

Вместо фазы нередко говорят о «возрасте» Луны — этим словом обозначают время, прошедшее от последнего новолуния.

Основных фаз Луны четыре: новолуние (1), первая четверть (3), полнолуние (5) и последняя четверть (7).

Лунный месяц начинается с расположения, при котором Луна находится между Солнцем и Землей примерно на одной прямой (новолуние), при этом к Земле обращена не освещенная Солнцем ночная сторона Луны. Затем начинается «рост» Луны. Через двое-трое суток узкий серп Луны можно видеть вечером на западе после захода Солнца («молодой» месяц); в это время темная часть Луны слабо освещена отраженным Землей солнечным светом (так называемый «пепельный» свет). Через четверть оборота (положение 3) Луна будет иметь вид светлого полукруга, а терминатор — вид прямой линии; такое положение называется первой четвертью, «возраст» Луны — около 7,3 суток.

Двигаясь далее по орбите, Луна переместится (положение 5) так, что к Земле будет обращено все освещен-

ное полушарие Луны — это положение называется полнолунием, «возраст» Луны — около 14,5 суток.

Затем Луна начинает «убывать» — наступает последняя четверть (положение 7); через двое-трое суток на ночном небосклоне появляется старый месяц, а затем вновь приходит фаза новолуния.

Одинаковые фазы Луны повторяются через каждые 29 суток 12 часов 44 минуты 2,8 секунды. Этот промежуток времени называется синодическим месяцем (от греческого слова «сюнодос», что означает «совместное прибытие»). Различная продолжительность синодического и сидерического месяцев объясняется наличием собственного движения системы Луна — Земля вокруг Солнца.

Пока Луна совершит полный оборот вокруг Земли, система Земля — Луна сместится почти на $1/12$ часть своей орбиты вокруг Солнца. Поэтому, чтобы снова прийти в соединение с Землей и Солнцем, Луне необходимо пройти угловое расстояние, примерно равное $1/12 \cdot 360^\circ = 30^\circ$, на что уходит приблизительно двое земных суток.

Так же, как и Земля, Луна вращается вокруг своей оси, но это вращение происходит значительно медленнее. Время вращения Луны вокруг своей оси точно совпадает с продолжительностью ее оборотов вокруг Земли, т. е. это вращение совершается за сидерический месяц.

«Пойдите в свою столовую и начните обходить круглый обеденный стол таким образом, чтобы все время смотреть на его центр. Когда вы окончите свою круговую прогулку, то увидите, что за это время вы сделали полный оборот вокруг себя, потому что ваш глаз последовательно обошел все стороны комнаты. Ну, так вот: столовая — это небо, стол — Земля, а вы сами были Луной» (Жюль Верн).

Вращение Луны вокруг своей оси создает для нее день и ночь, но это такие сутки, которые продолжаются почти целый земной месяц: на Луне продолжительность дня, так же как и ночи, — 14,76 земных суток.

Итак, Луна обращена к Земле всегда одной и той же стороной, однако мы можем рассмотреть и небольшую часть другого полушария Луны благодаря так называемому явлению либрации (в переводе с греческого — «покачивание»).

Астрономы различают несколько видов либрации: по долготе, широте, параллактическую и физическую.



Рис. 2. Схемы, поясняющие возникновение либраций по долготе (а) и широте (б)

Либрация по долготе объясняется тем, что разные участки своей эллиптической орбиты Луна проходит с разной скоростью: в перигее она движется наиболее быстро, в апогее — наиболее медленно, вращение же Луны вокруг оси происходит более равномерно. Поэтому, пройдя, например, четверть своего пути по орбите, она иногда поворачивается вокруг своей оси меньше чем на четверть оборота, а иногда — больше, и к Земле оказываются обращенными небольшие участки другого полушария; это явление получило название либрации по долготе (рис. 2).

Либрация по широте связана с тем, что плоскость лунной орбиты наклонена к плоскости экватора Луны на $6^{\circ}40'$. Поэтому мы рассматриваем Луну иногда чуть с юга, иногда чуть с севера, причем становятся доступными районы невидимого полушария.

Третий вид оптической либрации — параллактическая — определяется тем, что в связи с вращением Земли вокруг своей оси мы в течение полусуток видим Луну с разных направлений.

Физическая либрация — это действительное покачивание Луны относительно прямой, проходящей через центры Земли и Луны, вследствие того, что наш спутник несколько вытянут в направлении к нашей планете.

Явления либрации позволяют нам увидеть, кроме обращенного к Земле полушария, еще примерно 9% поверхности Луны.

НЕКОТОРЫЕ ЧИСЛОВЫЕ ПАРАМЕТРЫ ЛУНЫ

Каковы размеры Луны? Наши сведения о размерах Луны основаны на измерениях видимого или углового диаметра лунного диска. Угловой диаметр Луны — это

угол, образованный направлениями, проведенными от глаза наблюдателя на верхний и нижний края диска Луны.

В результате многочисленных измерений лунного поперечника различными методами (при помощи телескопов с разнообразными приспособлениями, с применением фотографии и пр.) средний угловой диаметр Луны принят равным $31'05''$ и соответственно радиус $15'32,5''$.

Зная угловой диаметр Луны и расстояние до нее, легко получить истинный, т. е. линейный, радиус лунного шара (рис. 3):

$$R = \Delta \sin \delta,$$

где Δ — среднее расстояние до Луны (384 440 километров);

δ — угловой радиус Луны (15 минут 32,5 секунды).
Линейный радиус Луны равен 1737 километрам.

Таким образом, диаметр Луны равен 3474 километрам; он меньше диаметра Земли почти вчетверо (0,272 земного).

По известному радиусу Луны в линейных единицах нетрудно подсчитать и другие ее числовые параметры.

Так, длина окружности, вычисляемая по формуле $L = 2\pi R$, равна 10 920 километрам (0,27 окружности земного шара).

Поверхность Луны, подсчитанная по формуле $s = 4\pi R^2$, равна 37 910 000 квадратных километров: поверхность Луны несколько меньше площади азиатского материка и в 13,42 раза меньше поверхности Земли (которая составляет 510 069 000 квадратных километров).

Объем Луны почти в 50 раз меньше объема земного шара и примерно равен 22 миллиардам кубических километров.

Дальность видимого горизонта на Луне почти вдвое меньше, чем на Земле. Для ее определения рассмотрим прямоугольный треугольник АВО (рис. 4), где l — дальность видимого горизонта, h — высота наблюдателя над поверхностью, а R — радиус Луны.

Из треугольника АВО следует, что

$$l^2 = (R + h)^2 - R^2; \quad l = \sqrt{2Rh + h^2} = \sqrt{Dh + h^2}$$

(формула $l = \sqrt{Dh + h^2}$ применима, конечно, к любому шаровому телу).

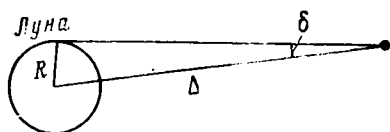


Рис. 3. К определению линейного радиуса Луны по замеренному угловому радиусу

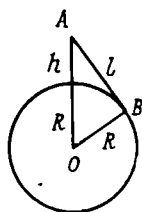


Рис. 4. Зависимость дальности видимого горизонта от радиуса шарового тела R и высоты h над его поверхностью

Если рассматриваются возвышения h , очень малые в сравнении с диаметром тела D , то с достаточно высокой точностью можно принять, что дальность горизонта равна $l = \sqrt{Dh}$. Например, для Луны, если возвышения (h) меньше 50 километров, применение этой формулы вместо точной дает ошибку в определении дальности видимого горизонта (l) менее 1 процента.

Из полученной формулы видно, в частности, что дальность горизонта на Луне примерно вдвое меньше, чем на Земле для одинаковых и не очень больших h , — ведь диаметр Луны почти вчетверо меньше земного.

В качестве примера можно указать, что на Луне дальность горизонта составляет:

- с высоты человеческого роста — около 2,5 километра;
- с самой высокой лунной горы — почти 180 километров;
- с орбиты лунного спутника ($R = 100$ км) — 600 километров.

Большое значение не только для астрономии, но и для космонавтики имеет отношение массы Луны к массе Земли, так как от него зависят важные характеристики нашего спутника.

В результате многочисленных расчетов, проведенных с применением различных способов определения этой величины, оказалось, что масса Луны в 81,30 раза меньше массы Земли. Поскольку масса Земли равна $5,98 \cdot 10^{21}$ тонн, то масса Луны составляет $7,35 \cdot 10^{19}$ тонн.

Делением массы на объем получаем среднюю плотность вещества Луны, равную 3,35 грамма на кубический сантиметр, т. е. плотность Луны значительно меньше плотности Земли (5,52 грамма на кубический сантиметр); она приближается к плотности горных пород земной коры (базальта).

Зная массу и радиус Луны, легко рассчитать силу притяжения на ее поверхности и ускорение силы тяжести. Ускорение силы тяжести на Луне составляет 162 сантиметра на секунду в квадрате, что примерно в шесть раз меньше, чем на поверхности Земли.

Приведенные данные позволяют определить параболическую скорость для Луны, или, как принято говорить, вторую космическую скорость (V_2), которую нужно сообщить телу, чтобы оно вышло из поля тяготения Луны. Для Земли эта скорость составляет 11,2 километра в секунду, а для Луны — всего 2,38 километра в секунду, т. е. в четыре с половиной раза меньше.

Первая космическая скорость (V_1) для Луны, при которой тело переходит на круговую орбиту и становится спутником, составляет лишь 1,68 километра в секунду.

Напомним, что формулы для подсчета первой и второй космических скоростей на расстоянии R от центра рассматриваемого небесного тела имеют вид

$$V_1 = \sqrt{gR}, \quad V_2 = \sqrt{2gR},$$

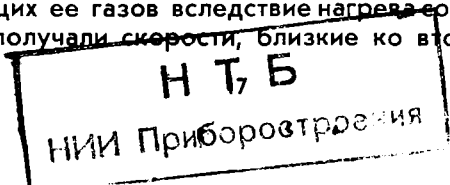
где g — ускорение силы тяжести также на расстоянии R .

ФИЗИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ НАШЕГО СПУТНИКА

Малость массы Луны является причиной отсутствия у нее какой-либо заметной атмосферы или защитного газового покрова.

Газовая оболочка вокруг небесного тела создается вследствие притяжения, оказываемого небесным телом на молекулы окружающего газа. Это притяжение препятствует молекулам газа — несмотря на их тепловое движение — приобрести скорость V_2 , достаточную для того, чтобы покинуть небесное тело.

Если Луна когда-либо имела атмосферу, то молекулы составляющих ее газов вследствие нагрева солнечным излучением получали скорости, близкие ко второй косми-



ческой, отрывались от Луны и рассеивались в мировом пространстве.

Отсутствие на Луне ощутимой атмосферы подтверждается и непосредственными наблюдениями нашего спутника: на ее поверхности отсутствуют заметные облака; края видимого диска всегда отчетливо видны, все тени кажутся совершенно темными, при покрытии звезд Луной свет их исчезает мгновенно и пр.

Лунная атмосфера имеет плотность не более 10^{-12} плотности атмосферы Земли у ее поверхности: наличие столь разреженной атмосферы может быть установлено лишь наблюдениями непосредственно на Луне.

На поверхности Луны нет воды в свободном состоянии, а если бы она и была, то ее испарение образовало бы вокруг Луны атмосферу из водяного пара, которая также быстро рассеялась бы в мировом пространстве.

Отсутствие водной и газовой оболочек у Луны предопределяет своеобразие ее рельефа, на формирование которого (в отличие от земного) существенное влияние оказывают следующие факторы: падение метеоритов, воздействие космического излучения, вулканизм, существенный температурный градиент поверхностных слоев грунта лунным днем и лунной ночью.

В связи с этим строение лунной поверхности характерно крайней пересеченностью, почти полным отсутствием ровных участков.

Наиболее характерной чертой лунного рельефа являются кольцевые горы — цирки и кратеры. Цирки — кольцевые горные хребты (валы), окружающие сравнительно ровную, часто темную, как у морей, поверхность (дно). Кратеры отличаются от цирков тем, что у них на дне расположены одна или несколько остроконечных вершин — центральные горки.

От некоторых наиболее крупных кратеров распространяются светлые лучи протяженностью в сотни и тысячи километров; эти лучи, очевидно, являются результатом выброса мелких тел из кратера при его образовании.

На лунной поверхности наблюдается также значительное количество борозд, трещин и долин.

Множество камней различной величины разбросано по лунной поверхности, что впервые было обнаружено автоматической научной станцией «Луна-9».

К крупным образованиям лунного рельефа относятся

также горы и горные хребты; наибольшая высота гор — до девяти километров.

Впервые высота лунных гор была определена с достаточной точностью Галилеем (применившим телескоп для астрономических наблюдений) по длине отбрасываемых ими теней.

Луна — как это заметно даже невооруженным глазом — имеет на общем сравнительно светлом фоне много темных областей, названных «морями».

Материковые (более светлые) районы Луны занимают около 60 процентов ее видимой поверхности и представляют собой в основном гористую местность.

Моря — это, очевидно, затопленные лавой участки; причины затопления — вулканическое извержение или падение крупных метеоритов.

Неясны причины образования кратеров. Каждый из сторонников как вулканической, так и метеоритной теорий находит в новых данных о Луне подтверждение своих собственных взглядов. Скорее всего правы и те и другие: образование лунного рельефа есть результат и лунного вулканизма и падения на Луну метеоритов.

Наблюдения Луны начиная с XVII века (зарисовки Гевелия и Риччоли) дали начало лунным картам и названиям ее образований. Первый каталог общепринятых названий лунных образований, охватывающий 662 объекта, был издан Международным астрономическим союзом в 1935 году. В настоящее время картографирование Луны продвигается удивительно быстрыми темпами (см. разд. «Картографирование лунной поверхности»).

Так как на Луне практически нет атмосферы, а ее сутки продолжаются целый месяц, то любое место лунной поверхности (кроме полярных районов) испытывает очень резкие суточные колебания температуры: от плюс 100—150° С лунным днем до минус 130—170° С лунной ночью.

Поверхностный слой Луны обладает (в силу своей чрезвычайной пористости и вакуума) очень малой теплопроводностью — порядка 10^{-5} — 10^{-6} калорий в секунду на сантиметр-градус Цельсия, поэтому он быстро нагревается при восходе Солнца и быстро остывает при отсутствии внешнего подогрева.

Равновесная температура лунной поверхности определяется в итоге тепловыми потоками от Солнца, из недр

Луны и собственным тепловым излучением в мировое пространство; зависит она также от теплофизических параметров лунного грунта и оптических свойств его наружной поверхности.

Тепловой поток из недр Луны к ее поверхности (как это показали радиометрические измерения) примерно такой же, как и у Земли,— он составляет в среднем $1,3 \cdot 10^{-6}$ калорий в секунду на сантиметр в квадрате. Величина этого потока пренебрежимо мала в сравнении с лучистым солнечным потоком; в связи с этим дневная равновесная температура поверхности Луны есть результат баланса (равенства) двух тепловых потоков: поглощенного поверхностью солнечного и излученного поверхностью Луны как нагретым телом.

Однако с наступлением ночи (или при затмениях) темп остывания лунной поверхности определяется уже коэффициентом ее теплового излучения и подводом тепла из глубинных слоев. При этом отдельные участки лунного грунта, под которыми сравнительно близко лежат более теплопроводные скальные породы, получают из недр Луны большее количество тепла и имеют на несколько десятков градусов более высокую температуру. Такие участки наиболее легко наблюдаются во время лунных затмений (при помощи зондирования лунной поверхности в инфракрасном диапазоне), когда значительная часть поверхности Луны начинает остывать почти одновременно.

«Теплых» участков зарегистрировано уже более 300, они расположены в основном на кратерах со светлыми лучами («Тихо», «Коперник», «Аристарх» и др.), а также в особо светлых областях; две трети «теплых» участков группируются на морях и одна треть — на материках Луны.

Возможно, что неоднородность теплового режима наружного покрова Луны (как и некоторые другие его физические характеристики) связана с районами, сейсмически активными в прошлом, с геологически разными по возрасту образованиями и т. д.,— но это можно выяснить полностью, исследуя Луну приборами, доставленными непосредственно на нее, главным образом путем сейсмических измерений и химического анализа грунта различных ее районов.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

Наблюдение и изучение Луны производятся следующими методами (кроме традиционно телескопических — визуальными наблюдениями и фотографированием): фотометрическим, спектрофотометрическим, колориметрическим, радиометрическим, радиолокационным и с применением космической техники.

Регистрация количества отраженного света от лунной поверхности (фотометрия) в зависимости от условий освещения позволяет сделать вывод о геометрических и физических свойствах наружного слоя лунного грунта. Кроме того, определение цвета и поляризации объектов, расположенных на Луне, сравнение их с соответствующими параметрами земных пород дает нам в руки способ исследования строения и происхождения лунного вещества. Применение фотометрии для изучения Луны дало возможность накопить громадный фактический материал, который неизменно используется и в сочетании с другими методами исследования.

В частности, тот результат фотометрических измерений, что яркость сходных районов (например, материков) всего диска Луны, отмечаемая в полнолуние, примерно одинакова и свет отражается в основном в направлении на Солнце, позволил сделать заключение о сильной микрошероховатости лунной поверхности.

Недостатком фотометрического метода является то обстоятельство, что он (в силу ограниченности разрешающей способности наземных приборов) дает осредненные оптические характеристики для участков лунной поверхности размерами в десятки километров, а исследование фотометрических характеристик земных пород выполняется в гораздо меньших масштабах.

Другая цепь затруднений, связанная с применением сравнительного фотометрического метода (как, впрочем, и других методов, основанных на сопоставлении характеристик наружных лунных и земных пород), состоит в том, что отсутствие на Луне атмосферы определяет и другие условия образования поверхностных пород. Этот факт приводит к тому, что по структуре и оптическим характеристикам лунный грунт заметно отличается от соответствующих земных пород, несмотря на близкий химический состав и происхождение. Например, вулкани-

ческое вещество, выброшенное на поверхность Луны, испытывает в вакууме своеобразную дегазацию, а из-за отсутствия окисной пленки подвергается действию значительных сил сцепления, которых нет на Земле; дальнейшая бомбардировка этого вещества космическими частицами приводит к последующему возрастанию пористости и потемнению.

Аналогичное воздействие на лунный грунт могут оказывать и метеориты (включая мельчайшие): при их ударе о поверхность возможно местное закипание лунного грунта с образованием пузырчатой структуры.

Все это обуславливает и вторую оптическую особенность наружного покрова Луны, а именно, низкое альбедо (отражение) лунной поверхности, равное в среднем 7 процентам, которое для земных пород наблюдается лишь в вулканических шлаках.

Спектральные и колориметрические наблюдения Луны, а именно, измерения распределения энергии в спектре отраженного Лунной излучения, позволили определить цвет и альбедо отдельных образований, что дает представление о некоторых параметрах лунных пород путем сравнения с цветом и альбедо земных пород.

Спектрофотометрия помогла разобраться в очень интересном явлении, наблюдавшемся в районе кратера Альфонс известным советским астрономом Н. А. Козыревым в ночь со 2 на 3 ноября 1958 года. Полученные спектры говорили о том, что в районе кратера Альфонс происходило истечение газа, в спектре которого отмечены яркие эмиссионные линии углерода (C_2).

Широкое и эффективное применение получили в последнее время радиометрические методы изучения Луны. И если инфракрасное излучение дает представление лишь о температуре наружной поверхности Луны, то радиометрия позволяет определить температуру на различных глубинах от поверхности.

Советскому ученому В. С. Троицкому с сотрудниками удалось в несколько раз повысить точность измерений радиоизлучения Луны применением нового способа калибровки аппаратуры: в качестве эталона радиоизлучения использовалась «искусственная Луна» в виде диска с угловым размером, равным угловому размеру Луны.

Наиболее «молодым» методом исследования Луны является радиолокационный (кроме, конечно, метода,

использующего автоматические космические станции); этот метод состоит в регистрации и анализе отраженных Лунной радиосигналов, посылаемых к ней с Земли.

Радиолокация позволяет определять расстояния до Луны с погрешностью не более одного километра, т. е. точнее, чем астрономические методы.

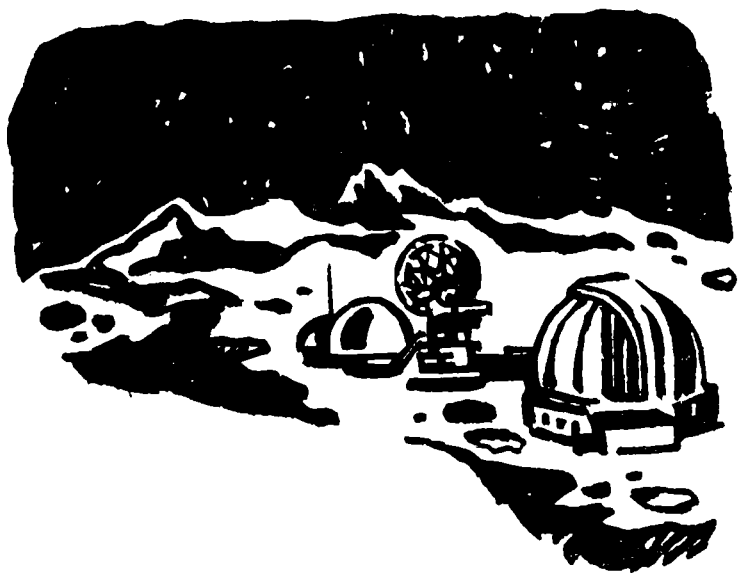
С помощью радиолокационных методов исследования удается определять коэффициенты отражения радиоволн от лунной поверхности, законы рассеяния радиоволн различных длин, что дает возможность судить о структуре лунного грунта, породах, из которых он состоит, и некоторых других его физических параметрах.

Однако все наземные методы исследования Луны по своей результативности не идут ни в какое сравнение с методами непосредственного изучения Луны с близкого расстояния или с ее поверхности — при помощи научного оборудования, доставляемого средствами космической техники.

За десять лет исследований Луны с помощью автоматических станций ученые получили о ней гораздо больше научной информации, чем за все время ее изучения с поверхности Земли.

Можно ожидать, что в недалеком будущем автоматические космические аппараты позволят человеку не только провести детальные научные исследования Луны, но и перейти к практическому использованию ее материальных ресурсов.





Естественно, что в объеме одного раздела невозможно исчерпывающим образом осветить все стороны изучения и эксплуатации нашего природного спутника. Мы ограничимся основными научными исследованиями, которые могут быть выполнены на Луне, а также некоторыми практическими задачами ее освоения.

Вследствие относительной близости к Земле, наличия факторов космического воздействия, небольшой силы тяжести на поверхности, вакуума, возможности сравнительно легко получать большой диапазон температур — наш древний спутник может явиться весьма полезной внеземной лабораторией и научной станцией.

НАУЧНОЕ И ПРАКТИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ ОСВОЕНИЯ ЛУНЫ

ВВОДНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

Дело не только в том, что мы приобретаем еще одну опорную научно-исследовательскую базу, аналогичную организованной, например в Антарктиде, а в том, что мы на Луне получаем новые условия для наблюдений и научных экспериментов. Это связано как с отсутствием атмосферы, существенно затрудняющей изучение внеземных объектов и постановку некоторых экспериментов, так и с возможностью непосредственного исследования и использования соседнего с нами крупного небесного тела. Насколько это важно, видно из того, что наземными средствами невозможно исследовать не только обратную сторону Луны и ее недра, но и поверхностные ее слои; спектральный анализ, открытый свыше 100 лет тому назад, позволил определить химический состав самосветящихся объектов (типа звезд), атмосфер планет, межзвездного газа, но до применения космической техники даже состав лунного грунта оставался неизвестным.

Эффективность использования Луны может быть повышена, если в будущем в ее освоение, помимо автоматов, включится и человек.

Поэтому не удивительно, что уже в настоящее время разрабатываются и создаются проекты постоянных обитаемых лунных баз.

Прежде чем перейти к изложению основного содержания раздела, рассмотрим несколько вопросов, определяющих успешность жизнедеятельности человека на Луне. Главным образом это — наличие энергетических и сырьевых ресурсов, возможность создания необходимых помещений в специфических лунных условиях с учетом отсутствия атмосферы.

Последнее обстоятельство потребует строгой герметизации жилых помещений, оранжерей и других сооружений, в которых необходимо наличие газовой среды. Часть работы в условиях вакуума персоналу лунных баз придется выполнять в специальных скафандрах.

Обеспечение деятельности человека на Луне — особенно в условиях суровой двухнедельной ночи — определяет повышенные энергетические потребности, удовлетворение которых привозными средствами значительно бы сузило круг задач, решаемых на Луне. Каковы же лунные энергетические возможности в сравнении с земными?

Исторически так получилось, что на Земле основным источником энергии служит органическое топливо: сначала дрова, потом каменный уголь, торф, природный горючий газ и нефть; применение гидравлической и атомной энергии, хотя и возрастает, однако имеет относительно скромные размеры. Тепло земных недр и солнечный лучистый поток в качестве энергетических источников используются в незначительных количествах по следующим причинам. За сотни миллионов лет природа приготовила нам громадные запасы дешевого и доступного топлива, образовавшегося из растительных останков. Повсеместная утилизация тепла недр Земли нерентабельна в связи с тем, что повышение температуры с углублением на один километр составляет лишь 30°C ; использование горячей воды и пара из подземных источников для сооружения геотермических станций оказывается целесообразным только в сейсмически активных районах, где эти источники близки к поверхности.

Применение солнечной энергии осложняется рядом обстоятельств: около 40 процентов солнечной радиации отражается в мировое пространство (в основном облаками и снежно-ледовым покровом Земли); примерно 30 процентов расходуется на испарение воды и подъем ее паров в атмосферу. Подходящий к поверхности солнечный поток очень неравномерен: ослабляется облачностью, изменяется в течение дня, времени года и т. д. (хотя и дает жизнь всему живому на Земле).

На Луне пока что твердо можно рассчитывать лишь на солнечную энергию, так как ее утилизация — при отсутствии атмосферы — может быть весьма эффективной.

Солнце является мощным и долговечным природным термоядерным реактором, и его использование в космосе для энергетических целей безусловно рационально.

Лучистый поток от Солнца непрерывно приносит к Луне (так же, как и к Земле) 1 400 ватт энергии на квадратный метр площади, перпендикулярной солнечным лучам, т. е. около 15 тысяч миллиардов киловатт энергии на освещенную лунную поверхность, что в 3000 раз превышает суммарную мощность всех эксплуатируемых человеком источников энергии.

Основной формой использования солнечной энергии на Луне будет, очевидно, преобразование ее в электри-

ческую; естественно, что лунным днем солнечная энергия будет широко применяться для освещения и обогрева помещений и в различных производственных целях.

Современные кремниевые фотоэлементы, используемые для создания солнечных батарей (СБ) в качестве генераторов электроэнергии космических аппаратов, имеют КПД в пределах 10—13 процентов; минимальный вес СБ на 1 киловатт получаемой энергии составляет примерно 10 килограммов.

В настоящее время на базе кремниевых элементов спроектированы энергетические установки, имеющие площадь панелей СБ около 400 квадратных метров и обеспечивающие получение мощности 50 киловатт.

Физики надеются, что в ближайшее время КПД солнечных батарей можно будет довести до 25 процентов, используя лишь световую часть солнечной радиации. Читателю предоставляется возможность подумать над тем, как разумнее использовать хотя бы часть из остальных 75 процентов энергии солнечного потока, в основном излучаемых (в форме тепла) панелями солнечных батарей в пространство, — тем более, что дополнительный отвод тепла от панелей СБ снижает температуру и тем самым увеличивает их КПД.

На Луне найдет широкое применение, очевидно, еще одна форма энергоснабжения, используемая также и лунной ночью. Речь идет о получении электроэнергии с помощью полупроводниковых элементов, работающих на разности температур. На глубине одного-двух метров в лунном грунте постоянно сохраняется температура около минус 30° С; ее отличие от температуры поверхности составляет 100—150°, так как лунной ночью поверхность охлаждается до минус 130—170°, а лунным днем нагревается до плюс 100—130° С (исключая районы полюсов).

Наконец, при обнаружении на Луне необходимых видов сырья могут быть использованы и другие формы источников энергии: топливные, атомные и пр.

Таким образом, энергоснабжение всех лунных сооружений и установок, а также создание необходимого им теплового и светового режимов не вызывает каких-либо принципиальных инженерных трудностей.

Не исключено, что в недрах лунных пород будут обнаружены естественные запасы топлива; на наш взгляд,

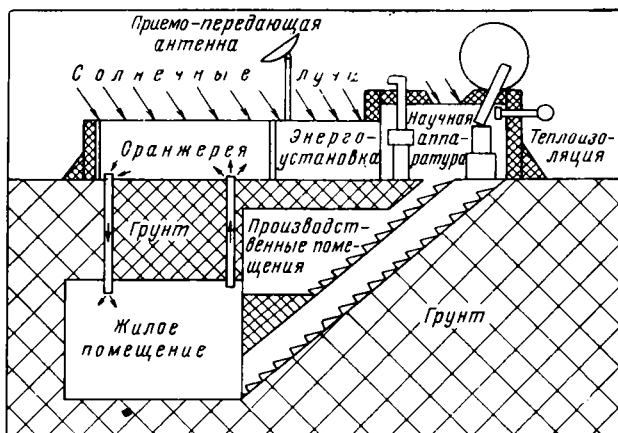


Рис. 5. Одна из возможных схем лунного поселения

их не следует использовать на Луне по прямому назначению в заметных масштабах. Гораздо рациональнее употреблять лунное топливо для дозаправки космических кораблей дальнего назначения, а также в качестве сырья химического производства на Луне (тем более, что при отсутствии атмосферы для сжигания топлива приходится тратить искусственно получаемый кислород).

Специальные требования по световому режиму будут предъявлять лунные оранжереи; для их обеспечения (так же, как и для других целей) в период лунной ночи придется иметь значительные резервы энергии, запасенной днем.

Оранжереи, являющиеся поставщиком продуктов питания для персонала лунного поселения, должны примыкать к жилым помещениям, чтобы успешнее выполнять и второе свое назначение: преобразование выдыхаемого человеком углекислого газа в кислород; одна из возможных схем лунного поселения представлена на рис. 5.

Сооружение лунных баз, безусловно, потребует значительных усилий. На первых порах часть помещений и оборудование будут доставлены с Земли; однако дальнейшее строительство и обеспечение функционирования должны производиться с использованием местных ресурсов энергии и сырья.

Очевидно, что для строительно-монтажных работ на Луне понадобятся специальные машины с большой степенью автоматизации, рассчитанные применительно к лунным условиям.

Как показали измерения автоматических станций «Луна-10», «Луна-12», «Луна-17» и «Сервейер», а также исследования образцов лунного грунта, доставленного на Землю космическими кораблями «Аполлон» и космическими автоматами «Луна-16» и «Луна-20», в лунном грунте содержатся все вещества, необходимые для широкой деятельности человека на Луне,— в первую очередь, это кислород и металлы. Весьма вероятно наличие большого количества воды в недрах Луны — что следует из анализа некоторых астрономических наблюдений, выполненного советскими учеными Г. Н. Каттерфельдом и П. М. Фроловым.

Технология выплавки металлов, выделения воды, получения кислорода и других элементов из лунных пород уже сейчас обстоятельно обсуждается в научно-технической литературе, отрабатывается экспериментально и находит положительное решение для условий их получения на Луне.

Проводятся, например, опыты по получению воды и кислорода восстановлением расплавленных силикатов метаном; рассматриваются химические процессы и соответствующие энергетические затраты для выделения воды из различных пород и разложения ее на кислород и водород в солнечных печах. Как известно, земные вулканические породы содержат от 1 до 8 процентов воды, а наличие вулканических образований на Луне теперь уже не вызывает никаких сомнений.

Однако, к сожалению, в образцах грунта — привезенного с Луны кораблями «Аполлон» и станциями «Луна-16» и «Луна-20» — вода не обнаружена (за исключением небольшого ее количества в двух образцах); есть основания полагать, что этот факт имеет место лишь для поверхностных слоев лунных пород.

Обнадеживающие данные в этом отношении получены детекторами ионов, установленными на Луне экипажами кораблей «Аполлон-12» и «Аполлон-14». 7 марта 1971 года детекторы зарегистрировали всплеск, который объясняется учеными выбросом паров воды из «лунного гейзера».

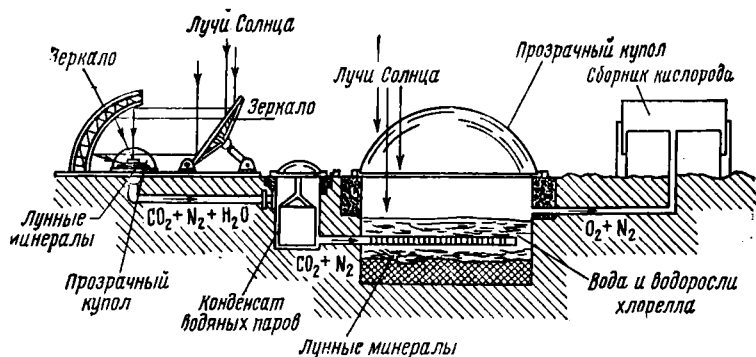


Рис. 6. Схема установки Звицкого для производства на Луне воды, кислорода, азота, продуктов питания и для других целей

Выброс паров воды совпал по времени с сейсмическими колебаниями, причем не было обнаружено ионов (например, ионов сернистого ангидрида), характерных для явлений вулканизма, что указывает, по-видимому, на факт истечения паров воды из трещин.

В связи с этим американский ученый доктор Джон Фримен, возглавляющий специальную исследовательскую группу, высказал предположение о возможности существования на Луне запасов воды и нефти.

Достаточно полно рассматриваемый вопрос решается в проекте американского физика Ф. Звицкого, предложившего комплексную установку для получения на Луне воды, кислорода и выращивания продуктивных растений. Общая схема установки показана на рис. 6 (зеркала автоматически следят за положением Солнца). Из карбоната кальция и лунных пород, содержащих воду, при температуре около 3000°C выпаривается вода и освобождается углекислый газ. Перегретый водяной пар (до его конденсации в воду) может быть направлен в турбину для выработки электроэнергии, углекислый газ поступает в теплицу с продуктивными растениями, из которой кислород, создаваемый растениями, подается, например, в жилые помещения.

В солнечном коллекторе с температурой порядка 4000°C из карбоната кальция можно выделить кислород, углерод и окись углерода. По расчетам Звицкого, солнечный коллектор площадью около 1 квадратного метра

может обеспечить получение примерно 300 литров кислорода в час, а коллектор диаметром 5 метров — до 25 литров воды в сутки.

РОЛЬ И ВОЗМОЖНОСТИ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ И ОБИТАЕМЫХ БАЗ В ИЗУЧЕНИИ И ОСВОЕНИИ ЛУНЫ

При решении указанных задач автоматическим станциям отводятся, по всей вероятности, три основные функции: снабжение с Земли (научным оборудованием, машинами, материалами), проведение научных и прикладных исследований в широких масштабах на поверхности Луны и доставка с нее на Землю информационных материалов. И если — по мере роста самостоятельности обитаемых лунных баз — первая задача будет постепенно терять свое определяющее значение, то роль второй функции едва ли будет уменьшаться — вернее, будет возрастать.

Автоматические станции на Луне, как и всюду в космосе, будут являться разведчиками и основными «работниками» новых осваиваемых областей. Эта их особая и весьма важная роль определяется вполне очевидными трудностями, с которыми сталкивается человек в своей внеземной деятельности, требующей создания сложного комплекса систем жизнеобеспечения.

В связи с этим применение научных лунных станций, имеющих автоматическое оборудование и обеспечивающих поддержание необходимого для их работы режима, явится весьма эффективным в решении целого ряда вопросов. Во-первых, автоматические станции помогут изучению всей поверхности Луны, свойств и состава ее наружных слоев, некоторых ее характеристик как небесного тела. Во-вторых, они проведут исследования, имеющие прикладной характер: картографирование поверхности, поиск полезных ископаемых, определение тепловых, радиационных и других параметров Луны, важных для выбора методов и форм ее освоения. Кроме того, автоматические станции начнут исследования, имеющие практический интерес для жителей Земли (например, в области метеорологии) и большое значение для некоторых наук (главным образом для астрономии, физики, биологии, геохимии).

В качестве примера научного автоматического комплекса, состоящего примерно из двадцати приборов для исследований на Луне и развертываемого космонавтами, можно привести проект, разработанный американской фирмой Вестингауз Электрик в 1966 году.

Станция состоит из центрального блока и трех периферийных, отстоящих от центрального блока на лунной поверхности на расстоянии до 8 километров; общая масса комплекса составляет около 620 килограммов. Результаты измерений поступают на центральный блок (с энергопотреблением 50 ватт), откуда осуществляется передача их на Землю.

Аппаратура комплекса, рассчитанная на работу в течение двух лет без обслуживания людьми, предназначена для решения таких задач, как наблюдения планет и звезд, исследования космического излучения, сейсмические исследования, наблюдения за физическими процессами, воздействующими на лунную поверхность и лунную «атмосферу».

Первым (существенно сокращенным) вариантом такого комплекса явился набор из трех научных приборов, установленный на Луне экипажем лунного отсека корабля «Аполлон-11». Более полный набор имел «Луноход-1».

Следует также учитывать, что даже после появления широко разветвленных обитаемых лунных баз целый ряд задач, связанных с изучением труднодоступных участков Луны с применением лунных спутников, не сможет быть решен без привлечения автоматических станций, в том числе и самоходных (исследовательских и транспортных).

Однако, сколь бы широкий круг вопросов ни решался автоматическими устройствами, лишь человек способен организовать сложную работу по всему комплексу проблем освоения Луны. Персонал лунных баз призван наладить обширные научные исследования на Луне, обработку научных измерений (на их заключительных этапах), создание и функционирование всех установок и сооружений, геологическую (вернее селенологическую) разведку, обмен информацией с Землей, широкую утилизацию лунных ресурсов и т. д.

Кроме стационарных обитаемых лунных баз, предполагается также использование подвижных лабораторий с экипажем из двух-трех человек.

Какие же вопросы можно решать на лунных базах, в чем их принципиальные преимущества перед наземными? Об этом кратко рассказано ниже.

АСТРОНОМИЧЕСКИЕ И ФИЗИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выход в космос открывает качественно новые горизонты для физиков и астрономов. Это объясняется, в первую очередь, отсутствием основной помехи наблюдениям — нашей атмосферы, а также возможностью измерений и экспериментирования непосредственно в мировом пространстве и на небесных телах.

Атмосфера «мешает» исследователям двояко: во-первых, она пропускает лишь небольшую часть излучений, идущих на Землю извне; во-вторых, изображения, получаемые оптическими приборами, существенно ухудшаются из-за наличия в воздухе паров воды, твердых частиц, из-за турбулентности атмосферы, воздушных течений, термических искажений, свечения ночного неба и т. д. Все это заставляет астрономов и астрофизиков забираться со своими инструментами в горы или в места, окруженные лесом, где чище воздух.

Стремление получить более подробные изображения изучаемого внеземного объекта влечет за собой увеличение размеров телескопов (для повышения разрешающей способности), однако у больших объективов под действием собственного веса происходит искривление оптической оси, что нарушает их оптическое совершенство. Дальнейшее сколько-нибудь серьезное повышение качества изображения наземными приборами становится практически маловероятным, а увеличение диаметра современных объективов (свыше 6 метров) едва ли рационально.

Основным методом изучения внеземных объектов в современной наблюдательной науке является анализ излучений, приходящих от этих объектов, а также их радиолокация.

Атмосфера Земли почти полностью поглощает рентгеновскую и ультрафиолетовую части электромагнитного излучения (что защищает все живое от его губительного воздействия), длинноволновое излучение и часть инфракрасного излучения. Остаются так называемые «окна»



Рис. 7. «Окна» прозрачности земной атмосферы (незаштрихованные участки)

прозрачности атмосферы — в части радиодиапазона (длины волн от нескольких миллиметров до десятков метров) в инфракрасной области спектра и в видимой части спектра (улавливаемой нашим глазом на участке длин волн от 0,4 до 0,8 микрона).

Для наглядности картины поглощения земной атмосферой приходящих излучений приведен рис. 7; на нем показаны (незаштрихованные участки) «окна» прозрачности атмосферы.

Космическое и корпускулярное солнечное излучения в значительной мере искажаются магнитным полем Земли и рассеиваются атмосферой, в которой образуются вторичные излучения.

Гамма-излучение приходит к Земле как непосредственно из космоса, так и из нашей атмосферы (где оно образуется в результате взаимодействия космического излучения и частиц земной атмосферы), их разделение — в рамках лишь наземных измерений — невозможно.

Рентгеновское и ультрафиолетовое излучения оказывают существенное влияние на процессы в земной атмосфере и на Земле, но с земной поверхности их изучать невозможно — поэтому становится понятным желание ученых поднять свои инструменты как можно выше над поверхностью Земли; в последние годы они это осуществили с помощью высотных зондов, ракет и спутников — появилась внеатмосферная астрономия. Одновременно появилась новая возможность изучения строения Солнца и его деятельности, а также удаленных космических образований в коротковолновой части спектра, поглощаемой земной атмосферой.

Именно в ультрафиолетовой части спектра находятся самые яркие линии почти всех элементов, максимум излучения горячих звезд с температурой поверхности свы-

ше 20 тысяч градусов и, по-видимому, межгалактического газа.

Некоторые спутники Земли (в том числе «Космос-215», оснащенный восьмью телескопами, спутники серии «Интеркосмос») представляют собой астрономические обсерватории, которые исследуют окружающий мир аппаратурой, поднятой в высшие слои атмосферы, и получают информацию, недоступную наземным приборам.

Однако и спутниковая аппаратура не может дать высококачественного спектра или изображения, так как сказывается влияние атмосферы Земли и ее радиационных поясов, невозможна точная стабилизация инструмента относительно наблюдаемого объекта, который к тому же заслоняется Землей на части орбиты. Кроме того, меняется температура спутника (и его аппаратуры), он требует расходования вещества для его стабилизации, особенно нерационального при длительном функционировании приборов.

Перенесение оптических и регистрационных приборов на Луну позволит преодолеть последние серьезные препятствия и получить научную базу, удовлетворяющую самым строгим требованиям и условиям исследования внеземных объектов.

Следует отметить, что условия лунной ночи на обратной стороне Луны особенно благоприятны для изучения изображений и спектров (кроме Земли и Солнца), а также для постановки физических экспериментов, так как там полностью отсутствует не только прямое, но и рассеянное электромагнитное и корпускулярное излучения (вследствие того, что Луна не имеет атмосферы и заметного магнитного поля).

Кроме того, на Луне повышается качество наблюдений и упрощается их техническая сторона благодаря медленному вращению нашего спутника вокруг своей оси; соответственно движение светил по небосводу имеет скорость, почти в 30 раз меньшую, чем для Земли (сама же Земля практически совсем не уходит из поля зрения оптических приборов, расположенных на видимой стороне Луны).

Телескоп с диаметром зеркала всего лишь в один метр, установленный на Луне, даст такую высокую четкость изображений, которая недоступна лучшим наземным инструментам: ведь там нет принципиальных затруд-

нений в использовании телескопов диаметром до 30 метров, так как на Луне сила тяжести в 6 раз меньше земной, отсутствуют ветровые нагрузки, нет пыли и газовой оболочки (в поле зрения телескопа).

Однако оптические наблюдения на Луне потребуют и преодоления некоторых специфических трудностей, связанных с существенным изменением температуры в течение лунного дня, ускоренным износом внешних поверхностей приборов из-за воздействия метеоритных и ядерных частиц и т. д.

Изучение Земли и планет с лунной поверхности принесет новую обильную информацию.

Избавившись от помех земной атмосферы, можно будет, наконец, вполне надежно определить состав атмосфер планет; выяснить, что представляет собой радиоизлучение Юпитера; убедиться (или разувериться) в наличии твердой поверхности у Сатурна и Юпитера. Будут подробно исследованы поверхности планет, уточнена их температура, проведено их картографирование, изучены облачные образования в атмосферах. Появится возможность детального обследования астероидов и спутников планет, уточнения их формы, размеров, масс.

Очень интересен вопрос о динамических процессах на Юпитере — не он ли является отцом комет? Можно надеяться получить много новых сведений о Меркурии, — ведь его наблюдения наземными средствами особенно затруднены из-за близости к Солнцу на небосводе. С лунной поверхности удастся определить наличие пылевых облаков у планет, в том числе и у Земли; будет получена картина распределения мелких тел в мировом пространстве. Наконец, лунные телескопы дадут возможность обнаружить крупные планеты у ряда ближайших звезд.

Весь этот богатейший материал — вместе с дополнительными сведениями о Луне и новыми измерениями и снимками, полученными с помощью автоматических межпланетных станций — позволит лучше понять процесс образования Солнечной системы и дальнейшую эволюцию небесных тел, ее составляющих.

В первую очередь нас, конечно, интересует будущее Земли: возможны ли в ней бурные процессы, приводящие к важным для человека изменениям? Как быстро

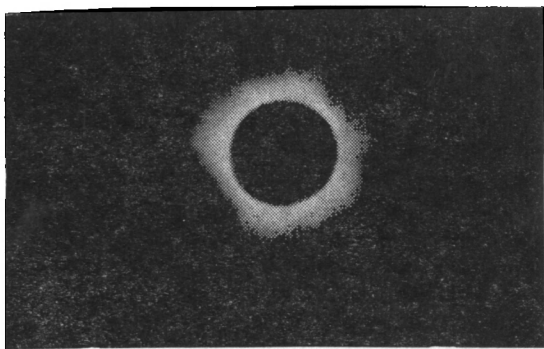


Рис. 8. Вид короны Солнца во время солнечного затмения 19 июня 1936 года (телескопический снимок одного из авторов настоящей книги)

может измениться относительно спокойная и размеренная жизнь Солнца?

Исследование Солнца играет особую роль в астрофизике — ибо это единственная близко расположенная к нам звезда, — его существование решающим образом определяет почти все процессы на Земле и даже саму возможность наличия жизни в его окрестностях.

С выходом за пределы земной атмосферы (точнее — используя преимущества лунных обсерваторий) можно будет успешно изучать на всех длинах волн тонкую структуру солнечных оболочек. Подбирая соответствующие излучения, для которых «прозрачны» внешние слои Солнца, можно будет все глубже проникать в его недра, определяя их состав и степень участия в бурных солнечных явлениях.

Особенно благоприятным будет исследование высших слоев солнечной атмосферы: хромосферы (расположенной над яркой видимой поверхностью — фотосферой) и солнечной короны (наблюдаемой непосредственно лишь во время полных солнечных затмений, когда яркость неба над земной поверхностью уменьшается в миллионы раз). Вследствие отсутствия на Луне эффекта рассеяния света газовой оболочкой — солнечная корона будет всегда отлично видна во всей своей красе (рис. 8).

Именно в солнечной короне формируются те потоки электронов, ядер атомов и электромагнитных излучений,

воздействие которых на земную атмосферу определяет основные геофизические эффекты (магнитные бури, ионизацию и т. п.).

Современное понимание взаимосвязи и обусловленности явлений, происходящих в солнечной короне, нуждается еще в очень серьезном совершенствовании, что связано с отсутствием достаточного экспериментального материала.

Солнечные вспышки, возникающие в хромосфере, характеризующие один из самых бурных процессов на Солнце и обладающие сильным воздействием на экипажи космических кораблей и земную биосферу, представляют собой важнейшее явление, подлежащее глубокому изучению.

Появление солнечных вспышек отражает, возможно, сущность глубинной деятельности Солнца и, по-видимому, вообще всех звезд. Так, академик В. А. Амбарцумян предполагает, что солнечные вспышки есть результат перехода сверхплотного «дозвездного» вещества (поступающего к поверхности из центральных частей) в обычное нагретое состояние газа; на отдельных звездах эти вспышки приобретают характер взрывов, приводящих к космическим катастрофам. Некоторые астрономы и физики считают, что к солнечным вспышкам может привести сжатие движущегося ионизированного газа в магнитном поле или быстрая смена структуры магнитного поля над активной областью.

Изучение звезд и галактических образований посредством рентгеновского и гамма-излучений, а также в ультрафиолетовом и радиодиапазонах существенно приблизит нас к решению фундаментальных проблем, связанных с природой тяготения, антиматерии, с новыми формами энергии — не известными пока нам, — с распространением и эволюцией вещества в космических масштабах и т. д.

С помощью заатмосферных измерений обнаружено уже более 50 источников рентгеновского излучения и радиоволн (пульсаров); эти источники являются нейтронными звездами, предсказанными теоретически, их плотность достигает величины 10^{18} килограммов на кубический метр.

Если удастся решить задачу получения изображения в рентгеновских лучах (еще не преодолены некоторые

технические трудности их фокусировки), то выигрыш в разрешающей способности по сравнению с оптическими приборами будет примерно в 1000 раз — пропорционально отношению длин волн.

Применение гамма-астрономии дает новое мощное орудие в руки ученых, так как в отличие от заряженных частиц, входящих в состав космических лучей (атомных ядер, электронов и альфа-частиц), гамма-лучи не отклоняются магнитными полями в межпланетном пространстве.

Гамма-кванты, т. е. фотоны с энергией более 50 миллионов электронвольт, являются электрически нейтральными; поэтому они распространяются по прямым линиям и указывают направление, в котором они образовались.

Однако пока что не установлено, где именно образуется гамма-излучение: в точечном источнике или в обширной области пространства. Указанный вопрос требует существенного повышения точности регистрации направления приходящих гамма-квантов; эту задачу проще всего, очевидно, решить с помощью приборов, расположенных на лунной поверхности.

Расширение возможностей регистрации первичного гамма-излучения весьма важно для проникновения в сущность строения материи, ибо гамма-кванты образуются, в частности, в результате аннигиляции вещества и антивещества.

Наблюдения в ультрафиолетовой части спектра, ставшие доступными с выходом за пределы Земли, позволяют распространить измерения на такие атомы (в различных состояниях ионизации), как атомы азота, кислорода, углерода, железа, магния и молекулярный водород. Это даст возможность определить химический состав, плотность, степень ионизации и распределения скоростей межзвездного газа.

Исследование космических лучей, состоящих в основном из протонов и ядер ряда элементов, является одной из главных задач астрофизики.

Некоторые космические лучи разгоняются в природных условиях до энергий 10^{11} миллиардов электрон-вольт, в то же время современные уникальные ускорители протонов разгоняют частицы до энергий, меньших 10^2 миллиардов электронвольт.

Создание сложнейших ускорителей «элементарных» частиц в земных условиях — труднейшая научно-техническая задача; легко представить, как упростятся указанные исследования с выходом в космос, на базы в вакууме, на стационарные лунные установки.

Естественно, что исследование частиц космических лучей с энергией, которую мы не в состоянии искусственно сообщить микрочастицам, может привести к открытию новых фундаментальных законов взаимодействия элементарных частиц.

Как известно, оборудование для регистрации частиц высоких энергий и их воздействия на вещество требует громоздких сооружений, так как необходима значительная масса для поглощения потока вторичных частиц, порожденных космическими лучами.

В связи с этим была запущена серия тяжелых научных станций типа «Протон», перед которыми, в частности, была поставлена задача обнаружения гипотетических элементарных частиц «кварков» (имеющих заряд втрое меньше, чем у электрона); поиски этих величин на ускорителях и с помощью космических аппаратов пока остаются безрезультатными.

Создание научных баз с массивной аппаратурой на Луне для изучения взаимодействия частиц высоких энергий приведет, безусловно, к существенно бóльшим успехам, чем спутниковые исследования. На этих же базах может быть выполнен изотопный анализ химических элементов лунных пород, который раскроет историю космических лучей за последние миллионы лет: ведь лунная поверхность в отличие от земной (окруженной мощной атмосферой) доступна для непосредственного воздействия первичного космического излучения, оставляющего свои «следы» в грунте.

Изучение космических лучей более успешно начало продвигаться в последние 10—15 лет, после того как было установлено, что основная часть космического радиоизлучения генерируется космическими лучами, а следовательно, для их исследования можно применять и радиотелескопы.

Вопрос о природе и месте возникновения космических лучей еще не решен современной наукой; наиболее вероятно, что космические лучи образуются в основном в пределах нашей Галактики и не покидают ее.

Как установлено измерениями, космические лучи подходят к Земле равномерно, а также образуются при солнечных вспышках; однако их мощность не может быть объяснена генерированием лишь в звездах Галактики. В связи с этим некоторые астрономы и физики придерживаются мнения, что источниками космических лучей являются сверхновые и новые звезды (появляющиеся через несколько десятилетий).

Сверхновые звезды — это, очевидно, одна из форм не звездной материи, ибо они обладают колоссальной массой, энергией и гравитационным полем. Если в них происходит выделение энергии, отличающейся от обычной звездной (термоядерного процесса), то исключительно важно понять это явление и попытаться его использовать для энергетических нужд.

Эволюция видимой части Вселенной, отражающая сложное взаимодействие космических процессов, представляет собой одну из важнейших проблем современной науки. Как известно, одним из проявлений этой эволюции является расширение Вселенной, выражающееся в разбегании галактик, что фиксируется при посредстве так называемого красного смещения (чем больше скорость удаления галактики относительно точки наблюдения — тем больше смещены к красной части спектра линии в спектрах галактик).

Наблюдения показывают, что скорости удаления галактических образований примерно пропорциональны их расстоянию от нас. Но как происходит расширение мира — равномерно, ускоренно или замедленно? На эти вопросы поможет ответить измерение лучевых скоростей галактик, удаленных от нас на расстояния порядка десяти миллиардов световых лет. К сожалению, слабого света далеких галактик (расположенных на удалении в несколько миллиардов световых лет) не хватает для фотографирования спектра при экспозиции даже в десятки часов — при этом начинают сказываться помехи нашей атмосферы.

Наблюдения с лунных астрономических обсерваторий внесут важный вклад в работу по определению динамических характеристик видимого мира; а это, в свою очередь, существенно поможет теоретикам в решении проблемы происхождения, строения и эволюции Вселенной.

Для решения указанной проблемы чрезвычайно важно также определить плотность межгалактического газа

(в котором, вероятно, сосредоточена основная масса вещества Вселенной), а эта задача может быть решена исследованием ультрафиолетовой и рентгеновской частей спектра, которые регистрируются лишь заатмосферными инструментами.

Согласно выводам из космологических теорий при плотности межгалактического газа свыше 10 атомов на кубический метр Вселенная — через значительный промежуток времени — начнет сжиматься, при меньшей плотности — Вселенной суждено продолжать расширение неограниченно.

Овладение энергией термоядерного процесса является одной из самых актуальных и грандиозных научно-технических проблем.

Экспериментирование в этой области на Земле крайне затруднено, так как требуется создать плазму с температурой в миллионы градусов, стабилизированную в ограниченном объеме. По мере увеличения наших энергетических возможностей на Луне эксперименты с высокотемпературной плазмой в условиях вакуума могут быть проведены более успешно, чем на Земле.

Кроме того, необычайно благоприятные условия астрофизических исследований Солнца и звезд с поверхности Луны позволят глубоко проникнуть в тайны процессов, происходящих в недрах звезд и приводящих к превращению водорода в гелий с выделением огромной энергии.

Все это позволит нам научиться управлять термоядерной реакцией и поставить энергию термоядерного синтеза на службу человеку в ближайшие десятилетия, т. е. задолго до того, как будут исчерпаны запасы органического топлива и сырья для атомного распада.

Физика твердого тела может получить в лунных условиях своеобразное и плодотворное развитие.

Только в последние годы мы начинаем понимать, что природные материалы могут приобрести совершенно новые свойства после воздействия космических факторов; к последним относятся вакуум, радиационное облучение, сверхнизкие температуры и т. д. Физические лаборатории на Луне дадут возможность глубоко понять многие природные явления, что позволит использовать их в целях получения материалов с заданными свойствами и повы-

шения эффективности технологических процессов для нужд промышленности, энергетики и науки.

Мы здесь не рассмотрели ряд физических и астрономических проблем, которые, может быть, и будут решаться на Луне, но пока еще не ясно, какие это даст принципиальные преимущества в сравнении с наземными исследованиями (например, применение нейтринной астрономии и т. д.).

ГЕОЛОГИ И ГЕОХИМИКИ ПОЛУЧАЮТ ЦЕННУЮ БАЗУ

В ближайшие десятилетия геологические экспедиции в поисках полезных ископаемых и для исследования недр планеты будут направляться не только в горы или на дно океана, в Казахстан или Африку, но и в районы лунного кратера Альфонс и Океана Бурь или на обратную сторону Луны.

Непосредственное изучение Луны и планет открывает возможности для успешного развития сравнительной планетологии, для понимания процессов формирования, особенностей состава и строения, эволюции недр и поверхности планетных тел.

Знание рельефа поверхности Луны, характера и состава ее горных пород и недр позволит — как это считает академик А. П. Виноградов — решить вопрос о происхождении Луны, что будет содействовать пониманию закономерностей развития тел Солнечной системы, в том числе и Земли.

Главными факторами, активно воздействующими на «жизнь» наружных слоев Земли, являются вода, атмосфера, органический мир и деятельность людей. К чему приводит влияние других факторов на небесных телах, не имеющих указанных причин морфологического воздействия? Какова степень участия в развитии небесного тела, например жизнедеятельности растений и животных? Типичен ли состав и строение Земли для крупных тел (кроме, конечно, планет-гигантов) Солнечной системы? Каково, наконец, геологическое прошлое и будущее нашей планеты?

Все эти (как и некоторые другие) вопросы, вероятно, могут быть решены с помощью исследований, проводимых на Луне.

Как Земля, так и Луна — связанные общностью материала, их образующего — прошли, по-видимому, весьма

сходный путь формирования. Этот путь определяется нагревом недр, начинающимся вскоре после их образования и зависящим от наличия долгоживущих радиоактивных элементов — урана, тория и калия-40. Под воздействием радиоактивного разогрева происходит основной геохимический процесс в планетных телах — разделение по составу в зависимости от расстояния до центра тела.

В отличие от планет земной группы — Земли, Марса, Венеры, Меркурия — Луна имеет существенно меньшую массу и среднюю плотность. Эти обстоятельства вносят определенные различия в длительность и результаты расплава, а также дифференциацию вещества, однако основные этапы и закономерности эволюции планетных тел, вероятно, аналогичны.

В связи с относительно небольшим давлением в недрах Луны (до 50 тысяч атмосфер в центре по сравнению с тремя с половиной миллионами атмосфер для Земли) температура плавления лунных пород с углублением повышается мало. Поэтому основная внутренняя часть Луны должна была расплавиться, и выплавление к поверхности легких фракций (алюминия, окиси кремния, радиоактивных элементов) происходило сравнительно быстро, после чего начался период охлаждения.

По мнению большинства ученых, процесс дифференциации вещества на Луне окончился один-два миллиарда лет тому назад; на Земле этот процесс еще не завершился.

Следовательно, в этом смысле Луна может являться образом геологического будущего Земли; последующее развитие науки покажет, какие практические следствия мы сможем извлечь из этого.

Кроме того, нужно еще учитывать, что процессы эрозии на Земле, образование осадочных пород и воздействие органического мира практически уничтожили следы начальной структуры нашей планеты; наличие же на Луне древних горных пород и отложений поможет прочитать как бы первые страницы истории Земли, понять пути ее эволюции (если этапы их формирования аналогичны).

Основным методом изучения недр Луны (кроме бурения) являются сейсмические исследования. Они позволяют определить наличие железного ядра, разнородных оболочек Луны, а также выяснить такие характеристики лун-

ных пород, как модули сдвига и сжатия, изменение с глубиной плотности, давления, температуры и ускорения силы тяжести.

Серия сейсмографов, установленных в различных участках лунной поверхности, регистрирует сейсмические колебания от всех естественных источников сейсмической активности — метеоритов, участков вулканической деятельности, — а также процессов, вызванных термическими напряжениями. При необходимости для получения искусственных источников колебаний могут быть применены локальные взрывы или удары от падения на Луну отработавших частей космических аппаратов.

Вследствие относительно небольших размеров Луны удастся измерить более слабые сотрясения; кроме того, разрешающая способность сейсмических приборов на Луне может быть повышена в десятки раз благодаря применению большего коэффициента усиления системы, которое на Земле ограничено различными шумами (от атмосферы, водной оболочки, промышленных предприятий).

Сейсмические исследования на Луне стали предметом внимания ученых, ведущих подготовку к проведению, обработке и анализу соответствующих измерений. Уже поступает информация от сейсмометров, установленных в трех местах на Луне экипажами кораблей «Аполлон». Эти сейсмометры образуют систему, которая позволяет определять глубину расположения источника сейсмических колебаний.

Практическим выходом геологических и геохимических изысканий на Луне явится как использование местных источников сырья, так и повышение эффективности поисков полезных ископаемых на Земле; последний вопрос приобретает в настоящее время известную остроту.

Для обеспечения достаточного количества перспективных сырьевых баз ведется подготовка к изучению мантии Земли — оболочки, расположенной под земной корой на глубине более 10—30 километров от поверхности. Есть основания предполагать, что лунное вещество в основном соответствует земной мантии; таким образом, исследование поверхностных лунных пород послужит хорошей основой для познания строения и состава мантии нашей планеты.

Весьма большое значение может иметь обнаружение нефти на Луне (если оно, к счастью, состоится), что не только позволит иметь на лунных базах топливо и ценное химическое сырье, но и даст уверенность в том, что на земле нефть может создаваться из неорганических исходных материалов и залегать на большей глубине, чем известные ныне органические останки (как это предполагал Д. И. Менделеев).

ПРОБЛЕМЫ БИОЛОГИИ

Решение вопроса о наличии жизни вне пределов Земли имеет громадное научное и мировоззренческое значение.

К сожалению, до сих пор нет прямых доказательств существования каких-то форм жизни где-либо, кроме нашей планеты.

Луна является первым небесным телом, которое посетил человек; как известно, пока там не обнаружено лунных микроорганизмов. Но может быть, они имеются в каких-то других районах Луны или на некоторой глубине? Этот вопрос в настоящее время остается без ответа.

Однако, если на Луне и не будут обнаружены какие-то формы жизни, то для решения проблемы происхождения живого очень важно исследование органического вещества (прототипа простейших организмов) и влияния внешней среды на эволюцию этого вещества.

В этом смысле научные изыскания могут идти в двух направлениях: поиски органического вещества или организмов, образовавшихся на Луне, и обнаружение этих же веществ или организмов, принесенных метеоритными телами, захваченными Луной.

Наш вечный спутник является гораздо более «деликатной» гравитационной ловушкой мелких небесных тел (имеющих небольшие скорости движения) в сравнении с Землей; это объясняется относительно небольшой силой притяжения Луны, что приводит к меньшему разгону приближающихся частиц. В связи с этим некоторые метеоритные тела, а следовательно, и микроорганизмы (если они там находятся) приобретают не очень большие относительные скорости встречи с лунной поверхностью и мало разрушаются.

Исследование живого в космосе позволит пролить свет на одну из основных проблем биологии — проблему происхождения жизни; появится возможность установить: может ли жизнь сохраняться на мелких телах в космическом пространстве и привноситься на планетные тела или это исключено и жизнь зарождается обязательно на планете при подходящих условиях?

Есть целая серия биологических проблем, связанных с взаимодействием организма с окружающей средой, которые не могут быть изучены в наземных условиях и могут быть успешно решены на Луне. (Само понятие внешней среды в настоящее время включает в себя уже весь окружающий мир, который нельзя ограничивать рамками даже Солнечной системы.)

К таким проблемам относятся: приспособляемость организма и его наследственность в зависимости от различной интенсивности магнитного поля, радиационного воздействия, активности солнечного излучения, пониженной силы тяжести, изменения светового и теплового режимов, а также неизвестных пока нам факторов космического характера; все эти виды воздействия могут быть изучены в лунных оранжереях и специальных помещениях для животных.

Решение хотя бы части этих вопросов не только позволит понять основы биологических условий, необходимых для жизнедеятельности человека во внеземной обстановке, но и приведет к важным практическим шагам, направленным на положительные изменения в организмах, находящихся на Земле. Кроме того, это позволит повысить эффективность животноводства, сельского хозяйства, производственных процессов, связанных с микроорганизмами и другими биологическими участниками.

Как и всякая другая наука, биология в результате научных исследований, проводимых на Луне, может получить неожиданные научные сюрпризы, которые часто оказываются гораздо интереснее, чем запланированные направления работ.

СЛУЖБЫ СОЛНЦА И ЗЕМЛИ НА ЛУННЫХ БАЗАХ

Рассмотрим некоторые прикладные вопросы, связанные с возможностью наблюдений солнечных и земных

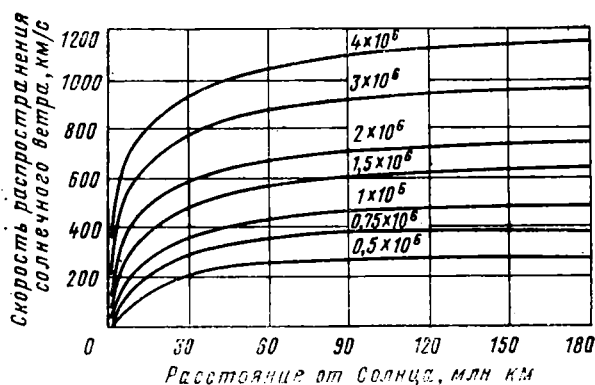


Рис. 9. Скорость распространения солнечного ветра в пространстве в зависимости от температуры короны (дана в градусах шкалы Кельвина над каждой кривой) и расстояния от Солнца

явлений с поверхности Луны и с ее спутников-лабораторий.

Общеизвестна роль Солнца для жизни на нашей планете: Солнце является источником заряженных частиц и колоссального количества энергии во всем диапазоне электромагнитного излучения (включая свет и тепло); кроме того, оно своим могучим притяжением удерживает небесные тела своей системы на определенных орбитах.

По современным данным, на протяжении истекшего миллиарда лет интенсивность солнечного лучистого потока заметно не изменялась. Однако известно некоторое непостоянство его излучения: одиннадцатилетний период изменения его активности в небольших пределах, непериодические вспышки различного масштаба и вариации корпускулярных потоков солнечной короны. Эти потоки представляют собой ионизированный газ (плазму), состоящий в основном из протонов (наблюдается до 8 процентов альфа-частиц).

Область распространения солнечной плазмы простирается до внешних границ нашей планетной системы, образуя так называемый солнечный ветер, распространяющийся с большой скоростью (рис. 9).

Действие солнечного излучения сказывается в какой-то мере как на физико-химических процессах в атмос-

фере, так и на физических и биологических явлениях на поверхности Земли. Не все стороны этого воздействия — хотя бы в малой степени — известны в настоящее время, только сейчас ими начинают заниматься более или менее серьезно. Относительно больше изучено влияние тепловой и световой части солнечного излучения; однако понимание комплексного воздействия различных факторов в нашей атмосфере и возникающих при этом сложных процессов — еще далеко от желаемого.

Выявлена вполне определенная зависимость некоторых заболеваний и эпидемий от одиннадцатилетнего периода солнечной активности и непериодических ее изменений. Отмечен усиленный рост деревьев при максимальной солнечной активности (годовые кольца примерно вдвое шире через каждые 11 лет). Обнаружено некоторое влияние на организм человека магнитных полей и ряда других физических параметров. Даже землетрясения и движение полюсов Земли связаны с солнечной активностью.

В качестве одного из примеров солнечно-земных связей на рис. 10 приведен совмещенный график солнечной активности и частоты появления полярных сияний.

Предстоит выяснить степень участия солнечного излучения во всех упомянутых процессах и понять, результатом чего они являются: непосредственного воздействия электромагнитного и корпускулярного излучений или вторичных явлений — например, ионизации воздуха, изменения погоды, магнитных полей и т. д.

Чрезвычайно интересные данные по солнечному радиоизлучению были получены с помощью искусственного спутника Луны — «Луна-12». Дважды удалось замерить радиоизлучение источника, возникшего на Солнце и удалившегося от него в одном случае на 32 радиуса Солнца и в другом — на расстояние около 200 солнечных радиусов, т. е. почти к орбите Земли. При этом использовался эффект отличия во времени захода спутника в оптическую тень (нет прямой видимости Солнца) и радиозахода — когда прекращалась регистрация радиоизлучения.

Точная регистрация интенсивности компонент солнечного излучения, подходящего к радиационным поясам Земли и высшим слоям ее атмосферы, может быть произведена лишь с лунных обсерваторий службы деятель-

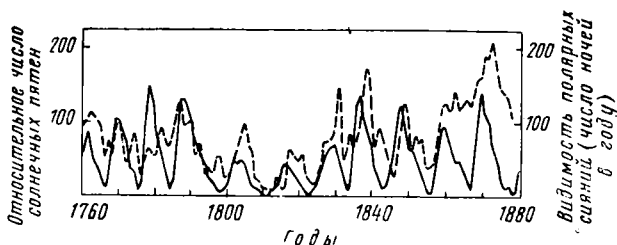


Рис. 10. Связь между солнечной активностью и частотой полярных сияний (пунктир) на Земле

ности Солнца и с искусственных спутников нашей планеты, что наряду с материалами наземных наблюдений поможет решить проблему взаимосвязи излучений нашего дневного светила и физико-биологических явлений на Земле. В частности, тепловой поток, идущий от Солнца к Земле (так называемая «солнечная постоянная»), может быть измерен на Луне с точностью $\pm 0,2$ процента аппаратурой, уже имеющейся в настоящее время.

Особый интерес представляют солнечные вспышки, которые пока что мы, к сожалению, далеко не все фиксируем и недостаточно отчетливо связываем с определенными процессами на Солнце; систематические исследования с поверхности Луны дадут соответствующие уточненные данные и в значительной мере восполнят этот существенный пробел.

Солнечные вспышки возникают в очень ограниченном участке хромосферы Солнца, сопровождаются быстрыми изменениями магнитного поля и локальным повышением температуры до нескольких миллионов градусов; длительность вспышек составляет обычно несколько минут, но в отдельных случаях может достигать до нескольких часов. При этом интенсивность опасной для человека радиации может возрасти (вне атмосферы) в сотни раз. Энергия, выделяемая при солнечных вспышках в форме излучений и корпускулярных потоков, равна эквивалентной энергии нескольких тысяч водородных бомб.

В связи с тем, что многие крупные солнечные вспышки (происходящие несколько раз в год) представляют опасность для здоровья и жизни космонавтов при полете в космическом пространстве без специальной весьма сложной радиационной защиты, необходимо уметь прог-

нозировать появление вспышек на достаточно длительный период (в пределах от нескольких дней до нескольких недель).

К сожалению, в настоящее время известны лишь некоторые признаки, говорящие о возможности скорого появления опасных солнечных вспышек,— повышенный уровень радиоизлучения Солнца, большие группы солнечных пятен с многополюсным магнитным полем и большие градиенты магнитного поля в солнечных пятнах. Уверенное предсказание интенсивности и времени появления солнечных вспышек — дело науки ближайшего будущего.

Нет сомнения в том, что непрерывная служба Солнца, организованная астрономами на Земле, будет в будущем подкреплена эффективным дополнением — филиалом на Луне.

Громадная роль, которую играет Солнце в нашей жизни, вполне оправдывает наши дополнительные усилия, направленные на исследование Солнца и солнечно-земных связей.

Служба Земли — это термин, используемый нами по аналогии с термином «служба Солнца» и включающий в себя понятие систематических наблюдений за нашей планетой «со стороны». Началом таких наблюдений являются измерения различных параметров земной поверхности и атмосферы, а также фотографирование, проводимое искусственными спутниками Земли.

Однако преимущество лунной аппаратуры перед спутниковой заключается в том, что она «видит» сразу половину поверхности Земли, ее атмосферы, облачного покрова и радиационных поясов и может в течение полусуток непрерывно наблюдать один и тот же участок нашей планеты.

Яркий образец «моментальной фотографии» распределения облачности над половиной земной поверхности представлен, например, снимком Земли, выполненным аппаратом «Зонд-5» на дальности в одну четвертую расстояния до Луны (рис. 11). Но с лунных обсерваторий можно будет фотографировать нашу планету и с существенно большими подробностями, применяя более совершенные инструменты.

Основными в службе Земли явятся, очевидно, непрерывные геофизические и метеорологические наблюде-



Рис. 11. Снимок Земли, выполненный с помощью аппарата «Зонд-5» с расстояния 90 тысяч километров

ния, их обработка и оперативная передача полученных материалов в соответствующие координирующие организации, а также углубленное изучение воздействия солнечной деятельности на погодообразующие, климатологические и физико - биологические факторы.

Формирование погоды определяется процессом выравнивания неравномерного распределения энергии (излучаемой Землей и поступающей от Солнца) в атмосфере, в котором участвуют самые различные определяющие параметры: пространственное распределение в ат-

мосфере (над всей земной поверхностью) температуры, давления, ветра, облачности, водяного пара, а также слагаемых лучистых потоков тепла; все эти параметры имеют сложную зависимость от приходящего солнечного излучения. Раскрытие механизма погодообразования позволит не только более достоверно прогнозировать погоду, но даже и управлять ею. Излишне говорить, насколько это важно для сельского хозяйства, транспорта, безопасности сооружений и т. д.

Применение лунных научных баз, безусловно, существенно ускорит решение указанных проблем, над которыми упорно работают метеорологи. В частности, на Луне можно обеспечить измерение некоторых параметров отдельных участков земной атмосферы с помощью зондирующих лазеров.

Комплексное использование служб Солнца и Земли даст возможность более успешно решить целый ряд прикладных задач (связанных, например, с магнитными бурями, радиопомехами и т. д.), которые определяются по мере выявления эффективности и экономичности внеземных методов наблюдения и исследований.

РЕШЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПРОБЛЕМ ПРАКТИЧЕСКОЙ КОСМОНАВТИКИ

Обитаемые лунные базы, имеющие близкие к космическим внешние условия, располагающие научным оборудованием и определенными производственно-энергетическими возможностями, необычайно удобны для решения конкретных вопросов, связанных с дальнейшим освоением космоса.

Отработка некоторых систем космических аппаратов, а также их элементов на Луне может оказаться более целесообразной (или даже единственно возможной), чем на Земле или ее спутниках. В первую очередь это относится к наружным поверхностям, свойства которых не должны заметно меняться (оптические устройства, агрегаты терморегулирования, научные датчики) при весьма длительном влиянии факторов космической среды.

Создание наземных установок, имитирующих одновременное комплексное воздействие на испытываемый агрегат или прибор ультрафиолетового, рентгеновского и корпускулярного облучений, столкновений с микрометеоритами, глубокого вакуума, переменных температур, вряд ли возможно с нужной точностью.

Аналогичные испытания (продолжительностью до нескольких лет) необходимы также для некоторых конструкционных материалов, которые в вакууме теряют свое вещество вследствие молекулярной диффузии, при этом еще может происходить изменение отдельных свойств материалов. В лунных условиях глубокий вакуум с одновременным облучением и вариацией температур в пределах нескольких сотен градусов имеется совершенно «бесплатно».

Испытание и доводка отдельных сложных систем космических аппаратов, особенно связанных с опасностью для окружающих (радиоактивным распадом и пр.), а также научного оборудования, предназначенного для работы в космической среде, во многих случаях будут производиться на лунных базах, в естественных вакуумных лабораториях.

Нерешенных медико-биологических задач в космонавтике еще очень много; ведь экспериментальная проверка теоретических выводов началась менее десятка лет тому назад, а в недалеком будущем предстоит многолетние полеты человека к дальним небесным телам и длительное его пребывание на внеземных базах.

Необходимо при этом решить комплекс вопросов, связанных с двумя проблемами: устранение неблагоприятных воздействий космических факторов и обеспечение нормальной жизнедеятельности людей в ограниченном объеме.

Первая проблема требует изучения влияния космических факторов и разработки мероприятий, обеспечивающих безопасность при радиационном облучении, отсутствии магнитного поля, невесомости, необычном световом режиме, резком уменьшении количества внешней информации с отдельными интенсивными ее нарастаниями.

Вторая проблема заставляет нас уже сейчас заниматься подготовкой к организации круговорота веществ (сходного с происходящим в масштабах Земли) в замкнутом объеме, так как при многолетнем полете безвозвратное расходование воды, пищи и кислорода для дыхания потребовало бы совершенно фантастических количеств их запаса; кроме того, необходимо решить вопросы психологических и микробиологических трудностей.

Еще К. Э. Циолковский указал выход из этого положения — нужно обеспечить совместное существование продуктивных растений и людей: растения используют углекислый газ и другие отбросы животного мира, а дают амв кислород и продукты питания.

В течение последних лет в этих целях ученые исследуют хлореллу — одноклеточную водоросль очень высокой продуктивности, дающую высококачественную белковую массу, которую можно использовать как продукт питания. Успешно проходит работа по созданию разновидностей устойчивой к радиации хлореллы в лаборатории, руково-

димой членом-корреспондентом АН СССР Н. П. Дубининым.

По всей вероятности, хорошо организованный круговорот веществ (для обеспечения жизнедеятельности человека) должен включать в себя, кроме растений, также птиц и животных для получения высококачественного набора пищевых продуктов — животных и растительных белков, жиров, углеводов, витаминов, солей и микроэлементов.

Уже имеются первые обнадеживающие результаты: в нашей стране был успешно проведен уникальный медикотехнический эксперимент годичной длительности, при котором три испытателя — врач Г. А. Мановцев, биолог А. Н. Божко и техник Б. Н. Улыбышев — использовали в ограниченном помещении максимально возможный круговорот воды и кислорода, а также «зеленый конвейер» оранжереи. При этом проверялось психологическое состояние испытуемых в этих сложных условиях, а также своеобразии микрофлоры в замкнутом объеме.

Естественно, что именно на Луне и околоземных обитаемых станциях человеку впервые понадобятся такие замкнутые системы; именно на них будут отработаны почти все стороны проблемы жизнеобеспечения.

Экономический эффект создания экологически замкнутого цикла существенно возрастает при его длительном функционировании — для отрезков времени, превышающих год.

При организации на Луне постоянных научных баз с персоналом, обслуживающим их, безусловно окажется целесообразным доставлять с Земли на эти базы необходимое оборудование для обеспечения работы экологически замкнутой системы, а не привозить запасы продуктов для питания членов экспедиции.

Следует отметить, что медико-биологические исследования в космосе (в том числе и на Луне) могут дать очень много для земной практики, в частности для усовершенствования медицинского оборудования, применения вычислительных машин в целях диагностики и т. д.

Использование Луны в качестве промежуточного космодрома открывает весьма заманчивые перспективы. Так, академик А. А. Благонравов считает, что «...космонавтика не только обслуживает другие науки, помогает им развиваться. Она сама представляет

собой науку, которая, как и всякая другая, не может стоять на месте, а нуждается в развитии. Поэтому запуски к Луне и на Луну означают для нее качественный скачок вперед [...]. Но для специфических задач космических исследований следует учитывать и возможность того, что Луна может стать вспомогательной производственно-энергетической базой для космических полетов...»

В ближайшие десятилетия изучение космоса и утилизация его ресурсов, несомненно, будут интенсивно возрастать. Это потребует организации многочисленных полетов к самым различным районам нашей Солнечной системы и большого внимания к снижению стоимости упомянутых экспедиций.

Особенно эффективным оказывается использование (при перелетах на межпланетные расстояния) топливных и энергетических ресурсов небесных тел сравнительно небольшой массы — Луны и астероидов. Так, например, дозаправка топливом на Луне космического аппарата, летящего по маршруту Земля — Марс — Земля, снижает его стартовый вес в несколько десятков раз.

Если на Луне не будет обнаружено каких-либо видов топлива (пригодных для непосредственного использования), то для его синтеза можно будет использовать воду (полученную из лунных пород), разлагая ее на водород и кислород, которые являются прекрасными компонентами ракетного топлива, обеспечивающего высокую удельную тягу.

Трудности, возникающие на Земле при хранении жидкого водорода и кислорода из-за низкой температуры их кипения, неизмеримо легче будут преодолеваются на Луне и в космическом пространстве, так как в вакууме очень резко возрастает эффективность применения теплоизоляции, что позволяет сохранять сжиженные газы практически без потерь в течение весьма длительных отрезков времени.

Благодаря техническому совершенствованию комплекса ракет-носителей и повышению их мощности происходит снижение стоимости доставки грузов на Луну.

Предполагаемое уменьшение общей стоимости отправки полезного груза с Земли на поверхность Луны представлено на рис. 12 (по данным американской печати); там же для сравнения приведена стоимость вывода груза на невысокую орбиту спутника Земли. Как видно

из графика, стоимость доставки грузов на Луну за 8 лет (с 1960 года) уменьшилась почти в 100 раз и продолжает энергично падать.

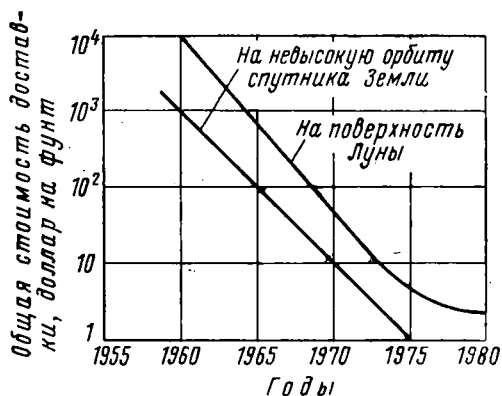
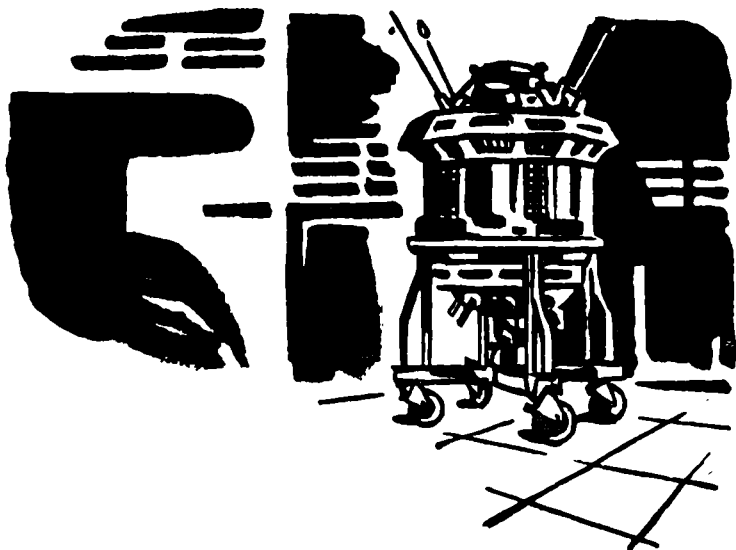


Рис. 12. Предполагаемое уменьшение стоимости доставки полезного груза с Земли на невысокую орбиту спутника и на поверхность Луны (1 фунт равен 453 граммам)





Достижение ближайших к Земле небесных тел долгое время оставалось только мечтой человечества. Лишь в наше время удалось преодолеть гравитационный барьер и создать летательные аппараты для длительных полетов в космическом пространстве. Ведущая роль в решении этой грандиозной проблемы принадлежит советской науке и технике.

В октябре 1957 года был произведен запуск первого в мире искусственного спутника Земли, ознаменовавший начало космической эры. Для вывода спутника на околоземную орбиту ему необходимо было сообщить первую космическую скорость, значение которой у

ПОЛЕТЫ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

**ЛЕТОПИСЬ
ЗАПУСКОВ**

поверхности Земли составляет 7,9 километра в секунду. Вслед за первым спутником в космос был запущен ряд советских тяжелых искусственных спутников Земли.

В результате дальнейшей творческой работы советских ученых, конструкторов, инженеров и рабочих была создана многоступенчатая ракета, последняя ступень которой развивала вторую космическую скорость — 11,2 километра в секунду. Достижение второй космической скорости открыло возможности межпланетных полетов по заранее заданным траекториям. Это позволило начать систематическое изучение и освоение межпланетного пространства.

Понятно, что первым объектом нашего внимания стало наиболее близкое к Земле небесное тело — наш «вечный» естественный спутник Луна.

Советская программа изучения Луны и окололунного пространства выполняется последовательно и планомерно. Она предусматривает:

- экспериментальные исследования в окололунном пространстве и, в частности, изучение гравитационного и магнитного полей Луны;

- изучение недоступной для наблюдений с Земли части лунной поверхности;

- исследования излучения Луны в тех участках спектра, которые недоступны для наблюдений с Земли из-за поглощения земной атмосферой;

- изучение деталей лунной поверхности с максимальной разрешающей способностью;

- непосредственные экспериментальные исследования на поверхности Луны.

Последовательность выполнения программы обусловлена возможностями ракетно-космических комплексов, которые вначале позволяли решать наиболее простые задачи космической баллистики с последующим их усложнением:

- пролет вблизи Луны;
- прицельное попадание в заданный район;
- облет Луны;
- жесткая посадка с частичным гашением скорости у поверхности;
- мягкая посадка с практическим гашением скорости до нуля у поверхности;

- выход на селеноцентрическую орбиту;
- облет Луны с возвращением на Землю;
- посадка на Луну и возвращение на Землю.

Таким образом, при создании автоматических станций для исследования Луны необходимо было, с одной стороны, обеспечить выполнение предусмотренных общей программой задач данного полета и, с другой стороны, учесть возможности существующих ракетно-космических комплексов.

С каждым последующим запуском перед автоматическими станциями ставились все более и более сложные научные и технические задачи с учетом, естественно, ранее накопленных сведений.

Полеты советских автоматических станций к Луне начались с 1959 года, и этот год вошел в историю мировой науки и техники, как год советских космических ракет. Советский Союз в соответствии с программой освоения космического пространства в тот год провел успешные запуски космических ракет к Луне и на Луну.

2 января 1959 года впервые к Луне отправилась космическая ракета с автоматической станцией «Луна-1» на борту.

4 января станция прошла вблизи Луны (на расстоянии 5000—6000 километров), а затем, продолжая полет, вышла на околосолнечную орбиту и стала первой искусственной планетой Солнечной системы. Стремительно удаляясь в пространство, она несла на себе выпел Страны Советов.

Первый межпланетный полет советской космической ракеты открыл славную страницу в изучении космического пространства и продемонстрировал всему человечеству гигантский научно-технический прогресс, достигнутый трудящимися первой в мире страны победившего социализма.

Мир был поражен и восхищен успехом советской науки и техники. Мечта становилась реальностью, и «Луна-1» получила второе, неофициальное, название — «Мечта».

Полет станции «Луна-1», помимо отработки старта ракеты-носителя, в строго заданное время (обусловленное точностью полета к Луне) позволил испытать системы управления ракетой, энергопитания аппаратуры и термо-

регулирования в контейнере, а также радиотехнические средства связи и контроля траектории полета.

В результате полета станции «Луна-1» удалось получить ряд важных научных данных. Уточнено расположение внешнего радиационного пояса, окружающего Землю, и получены новые сведения о составе заряженных частиц в этом поясе. Впервые проведены измерения магнитного поля на больших расстояниях от Земли. Измерена интенсивность первичных космических лучей, а также рентгеновского и гамма-излучений в межпланетном пространстве. Начато непосредственное исследование газовой компоненты межпланетного вещества. Осуществлена регистрация метеорных частиц в межпланетном пространстве.

Второй пуск космической ракеты со станцией «Луна-2» был осуществлен 12 сентября 1959 года.

Станция успешно завершила перелет и 14 сентября прилунилась вблизи восточной границы Моря Ясности на склоне кратера Автолик.

Впервые за всю историю человечества космический аппарат, сделанный руками человека, был переброшен с одного небесного тела на другое. На Луну были доставлены вымпелы с изображением Государственного герба СССР и надписью «СССР сентябрь 1959».

Научная аппаратура, установленная на станции «Луна-2», позволила провести ряд важных исследований на пути полета к Луне и в непосредственной близости от ее поверхности.

В результате измерений было установлено отсутствие заметного магнитного поля Луны и лунных радиационных поясов. Измерения вдоль траектории полета позволили уточнить структуру радиационных поясов Земли, оценить содержание углерода, гелия, азота, кислорода и более тяжелых ядер в составе космических лучей. Были получены также новые данные о микрометеоритах и газовой компоненте межпланетного вещества.

И еще одним достижением 1959 года явился запуск станции «Луна-3», которая успешно выполнила фотографирование обратной (невидимой с Земли) стороны Луны.

4 октября 1959 года третья космическая ракета вывела автоматическую межпланетную станцию «Луна-3» на траекторию, обеспечивающую облет вокруг Луны. 7 ок-

тября, когда станция находилась между Солнцем и Луной, а объективы фотоаппаратуры были нацелены на Луну, был начат сеанс фотографирования, который продолжался около 40 минут. Полученные кадры были автоматически обработаны на борту станции и при возвращении станции к Земле были переданы по телевизионному каналу на Землю. Траектория полета станции «Луна-3» напоминала полет космического бумеранга.

Станция «Луна-3» сфотографировала с удаления 60—70 тысяч километров почти половину поверхности лунного шара. Одна треть сфотографированной поверхности находится в краевой зоне видимой с Земли стороны Луны, две трети — на невидимой стороне.

Полученные снимки — результат первого успешного эксперимента по фотографированию и передаче из космоса изображений другого небесного тела. Этот фототелевизионный способ получения и передачи изображений оказался очень эффективным и впоследствии применялся на советских автоматических станциях «Зонд-3» и «Луна-12», а также на американских аппаратах «Лунар Орбiter».

Обнаружено около 400 объектов, наиболее заметным из которых были присвоены имена выдающихся ученых.

На основании изучения фотографий, переданных станцией «Луна-3», были составлены первый атлас и карта обратной стороны Луны и изготовлен глобус Луны.

Создание в СССР многоцелевых межпланетных станций «Зонд» позволило в 1965 году продолжить исследование обратной стороны Луны.

18 июля 1965 года была запущена автоматическая станция «Зонд-3» для продолжения испытаний бортовых аппаратуры и систем в условиях длительного полета и для проведения дальнейших научных исследований в космическом пространстве (станции «Зонд-1» и «Зонд-2» запускались в сторону планеты Марс).

Станция была оснащена новой фототелевизионной малогабаритной аппаратурой для передачи изображений с расстояний в сотни миллионов километров.

Станция «Зонд-3» сфотографировала примерно одну треть поверхности обратной стороны Луны, оставшуюся вне поля зрения станции «Луна-3», общей площадью около 6 миллионов квадратных километров, и таким образом был практически завершен первый глобальный обзор

лунной поверхности. На фотографиях получены также изображения части видимой стороны Луны. На ряде снимков рельеф поверхности хорошо подчеркивается тенями вследствие благоприятных условий освещенности.

Фотоизображения лунной поверхности являются уникальными со многих точек зрения и отличаются очень высоким качеством. На снимках почти нет дефектов, вызванных радиопомехами или процессом проявления. Они впервые показывают последнюю, неизвестную еще до того, область обратной стороны Луны и передают вид многих интересных образований на лунной поверхности. Более трех тысяч различных объектов достаточно отчетливо видны на снимках обратной стороны Луны и занесены в каталог.

Подтвердив прежние выводы советских селенологов, эти фотографии дали возможность судить о морфологии обратной стороны Луны гораздо полнее. Более того, они стали научной сенсацией. Если в 1959 году сходство обратной стороны Луны с видимой только ставилось под сомнение, то в 1965 году сомнений уже не осталось: обратная сторона действительно во многих отношениях отличается от видимой.

На основании изучения снимков лунной поверхности (обратной стороны), переданных автоматическими межпланетными станциями «Луна-3» и «Зонд-3», а также фотографий видимой с Земли части Луны, полученных в отечественных и зарубежных обсерваториях, советскими учеными были составлены полная карта и глобус Луны. Кроме того, была составлена фотокарта видимой стороны Луны в масштабе 1 : 500 000.

Кроме фотографирования обратной стороны Луны, станция «Зонд-3» произвела спектрофотометрические исследования лунной поверхности в ультрафиолетовой и инфракрасной областях спектра. В космосе такие измерения проводились впервые, а с Земли ультрафиолетовое излучение вообще недоступно наблюдению из-за непрозрачности земной атмосферы.

После пролета вблизи Луны станция «Зонд-3», постепенно удаляясь от Земли и Солнца, в течение длительного времени вела в межпланетном пространстве наблюдение магнитных полей, космических лучей, солнечного ветра, микрометеоритов и низкочастотного излучения Галактики.

Радиосвязь со станцией поддерживалась в течение восьми месяцев! К этому времени станция удалилась от Земли на расстояние свыше 150 миллионов километров.

Несмотря на чрезвычайно ценные данные, полученные автоматическими станциями, пролетавшими около Луны и достигавшими ее поверхности, дальнейшее развитие науки об естественном спутнике Земли и окружающей его среде требовало более длительного функционирования научных приборов вблизи Луны или на ее поверхности.

Для дальнейшего исследования Луны и решения задачи мягкой посадки контейнера с научной аппаратурой на лунную поверхность и создания искусственных спутников Луны в период с 1963 по 1965 годы с космодромов Советского Союза было запущено пять автоматических станций: «Луна-4», «Луна-5», «Луна-6», «Луна-7» и «Луна-8».

С созданием новых типов многоступенчатых космических ракет большой мощности автоматические межпланетные станции начали стартовать к Луне с промежуточной орбиты искусственного спутника Земли.

Станция «Луна-5» достигла поверхности Луны 12 мая 1965 года. Этот запуск позволил получить первые опытные данные о работе систем, обеспечивающих мягкую посадку.

Полеты автоматических станций «Луна-7», достигшей поверхности Луны 8 октября 1965 года, и «Луна-8», опустившейся на Луну 7 декабря 1965 года, завершили экспериментальную отработку систем астроориентации, управления бортовой радиоаппаратурой, радиоконтроля траектории полета и приборов автоматического управления.

Качественно новый этап в исследовании Луны был открыт запуском автоматической станции «Луна-9», стартовавшей 31 января 1966 года.

Наступило время решения одной из важнейших задач исследования других планет — мягкой посадки станции на поверхность Луны. После посадки «Луна-9» должна была передать на Землю телевизионные изображения лунного ландшафта в целях определения структуры и особенностей поверхности Луны, а также данные о радиационной обстановке на Луне.

Полет станции «Луна-9» завершился 3 февраля в 21 час 45 минут 30 секунд — станция «Луна-9» прилунилась на западном краю Океана Бурь.

После посадки станция начала обзор лунного ландшафта и передачу его изображения на Землю. Телевизионные панорамные изображения Луны передавались в течение четырех сеансов при различных условиях освещенности. Всего со станцией было проведено семь сеансов радиосвязи общей продолжительностью свыше 8 часов. Длительность активного существования станции на поверхности Луны составила 75 часов.

Прежде всего огромное значение имел сам по себе факт посадки — безукоризненное доказательство правдивости как инженерных расчетов, так и теоретических предположений конструкторов.

Эта выдающаяся победа нашей науки и техники, по своей значимости сравнимая с запуском первого искусственного спутника Земли, полетом Юрия Гагарина и выходом в космос Алексея Леонова, открыла новую страницу в исследовании космического пространства.

Громадное научное значение имело также получение панорамных изображений лунной поверхности с очень близкого расстояния.

Кроме получения первых достоверных сведений о микрорельефе и структуре лунного грунта, станция «Луна-9» открыла возможности для проведения непосредственных экспериментальных исследований на поверхности Луны. Так, на поверхности Луны была измерена интенсивность жесткой радиации, обусловленной космическими и солнечными лучами и радиоактивным излучением лунного грунта. Доза этой радиации оказалась небольшой.

В дальнейшем непосредственные исследования на поверхности Луны проводились советскими станциями «Луна-13», «Луна-16», «Луна-17», «Луна-20», американскими аппаратами «Сервейер» и космическими кораблями «Аполлон».

21 декабря 1966 года был дан старт автоматической станции «Луна-13». Эта станция была близка по весу и конструкции к станции «Луна-9», имела такую же телевизионную систему для обзора лунного ландшафта и передачи его изображения на Землю, но дополнительно на ней были установлены приборы для непосредственного исследования лунного грунта и другая научная аппаратура.

Через 3,5 суток полета станция прилунилась примерно в четырехстах километрах от места посадки станции «Луна-9». На Землю было передано пять панорам лунно-

го ландшафта, снятых при различных высотах Солнца над горизонтом. Изучение панорам подтвердило выводы, полученные по данным станции «Луна-9». Дополнительные сведения о свойствах грунта были получены с помощью динамографа, регистрировавшего перегрузку, которая возникла при контакте станции «Луна-13» с поверхностью Луны.

Особенно ценную информацию дали размещенные на станции приборы для изучения физико-механических свойств лунного грунта: механический штамп-грунтомер и радиационный плотномер.

С помощью радиационных датчиков измерялась эффективная температура лунного грунта, которая постепенно возрастала по мере увеличения высоты Солнца над лунным горизонтом.

Газоразрядные счетчики, регистрировавшие космическое корпускулярное излучение, позволили определить отражательную способность лунной поверхности для космических лучей.

Важным шагом в дальнейшем изучении Луны явилось создание и запуск на селеноцентрическую орбиту искусственных спутников, которые открыли широкую перспективу глобального изучения лунной поверхности и окололунного пространства: изучение гравитационного поля и фигуры Луны, исследование магнитного поля, радиационной и микрометеорной обстановки вблизи Луны, изучение естественной радиоактивности и химического состава лунных пород.

31 марта 1966 года с Земли стартовала автоматическая станция «Луна-10», которая 3 апреля была выведена на окололунную орбиту и стала первым искусственным спутником Луны, — первой летающей лабораторией для исследования Луны и окололунного пространства.

4 апреля, в день работы XXIII съезда Коммунистической партии Советского Союза, с борта искусственного спутника Луны была передана мелодия партийного гимна «Интернационал».

Активное существование искусственного спутника Луны длилось почти два месяца (до 30 мая). За этот период с борта спутника был получен большой объем научной информации. Научные приборы станции «Луна-10» передали важнейшие сведения о Луне и окололунном пространстве.

Изучение эволюции орбиты спутника легло в основу определения формы динамической фигуры Луны, т. е. характера ее гравитационного поля. Исследования гравитационного поля показали, что его отклонения от поля центрального типа сравнительно невелики.

Принципиально новым было первое в истории определение химического состава лунных пород по характеру гамма-излучения поверхностных слоев Луны. Полученные гамма-спектры позволили сделать заключение, что радиоактивность пород лунного грунта намного меньше, чем у гранитов, и не превышает радиоактивности базальтов.

Большой научный интерес представляли также систематические измерения в окололунном пространстве: напряженности магнитного поля, плотности микрометеоритов, интенсивности корпускулярного излучения.

Советские ученые, конструкторы и рабочие, принявшие участие в создании и запуске автоматической станции «Луна-9», совершившей мягкую посадку на поверхность Луны, и станции «Луна-10» — первого в мире искусственного спутника Луны, были награждены почетным дипломом Международной авиационной федерации (ФАИ) (рис. 13).

24 августа 1966 года в сторону Луны была запущена следующая станция серии «Луна», и 27 августа на окололунную орбиту вышел второй искусственный спутник — «Луна-11».

Станция «Луна-11» за период активного существования (38 суток) совершила 277 витков по окололунной орбите.

Приборы, установленные на ее борту, продолжали исследование Луны и окололунного пространства, начатые спутником «Луна-10». Но предыдущая программа была дополнена изучением длинноволнового космического радиоизлучения и исследованиями особенностей трения в вакууме.

За 137 сеансов радиосвязи со станцией была получена информация, подтвердившая и расширившая основные выводы, сделанные по результатам исследований на «Луна-10».

Перед третьим советским искусственным спутником Луны — «Луна-12», — запущенным в сторону Луны 22 октября 1966 года, помимо исследований, начатых двумя предыдущими спутниками Луны, была поставлена новая

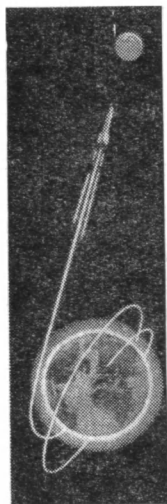


Рис. 13. Почетный диплом Международной авиационной федерации, врученный коллективу советских ученых, конструкторов и рабочих за участие в создании и запуске автоматических станций «Луна-9» и «Луна-10»

задача — крупномасштабное фотографирование участков лунной поверхности.

Спутник активно существовал 85 суток (до 19 января). За это время он совершил 602 витка вокруг Луны, было проведено 218 сеансов связи общей продолжительностью около 63 часов.

На фотографиях получены крупномасштабные изображения фрагментов лунной поверхности, хорошо просматриваются отдельные объекты размером от 5 метров.

В результате исследований гамма-излучений лунной поверхности, проведенных станциями «Луна-11» и «Луна-12», были получены новые сведения о радиоактивности лунных пород.

Успешно проведенные научные исследования уточнили и расширили ранее полученные сведения о Луне и окололунном пространстве.

Накануне дня космонавтики, 7 апреля 1968 года, была запущена и через трое с половиной суток выведена на орбиту искусственного спутника Луны автоматическая станция «Луна-14». Длительные наблюдения за измене-

нием параметров этого лунного спутника позволили уточнить соотношение масс Земли и Луны, форму последней и ее гравитационное поле. Кроме того, проводились измерения потоков заряженных частиц, идущих от Солнца и космических лучей, а также исследования условий прохождения и стабильности радиосигналов, передаваемых с Земли на борт станции и в обратном направлении при различных положениях станции относительно Луны.

В целях дальнейшего уточнения глобальных параметров Луны и окололунного пространства 28 сентября 1971 года была запущена автоматическая научная станция «Луна-19», выведенная на орбиту спутника Луны 3 октября 1971 года.

Систематические многомесячные наблюдения за эволюцией орбиты станции и получение панорамных изображений лунной поверхности дали обширный материал для уточнения гравитационного поля Луны, ее топографических и геолого-морфологических особенностей.

Непрерывная регистрация характеристик магнитного поля и космического излучения в окололунном пространстве (сопоставляемая с одновременно проводимыми измерениями станциями «Марс-2» и «Марс-3») дала ценную информацию о динамике интенсивности корпускулярных потоков космического излучения.

Во всех этих полетах автоматических станций научная информация поступала на Землю только по радиотелеметрическим и телевизионным каналам. Ни одна станция к тому времени не была возвращена на Землю и непосредственно не доставила результатов своих исследований в руки ученых.

Однако не всякая информация, получаемая научной аппаратурой, может быть проанализирована на борту станции, тем более, что возможности радиотелеметрических и телевизионных средств передачи информации не беспредельны; они ограничены скоростью передачи информации, точностью, объемом памяти, мощностью и т. д.

Такие виды исследований, как определение воздействия лучей высоких энергий на материалы, аппаратуру и приборы космических станций, изучение поверхности планет и состава химических элементов и минералов, их образующих, анализ снимков поверхности Луны и планет, свободных от помех и искажений, внесенных телеметрической системой, могут быть тщательно и эффективно

изучены и оценены только на Земле, после возвращения станции на Землю.

Естественно, что задача возвращения автоматической станции на Землю после выполнения программы полета не могла быть поставлена на первых этапах развития космонавтики. Для этого требовалось дальнейшее развитие отечественной ракетной и космической техники, которое позволило поставить и успешно решить эту задачу, и в первую очередь наиболее сложную ее часть — проблему спуска космического аппарата в атмосфере Земли после полета по межпланетной траектории, когда скорость подлета превышает 11 километров в секунду.

15 сентября 1968 года стартовала с Земли автоматическая станция «Зонд-5». Облетев Луну на минимальном расстоянии от ее поверхности, равном 1950 километрам, станция перешла на траекторию движения к Земле и на седьмые сутки полета отделившись от нее спускаемый аппарат приводнился в заданном районе акватории Индийского океана. (Станция «Зонд-4» была запущена для изучения дальних областей околоземного космического пространства.) Успешный полет автоматической станции «Зонд-5» позволил впервые в мире решить сложнейшую научно-техническую задачу возвращения с космической трассы Луна — Земля аппарата, летящего со второй космической скоростью.

Вслед за станцией «Зонд-5» 10 ноября была запущена станция «Зонд-6». Станция облетела Луну на заданном расстоянии от ее поверхности, равном 2420 километрам, и 17 ноября ее спускаемый аппарат приземлился на территории Советского Союза. В ходе полета станции «Зонд-6» удалось решить еще более сложную по сравнению с полетом станции «Зонд-5» проблему — осуществить управляемый спуск на Землю космического аппарата, облетевшего Луну. Отработку управляемого спуска с использованием аэродинамической подъемной силы аппаратов, входящих в земную атмосферу со второй космической скоростью, завершили научные станции «Зонд-7» и «Зонд-8», запущенные по траектории облета Луны с возвратом на Землю (8—14 августа 1969 года и 20—27 октября 1970 года).

Во время полета станций в районе Луны проводился комплекс научных исследований и измерений физических характеристик окололунного космического пространства.

При полете станции «Зонд-5» с расстояния 90 тысяч километров была сфотографирована Земля, а станция «Зонд-6» выполнила в соответствии с программой полета два сеанса фотографирования Луны. Станция «Зонд-7» и «Зонд-8» осуществили фотографирование Луны и Земли на цветную пленку при различных удалениях.

Полеты станций «Зонд-5», «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8», кроме решения технических задач, связанных с отработкой конструкции и систем космических аппаратов, дали в руки ученых много ценного научного материала.

В полете была измерена доза радиации внутри спускаемого аппарата; получен интересный материал с микрометеоритных датчиков станции; с успешным решением задачи возвращения с межпланетных трасс на Землю автоматических станций появилась возможность полностью использовать один из лучших способов запоминания и хранения информации — фотографический. Особый интерес представило изучение доставленной на Землю фотопленки с изображением лунной и земной поверхностей для картографов, астрономов, метеорологов, геологов, ботаников и целого ряда представителей других наук.

Снимки лунной поверхности (свободные от телевизионных помех), полученные станциями «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8», отличаются более высоким качеством, чем фототелевизионные изображения, переданные с борта станций «Луна-3» и «Зонд-3». Кроме того, обработка в наземных условиях экспонированной в космосе фотопленки, доставленной автоматическими станциями на Землю, позволила полнее использовать весь арсенал хорошо известных средств и методов аэрофотосъемки, фотограмметрии и картографии.

Большой научный и практический интерес представляют также и снимки Земли из космоса.

В целях дальнейшего исследования Луны и окололунного пространства 13 июля 1969 года был произведен запуск новой автоматической станции «Луна-15».

На станции были установлены некоторые новые агрегаты и системы (в частности, автоматические навигационные системы), которые при их работе в полете дали богатый экспериментальный материал, необходимый для разработки новых образцов космической техники.

Крупным достижением советских инженеров, рабочих и ученых явилось создание научной станции «Луна-16»,

ярко показавшей исключительно высокие возможности автоматических аппаратов в исследовании космоса.

Автоматическая станция «Луна-16» — уникальный автомат, осуществивший доставку на Землю образцов лунного грунта.

Станция стартовала с Земли 12 сентября 1970 года, 17 сентября (при подлете к Луне) она была переведена на круговую орбиту лунного спутника и после ряда маневров начала двигаться по эллиптической орбите с минимальной высотой над поверхностью Луны — 15 километров.

Формирование такой предпосадочной селеноцентрической орбиты позволило 20 сентября успешно совершить мягкую посадку станции лунной ночью в заданный район Моря Изобилия с высокой точностью.

Научная станция «Луна-16» явилась первым космическим аппаратом, который активно функционировал в условиях лунной ночи. По радиокомандам с Земли грунтозаборный механизм заполнил лунным грунтом возвращаемый контейнер и загерметизировал его.

21 сентября состоялся старт с Луны космической ракеты с возвращаемым аппаратом, который 24 сентября успешно совершил мягкую посадку в заданном районе Советского Союза, доставив на Землю лунный грунт.

Полет станции «Луна-16» открыл широкие перспективы для непосредственного исследования различных районов Луны. Опыт, приобретенный при этом, может быть использован при исследовании и других небесных тел. Полет научной станции «Луна-16» показал, что многие сложные задачи изучения космоса могут решаться автоматическими аппаратами, которые значительно дешевле пилотируемых кораблей и не связаны с риском для людей.

Еще одним убедительным подтверждением этого явился полет станции «Луна-20», стартовавшей с Земли 14 февраля 1972 года. Станция доставила с Луны образцы грунта из труднодоступного горного района.

Новым триумфом советской космической техники явился запуск автоматической научной станции «Луна-17» с луноходом на борту, которая стартовала на Луну с Земли 10 ноября 1970 года.

Основные этапы полета этой станции, вплоть до посадки на лунную поверхность, проходили аналогично этапам перелета станции «Луна-16». 17 ноября автоматическая

станция «Луна-17» совершила мягкую посадку на Луну южнее залива Радуги Моря Дождей.

С посадочной ступени по специальным трапам на лунную поверхность съехал самоходный аппарат «Луноход-1», оснащенный комплексом разнообразного научного оборудования.

В течение лунного дня луноход совершал движение по лунной поверхности, проводя научные исследования.

Управление луноходом осуществлял экипаж по радиокomандам с Земли, информация о рельефе местности поступала от двух телекамер, дающих обзор площадки непосредственно перед луноходом, и четырех телефотометров, передающих панораму лунной поверхности.

В период лунной ночи луноход находился в стационарном положении; система терморегулирования поддерживала в нем температуру около 20°C ; проводились контрольные телеметрические сеансы связи, наземные средства осуществляли локацию Луны с помощью лазерного отражателя (созданного французскими специалистами), установленного на луноходе.

2 сентября 1971 года с Земли стартовала научная автоматическая станция «Луна-18», которая была выведена на круговую орбиту спутника Луны и после ряда маневров на селеноцентрической орбите осуществила посадку на лунную поверхность.

При полете станции была выполнена отработка методов автоматической окололунной навигации и обеспечения посадки в заданный район Луны с орбиты ее спутника.

Получены новые экспериментальные данные о работе конструкции и бортовых систем станции, позволяющие продолжить совершенствование новых образцов космической техники.

И в заключение раздела «Летопись», посвященного советским автоматическим «лунникам», мы приведем отзывы зарубежных ученых о станциях «Луна-16», «Луна-17» и о космической программе СССР.

Б. Ловелл (Англия): «Задача, выполненная «Луной-16», — это настоящая революция в деле освоения космоса. Вы доказали, что с помощью новейших автоматических систем можно, не ставя под угрозу человеческие жизни, проводить самые дерзновенные опыты».

Г. Каминский (ФРГ): «Особенность полета «Луны-16»

закljučается в использовании экономически в высшей степени рациональных, целесообразных и, — что не менее важно, — безопасных методов исследования соседних с Землей планет...»

Н. Армстронг (США): «Посадка «Луны-17» на лунную поверхность является очевидным свидетельством как достижений Советского Союза в области техники, так и его намерений в широких масштабах продолжать исследование космического пространства».

В США попытки исследования Луны и окололунного пространства с помощью небольших космических аппаратов «Пионер» начались еще в августе 1958 года. Всего было запущено шесть зондов типа «Пионер», но ни один из этих аппаратов не выполнил заданную программу; частично удачным был запуск аппарата «Пионер-4», который прошел от Луны на расстоянии около 60 000 километров (в два раза дальше, чем это было запланировано).

В дальнейшем для исследования Луны были использованы космические аппараты «Рейнджер», в своем первоначальном варианте предназначенные для достижения лунной поверхности.

Первые два аппарата были запущены с целью экспериментальной проверки бортовых реактивных двигателей коррекции. Три «Рейнджера» — с третьего по пятый, — предназначенные для жесткой посадки, потерпели неудачу.

В связи с этим программа «Рейнджер» была пересмотрена и упрощена: ее единственной задачей стало получение телевизионных изображений Луны в последние минуты перед разрушением аппарата при его ударе о лунную поверхность.

Однако, хотя «Рейнджер-6» и достиг нашего естественного спутника, телевизионные камеры, включенные задолго до встречи, к моменту сближения с Луной отказали и не передали ни одного изображения.

Аппарат «Рейнджер-7», запущенный в конце июля 1964 года, был направлен в район Моря Облаков. За 17 минут 10 секунд до столкновения с Луной он начал передавать на Землю изображения лунной поверхности. Всего удалось таким образом получить 4316 снимков. Первый снимок был получен с высоты 1800 километров, последний был сделан с высоты 480 метров за 0,12 секунды до столкновения аппарата с Луной.

На фотографиях, полученных с помощью аппарата «Рейнджер-7», удается различить детали, в 2 тысячи раз более мелкие, чем наименьшие формы рельефа, различимые с помощью самых мощных наземных телескопов. Район прилунения «Рейнджера-7» назван американскими учеными Морем Познанным.

Во второй половине февраля 1965 года был запущен «Рейнджер-8». Он достиг Моря Спокойствия; перед этим телевизионные камеры произвели передачу 7500 изображений лунной поверхности на Землю.

Через месяц для фотографирования лунного кратера Альфонс был запущен космический аппарат «Рейнджер-9». Телевизионные камеры, установленные на нем, передали на Землю 6150 изображений дна этого кратера.

За несколько минут до встречи с Луной через специальную систему расшифровки началась передача снимков по телевизионным программам, что дало возможность зрителям наблюдать поверхность Луны.

Таким образом, в 1964—1965 годах аппараты «Рейнджер» передали в общей сложности свыше 17 000 изображений лунной поверхности с различных высот, вплоть до 480 метров над нею.

Снимки впервые позволили получить достоверные сведения о деталях рельефа размером более метра, среди которых подавляющее большинство составляют кратеры. Они подтвердили выводы об относительной гладкости лунных морей и об отсутствии в этих районах крутых склонов.

В рамках программы «Аполлон», задачей которой являлась высадка экспедиции на Луну, в США было предусмотрено исследование лунного грунта с целью определения возможности посадки на поверхность Луны лунной кабины с космонавтами и возможности выхода их из кабины на поверхность Луны. Предусматривались главным образом исследования механических характеристик и химического состава лунного грунта, тепловых условий на поверхности Луны, а также воздействия истекающей струи двигателя на грунт.

Для проведения таких исследований был создан космический аппарат «Сервейер» («Наблюдатель»), дополнительными задачами которого являлись: отработка системы мягкой посадки и проведение ряда научных исследований, не связанных с программой «Аполлон».

Всего в 1966—1968 годах было запущено семь космических аппаратов «Сервейер», пять из них совершили мягкую посадку на Луну.

Первый аппарат («Сервейер-1») был запущен 30 мая 1966 года и 2 июня совершил посадку в Океане Бурь. Помимо телевизионной камеры и температурных датчиков, на аппарате была установлена «подлетная» телевизионная камера.

Аппарат активно существовал один полный дневной период (14 суток). Еще несколько дневных периодов аппарат работал лишь в течение коротких интервалов. Было передано 11 150 снимков лунной поверхности.

Аппарат «Сервейер-2» был полностью аналогичен аппарату «Сервейер-1», однако запуск его был неудачным из-за неисправности одного из верньерных двигателей.

17 апреля 1967 года был запущен аппарат «Сервейер-3», оборудованный панорамной телевизионной камерой и ковшом-захватом для исследования механических свойств лунного грунта. Аппарат прилунился 20 апреля и активно существовал один полный дневной период. Было получено 6319 снимков лунной поверхности, определены механические характеристики грунта.

Следующий аппарат — «Сервейер-4» — был запущен 14 июля 1967 года, но непосредственно перед посадкой 17 июля связь с ним была потеряна.

Аппарат «Сервейер-5», снабженный альфа-анализатором для определения химического состава лунного грунта по отраженному альфа-излучению и магнитом для определения железа в лунном грунте, был запущен 8 сентября 1967 года. После прилунения 11 сентября аппарат активно существовал один полный дневной период, а в последующие дневные периоды работал в течение коротких интервалов. Передано 18 006 снимков, определен химический состав грунта.

Задачи аппарата «Сервейер-6», запущенного 7 ноября 1967 года, были аналогичны задачам аппарата «Сервейер-5». После посадки 10 ноября с аппарата было получено 30 000 снимков лунной поверхности, исследован химический состав грунта. Кроме того, был проведен дополнительный эксперимент по перемещению аппарата на поверхности Луны с помощью верньерных двигателей. 17 ноября были включены на 2,5 секунды три верньерных ЖРД, аппарат оторвался от поверхности, поднялся на вы-

соту 3 метров и опустился на расстоянии 4 метров от места первоначальной посадки.

Последний аппарат этой серии — «Сервейер-7» — был запущен 7 января 1968 года и в отличие от предыдущих аппаратов, совершавших посадку в морских районах, прилунился 10 января в материковом районе кратера Тихо.

Было передано 21 000 снимков, определены химический состав грунта и его механические характеристики.

Основными научными результатами аппаратов «Сервейер» является:

1. Получение в общей сложности 86 000 телевизионных снимков поверхности Луны, которые представляют большой интерес для селенологов.

2. Определение механических и физических характеристик лунного грунта. Установлено, что грунт может выдерживать давление лунной кабины корабля «Аполлон», а также давление космонавтов, вышедших из кабины на поверхность Луны. Прочность грунта возрастает с глубиной. Частицы, составляющие лунный грунт, в 10 раз меньше, чем земной песок. Эти частицы слипаются в массу, напоминающую ил. Основным механизмом эрозии поверхности Луны является бомбардировка ее метеоритами. Поверхность Луны имеет хорошую отражательную способность в радиодиапазоне. Полученные цветные снимки показали, что на Луне преобладают оттенки серого света.

3. Определение химического состава лунного грунта: в нем присутствуют такие же элементы, как и на Земле, причем процентное содержание кислорода, кремния и некоторых других элементов близко к содержанию их в земных базальтах. На основе полученных данных был сделан вывод, что лунный грунт состоит в основном из вулканических пород. Эти выводы подтвердили результаты исследований, выполненных советскими станциями «Луна-9» и «Луна-13».

Результаты исследований подтвердили гипотезу о том, что поверхность Луны представляет собой застывшую лаву и геологическая эволюция Луны аналогична эволюции Земли — постепенное остывание горячей пластической массы.

В рамках той же программы «Аполлон» были созданы космические аппараты «Лунар Орбитер». Основной их задачей являлось обнаружение участков поверхности

Луны, пригодных для посадки лунной кабины космического корабля «Аполлон».

Кроме этой основной задачи, с помощью аппаратов «Лунар Орбитер» проводились:

— изучение метеорной и радиационной обстановки на трассе полета и у Луны;

— изучение характеристик гравитационного поля Луны по эволюции селеноцентрической орбиты аппарата;

— отработка коррекции траектории полета аппарата к Луне, перевода с этой траектории на начальную селеноцентрическую орбиту и с одной селеноцентрической орбиты на другую.

Эта программа предусматривала вывод серии из пяти космических аппаратов на эллиптические селеноцентрические орбиты; два аппарата были запущены к Луне в 1966 году, остальные три — в 1967 году.

Аппараты «Лунар Орбитер» позволили получить детальные снимки поверхности Луны; всего от пяти аппаратов было получено на Земле 833 пары снимков.

На основании научных исследований, проведенных с помощью космических аппаратов, были сделаны следующие выводы.

1. По химическому составу поверхностные горные области Луны отличаются от низменностей, где встречаются районы как вулканического, так и ударного происхождения.

2. Радиальные разрывы наблюдаются более часто, чем можно было предполагать по наблюдениям с Земли. Обнаружены явные признаки последовательных смещений, в результате чего образовались гряды высотой более 300 метров.

3. Лунные моря состоят из пород, примерно 20 процентов которых составляют, по-видимому, базальты вулканического происхождения.

4. Морфология Луны близка к земной. Геологи считают следы эволюции на Луне по своему характеру идентичными следам, вызываемым на Земле подземными взрывами.

5. Селенодезические исследования показали, что Луна имеет некоторую несферичность, а центр массы Луны несколько смещен по направлению к Земле. Центральные части Луны не столь плотны, как предполагалось. Плотность глубинных слоев почти постоянна в отличие от

Земли, которая имеет плотное ядро и менее плотную мантию.

6. Метеорная обстановка, так же как и радиационная, не представляет собой серьезной опасности для космонавтов.

В интерпретации снимков между американскими учеными нет согласия. Как отметил один из них, снимки, полученные аппаратами «Рейнджер» и «Лунар Орбитер», представляют собой «магическое зеркало», в котором каждый ученый видит отражение своей собственной теории о происхождении Луны и ее физических характеристиках.

ПЕРВЫЕ ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ («ЛУНА-1» И «ЛУНА-2»)

Некоторые общие вопросы проблемы полета к Луне

Запуск ракеты на Луну является весьма сложной научной и технической проблемой.

Для полета к Луне необходимо было создание совершенной многоступенчатой ракеты с мощными ракетными двигателями, работающими на высококалорийном топливе, особо точной системы управления полетом ракеты, наземного стартового оборудования и автоматического измерительного комплекса для слежения за полетом ракеты.

Траектория полета к Луне состоит из трех частей: участка разгона, на котором под действием тяги двигателей ракета выводится в определенную точку пространства, приобретая необходимую скорость, участка свободного полета, который начинается после выключения двигателя последней ступени ракеты и отделения станции, а также участка полета под действием притяжения Луны.

На участке разгона, чтобы преодолеть земное притяжение, космическая ракета должна набрать скорость, чуть большую, чем вторая космическая скорость, которая у поверхности Земли составляет 11,19 километра в секунду. Эта скорость, называемая также параболической скоростью, является критической в том смысле, что при меньших скоростях, называемых эллиптическими, тело либо становится спутником Земли, либо, поднявшись на некоторую предельную высоту, возвращается на Землю. При скоростях, больших второй космической скорости (гиперболических скоростях) или равных ей, тело способно пре-

одолеть земное тяготение и навсегда удалиться от нашей планеты.

На участке свободного полета до сближения станции с Луной основное влияние на ее движение оказывает сила притяжения Земли, уменьшающая скорость движения станции примерно до 2 километров в секунду у Луны. Вследствие этого траектория движения ракеты относительно центра Земли очень близка к гиперболе, для которой центр Земли является одним из фокусов. Траектория наиболее искривлена вблизи Земли и распрямляется с удалением от нее.

Запуск ракеты на Луну предшествовали теоретические исследования и технические расчеты, позволившие определить траектории и время пуска, обеспечивающие решение задачи о достижении Луны при наивыгоднейших условиях. Другими словами — необходимо было прежде всего произвести расчеты для получения оптимальных траекторий полета с максимально полезным грузом.

Принципиально запуск ракеты для достижения Луны возможен в любой день, т. е. при любом положении Луны в ее движении по орбите вокруг Земли.

Однако расчеты показывают, что при запуске ракеты с земной поверхности энергетически запуск выгодно осуществлять в определенные астрономические сроки.

Напомним, что плоскость орбиты Луны наклонена к плоскости земного экватора. Вследствие этого при движении по орбите склонение Луны, т. е. угол, составленный направлением от центра Земли к Луне с плоскостью земного экватора, меняется.

В связи с этим с территории Советского Союза энергетически выгодно осуществлять запуски тогда, когда Луна находится вблизи точки своей орбиты с минимальным склонением. В этом случае на участке разгона ракета будет двигаться с наименьшим углом к земной поверхности, и потери скорости вследствие притяжения Земли будут минимальными. Это обеспечивает посылку на Луну максимального груза.

При старте в более поздние или более ранние сроки вес полезного груза уменьшается.

В то же время Луна во время сближения с ней космического аппарата должна находиться над горизонтом, чтобы обеспечить прямую радиосвязь с аппаратом. Наи-

более благоприятное для этого время — время, когда Луна находится вблизи точки верхней кульминации, т. е. когда высота ее над земным горизонтом наибольшая.

В результате расчетов выбиралось наиболее выгодное значение угла наклона плоскости траектории к плоскости земного экватора, что определяло для заданной точки старта направление трассы полета ракеты на начальном участке ее движения.

При этом принимались во внимание также вопросы удобства размещения измерительного комплекса для контроля движения и получения телеметрической информации как на участке разгона, так и на начальном участке свободного полета.

Как показали расчеты, при полете к Луне с территории СССР Луна в момент старта ракеты должна находиться за горизонтом вблизи точки нижней кульминации. Это означает, что момент старта должен отличаться от момента верхней кульминации Луны примерно на полсутки.

Если учесть, что в момент достижения Луны она должна находиться в точке верхней кульминации, то станет ясным, что полет к Луне должен продолжаться либо полсутки, либо полтора суток, либо двое с половиной суток и т. д.

Поскольку полет в течение полусуток требовал чрезвычайно больших начальных скоростей, а полет в течение двух с половиной суток и более связан с очень высокими точностями выдерживания параметров движения в конце участка разгона (при условии попадания в Луну и условии гарантированного наблюдения ее в момент встречи), продолжительность первых полетов была определена в полтора суток.

Выбор продолжительности полета определил величину скорости ракеты в конце участка разгона.

Для обеспечения попадания ракеты на Луну при отсутствии какой-либо коррекции ее движения на участке свободного полета должны быть весьма точно выдержаны значения параметров движения в конце участка разгона. Так, ошибка в скорости ракеты всего на один метр в секунду, т. е. на 0,01 процента от величины полной скорости, приводит к отклонению точки встречи с Луной на 250 километров. Отклонение времени старта в 10 секунд вызывает смещение точки встречи на поверхности Луны примерно на 200 километров.

Отклонение вектора скорости от расчетного направления на одну угловую минуту вызывает смещение точки встречи в 200 километров.

Для надежного попадания в Луну ошибка в скорости должна быть не более нескольких метров в секунду, а отклонение вектора скорости от его расчетного направления не должно превышать одной десятой градуса.

Устройство автоматических межпланетных станций «Луна-1» и «Луна-2»

Автоматическая станция «Луна-1», так же как и «Луна-2», представляла собой сферический контейнер, расположенный в верхней части последней ступени космической ракеты. Для защиты станции от нагрева и разрушения аэродинамическими силами при прохождении ракетой плотных слоев атмосферы контейнер был защищен сбрасываемым конусом (обтекателем).

Кроме аппаратуры управления полетом, в корпусе последней ступени ракеты размещались: прибор для измерения интенсивности космических лучей, радиосистема для определения траектории полета, два радиопередатчика и аппаратура для образования натриевого облака — искусственной кометы.

Контейнер состоял из двух сферических полуоболочек, герметично соединенных между собой шпангоутами с уплотнительной прокладкой (рис. 14).

На внешней поверхности станции были установлены датчики научной аппаратуры, штанга с магнитометром, четыре штыревые антенны и две ленточные. До момента сброса защитного конуса штыревые антенны были сложены и закреплены на штанге магнитометра. После сброса защитного конуса антенны раскрывались.

Полуоболочки контейнера были выполнены из специального алюминиевомагниевого сплава. На шпангоуте нижней полуоболочки крепилась приборная рама трубчатой конструкции, на которой размещались приборы станции.

Аппаратура станции предназначалась для научных исследований:

— межпланетного магнитного поля;

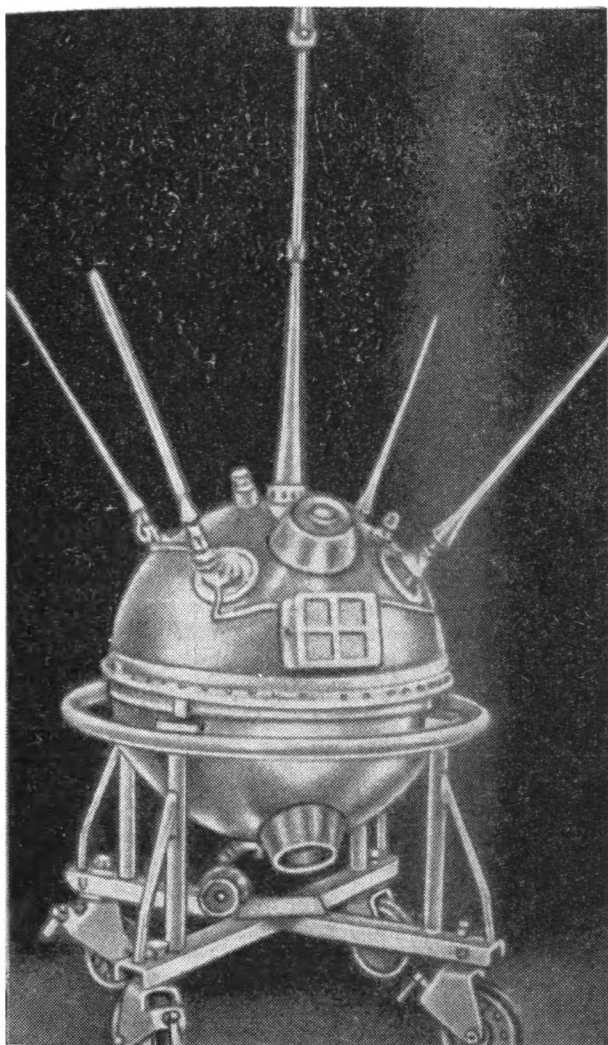


Рис. 14. Автоматическая станция «Луна-1»
(на монтажной тележке)

— интенсивности космических лучей вне магнитного поля Земли;

— фотонов в космическом излучении;

— газовой компоненты межпланетного вещества;

— корпускулярного излучения Солнца;

— метеоритных частиц.

Кроме научной аппаратуры, внутри контейнера размещались:

— аппаратура для радиоконтроля траектории движения ракеты, состоявшая из передатчика и блока приемника, работавших вместе с наземными средствами;

— радиопередатчик и телеметрический блок с датчиками для передачи на Землю научных измерений, а также данных о температуре и давлении в контейнере;

— источники электропитания: серебряно-цинковые аккумуляторы и окисно-ртутные батареи.

Контейнер заполнялся газом при давлении 1,3 атмосферы. Температура газа внутри контейнера поддерживалась около 20° С. Этот температурный режим обеспечивался, с одной стороны, специальной обработкой оболочки контейнера и приданием ей таким образом определенных оптических коэффициентов (поглощения и излучения тепловых потоков) и, с другой стороны, установкой вентилятора для принудительной циркуляции газа в контейнере. Циркулирующий в контейнере газ отбирал тепло от приборов и отдавал его оболочке, являвшейся своеобразным радиатором.

Масса последней ступени ракеты после израсходования рабочего запаса топлива составляла 1472 килограмма; общая масса научной и измерительной аппаратуры, размещенной на последней ступени ракеты, с источниками питания и отделяемым сферическим контейнером — 361,3 килограмма.

На первой космической ракете, ставшей искусственной планетой Солнечной системы, были установлены два вымпела с изображением Государственного герба СССР — ленточный и сферический, символизирующие искусственную планету.

Масса станции «Луна-2» вместе с научно-исследовательской аппаратурой и источниками питания составляла 390 килограммов.

Полет автоматических межпланетных станций «Луна-1» и «Луна-2»

Космическая многоступенчатая ракета с автоматической станцией «Луна-1» на борту стартовала 2 января 1959 года с поверхности Земли вертикально. Под действием программного механизма автоматической системы, управляющей ракетой, ее траектория постепенно отклонялась от вертикали. Скорость ракеты быстро нарастала.

В конце участка разгона последней ступени ракеты была сообщена скорость, несколько большая второй космической скорости, при этом автоматическая система управления выключила двигатель и подала команду на отделение станции от последней ступени ракеты.

Начался второй участок полета — участок свободного полета, который проходил по гиперболической траектории.

В начале движения станция двигалась весьма быстро, однако по мере удаления от Земли скорость ее уменьшалась. Так, если на высоте 150 километров скорость ракеты относительно центра Земли была несколько больше 10 километров в секунду, то на удалении 100 000 километров она равнялась уже примерно 3,5 километра в секунду.

С целью получения наиболее полных данных о движении космической ракеты и станции на всем участке полета производились непрерывные измерения дальности до ракеты, радиальной скорости ее движения (скорости удаления от измерительного пункта) и угловых координат: углов места и азимута.

Для визуального наблюдения за полетом ракеты на ней было установлено устройство, образующее искусственную комету — натриевое облако, видимое в телескопы с Земли.

3 января, когда станция находилась над Индийским океаном и удалилась от Земли на 113 000 километров, на ночном небосводе — в месте нахождения станции — появилось золотисто-оранжевое облако, быстро увеличивающееся в размерах. В Пулковской обсерватории удалось запечатлеть на пленку момент наибольшей яркости натриевого облака.

Траекторные измерения, оптические наблюдения и фотоснимки позволили уточнить орбиту ракеты и убедиться в том, что движение совершается правильно.

Когда ракета приблизилась к Луне на расстояние в несколько десятков тысяч километров, притяжение Луны начало оказывать заметное влияние на движение ракеты. Действие притяжения Луны привело к отклонению направления движения ракеты и изменению скорости ее полета вблизи Луны.

Полет до Луны продолжался 34 часа. В 6 часов 4 января ракета, находясь на расстоянии 370 000 километров от Земли, прошла мимо Луны на удалении в 5000—6000 километров.

После пролета Луны космическая ракета продолжала удаляться от Земли, скорость ее относительно центра Земли убывала и стала равной примерно 2 километрам в секунду.

На расстоянии порядка 1 миллиона километров и более влияние притяжения Земли настолько уменьшилось, что движение ракеты стало происходить почти целиком под действием силы тяготения Солнца.

Примерно 7—8 января ракета вышла на свою самостоятельную орбиту вокруг Солнца, стала его спутником, превратившись в первую в мире искусственную планету Солнечной системы.

Этот искусственный спутник совершал движение по орбите с минимальным расстоянием от Солнца — 146 миллионов километров, максимальным расстоянием — 197 миллионов километров и периодом обращения — 450 суток.

Вторая космическая ракета со станцией «Луна-2» стартовала 12 сентября 1959 года.

Обработка данных измерений, поступивших в вычислительный центр со всех измерительных пунктов Советского Союза, позволила в течение первого часа полета ракеты рассчитать траекторию ее движения и убедиться, что ракета выведена достаточно точно для попадания в Луну, и ориентировочно определить участок встречи.

Весь полет ракеты со станцией «Луна-2» проходил строго по намеченной расчетной траектории. Все системы, агрегаты и элементы ракеты во время полета работали нормально.

По мере удаления от Земли, на участке свободного

полета, скорость движения станции постепенно убывала до величины порядка 2 километров в секунду. В дальнейшем вследствие все возрастающего воздействия притяжения Луны уменьшение скорости прекратилось; скорость начала возрастать и росла непрерывно до момента встречи с поверхностью Луны.

Контейнер с научной аппаратурой достиг поверхности Луны 14 сентября в 00 часов 02 минуты 24 секунды. Скорость автоматической станции относительно Луны в момент встречи была около 3,3 километра в секунду. Угол наклона траектории при встрече с Луной составлял 60 градусов.

Место встречи станции с Луной находится вблизи восточной границы Моря Ясности на селенографической широте плюс 30 градусов и долготе ноль градусов.

Автоматическая межпланетная станция доставила на поверхность Луны вымпелы Советского Союза.

Помимо получения новых научных данных с межпланетной трассы перелета и в непосредственной близости от Луны, основное значение этого события заключается в осуществлении первого космического полета с Земли на другое небесное тело.

ОБЛЕТ И ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ («ЛУНА-3» И «ЗОНД-3»)

Устройство автоматической межпланетной станции «Луна-3»

Автоматическая станция «Луна-3» представляла собой тонкостенную герметичную конструкцию, имеющую форму цилиндра со сферическими днищами (рис. 15).

Диаметр станции (максимальный) 20 сантиметров, длина без антенны 130 сантиметров, масса 278,5 килограмма, масса последней ступени (без топлива) 1553 килограмма.

На последней ступени ракеты-носителя размещалась измерительная аппаратура с источниками питания массой 156,5 килограмма. Таким образом, суммарная масса полезной нагрузки ракеты составляла 435 килограммов. В состав оборудования станции входили следующие системы и устройства.

1. Радиотехническая система для передачи на Землю телевизионной и научной телеметрической информации,

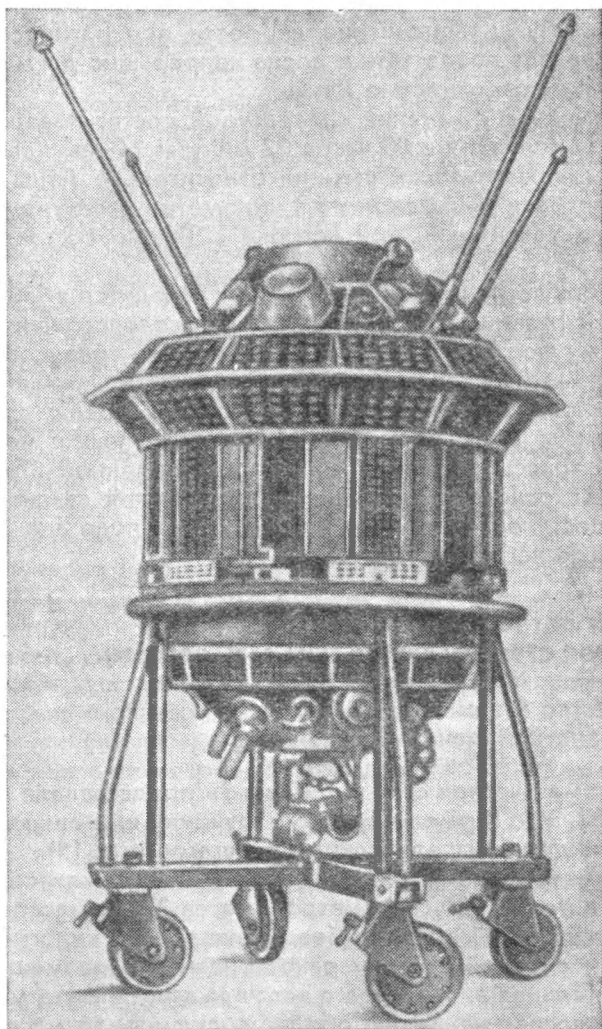


Рис. 15. Автоматическая станция «Луна-3» (на монтажной тележке)

а также для приема с Земли команд управления работой бортовой аппаратуры.

2. Система ориентации для обеспечения ориентации станции в космическом пространстве относительно Солнца и Луны, необходимой для фотографирования невидимой стороны Луны.

В состав системы ориентации входили оптические и гироскопические датчики, логические электронные устройства и управляющие газореактивные двигатели, разворачивавшие станцию в нужном направлении.

3. Фототелевизионная система, обеспечившая получение качественного полутонного изображения и передачу его на Землю с расстояний, измеряемых сотнями тысяч километров.

Съемочная камера имела два объектива с фокусными расстояниями 200 и 500 миллиметров, с помощью которых производилась одновременно съемка в двух различных масштабах.

4. Автоматическая система терморегулирования для поддержания заданного теплового режима внутри станции.

Система обеспечивала отвод тепла, выделяемого приборами, через специальную радиационную поверхность в окружающее космическое пространство. Для регулирования теплоотдачи снаружи корпуса были установлены жалюзи, открывающие радиационную поверхность при повышении температуры внутри станции свыше $+25^{\circ}\text{C}$.

5. Система энергоснабжения, состоявшая из автономных блоков, химических источников тока, обеспечивавших питание кратковременно действующей аппаратуры, и централизованного блока буферной химической батареи. Для компенсации израсходованной энергии буферной батареи на станции были установлены солнечные источники тока. Питание бортовой аппаратуры производилось через преобразователь и стабилизирующие устройства.

6. Комплекс научной аппаратуры для дальнейшего развития исследований космического и окололунного пространства, начатых первыми двумя станциями.

Согласование и управление работой всего оборудования станции осуществлялось специальным программно-временным устройством. Бортовая аппаратура и химические источники тока были смонтированы на специальной раме внутри станции.

На внешней поверхности станции размещались датчики научной аппаратуры, солнечные батареи, солнечный и лунный оптические датчики, иллюминатор фотокамер, двигатели системы ориентации, четыре штыревые и две ленточные антенны.

Полет станции «Луна-3»

Выбор траектории полета станции «Луна-3» определялся рядом требований, исходивших из задач, поставленных перед этим полетом.

Главной задачей было фотографирование возможно большей части невидимого с Земли полушария Луны. Однако необходимо было также получить на снимках некоторое число деталей видимого полушария, чтобы по отношению к ним определить селенографические координаты новых объектов и взять их в качестве образца для дешифрирования.

Во время фотографирования станция должна была располагаться приблизительно на прямой, соединяющей Солнце и Луну. При этом Земля должна была находиться в стороне от направления Солнце — Луна, чтобы не произошла ориентация станции на Землю вместо Луны.

После фотографирования заданного района станции надлежало вернуться на близкое расстояние к Земле для передачи полученных изображений.

Так как никакой коррекции движения межпланетной станции в пути не предусматривалось и весь ее полет определялся в конечном счете параметрами движения в конце участка разгона (в основном величиной и направлением скорости, а также гравитационными силами Земли, Луны и Солнца), то нетрудно представить, что реализация такой облетной траектории возможна была лишь при чрезвычайно совершенной системе управления ракетой-носителем на участке разгона и достаточно точном учете сил тяготения Земли, Луны и Солнца.

Старт автоматической станции «Луна-3» состоялся 4 октября 1959 года. Космическая ракета вышла на орбиту с высокой точностью, что обеспечило заданное сближение автоматической станции с Луной и облет Луны.

6 октября в 17 часов 16 минут станция прошла на минимальном расстоянии от Луны — в 7000 километров от ее поверхности, а затем продолжала свое движение, опи-

бая Луну. Весь полет до Луны продолжался около 2,5 суток.

После сближения с Луной — 7 октября, в момент, когда станция находилась в заданном положении относительно Луны и Солнца, обеспечивавшем необходимые условия для ориентации и фотографирования, была включена система ориентации.

В начале работы системы ориентации прежде всего было прекращено произвольное вращение автоматической станции вокруг ее центра масс, возникшее в момент отделения от последней ступени ракеты-носителя.

Затем с помощью солнечных датчиков и системы ориентации станция была направлена нижним днищем на Солнце; этим самым оптические оси фотоаппаратов направлялись в противоположную сторону — на Луну. После этого соответствующее оптическое устройство, в поле зрения которого Земля и Солнце уже не могли появиться, отключило ориентацию на Солнце и произвело точную ориентацию на Луну. Поступивший с оптического устройства сигнал «присутствия» Луны разрешил автоматическое фотографирование.

Команда на включение аппаратуры для фотографирования обратной стороны Луны была подана в тот же день, 7 октября, в 6 часов 30 минут. Сеанс фотографирования лунной поверхности продолжался около 40 минут. Кадры снимались на специальную 35-миллиметровую пленку с расстояния от 65,2 до 68,4 тысяч километров длиннофокусным и короткофокусным объективами.

Станция сфотографировала почти половину лунной поверхности, из которой около 60 процентов приходится на невидимое с Земли полушарие.

В течение всего времени фотографирования система ориентации обеспечивала непрерывное наведение станции на Луну.

После того как было произведено экспонирование всех кадров, система ориентации выключилась. В момент выключения она сообщила автоматической станции упорядоченное вращение с определенной угловой скоростью, выбранной так, чтобы, с одной стороны, улучшить тепловой режим, а с другой — создать благоприятные условия для функционирования научной аппаратуры.

Притяжение Луны оказало ожидаемое (расчетное) влияние на траекторию дальнейшего полета станции, и ее

возвращение к Земле происходило со стороны северного полушария. Благодаря этому после пролета Луны промежуток времени, на протяжении которых была возможна прямая связь со станцией наблюдательных пунктов, расположенных в северном полушарии, были достаточно длительными. При еще большем сближении с Землей станция могла наблюдаться в северном полушарии как незаходящее светило.

Продолжая свой путь к Земле, станция двигалась по весьма вытянутой орбите, близкой по форме к эллиптической.

10 октября станция находилась вблизи апогея (около 470 000 километров), 18 октября прошла перигей (около 47 500 километров), а 26—27 октября снова находилась в апогее (примерно 480 000 километров).

При возвращении станции к Земле полученные фотоснимки передавались в двух режимах: на больших расстояниях (до 470 000 километров) — медленная передача и на близких расстояниях при подлете к Земле — более быстрая.

В ноябре 1959 года связь со станцией внезапно прекратилась, возможно, вследствие столкновения с метеоритной частицей.

Автоматическая межпланетная станция «Зонд-3»

Основной задачей полета станции «Зонд-3» было завершение фотографирования обратной стороны Луны. Кроме того, нужно было продолжить испытания бортовой аппаратуры в условиях дальнего космического полета и провести дальнейшие научные исследования в космическом пространстве.

Станция (рис. 16) состоит из двух герметичных отсеков — орбитального и специального, в которых расположены приборы различных систем.

В орбитальном отсеке сосредоточена аппаратура, предназначенная в основном для работы на траектории между Землей и Луной и после пролета Луны: электронно-оптические датчики, чувствительные элементы (гироскопы) и приборы систем управления, ориентации и коррекции, буферные аккумуляторные батареи, основные программно-временные и коммутационные устройства, радиотелеметрическая система, приборы и внутренний

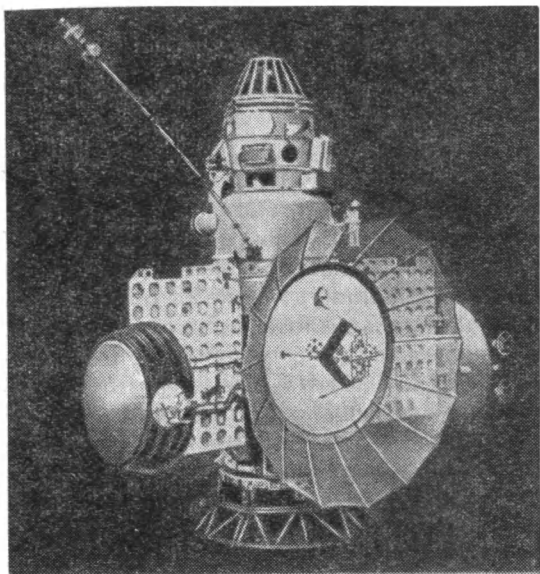


Рис. 16. Общий вид станции «Зонд-3»

теплообменник системы терморегулирования и часть научной аппаратуры.

Во втором специальном отсеке расположены: фото-телевизионное устройство, оптический датчик ориентации на Луну, радиосистема сантиметрового диапазона волн, часть буферной аккумуляторной батареи, часть аппаратуры, обеспечивающей функционирование специального отсека, и научные приборы.

К корпусу орбитального отсека крепятся панели солнечных батарей, полусферические радиаторы системы терморегулирования, приемо-передающие антенны (малонаправленная и остронаправленная параболическая), корректирующая двигательная установка, баллоны со сжатым азотом, исполнительные органы системы ориентации — газореактивные двигатели, оптические датчики системы ориентации и датчики научной аппаратуры.

Установленный на станции комплекс научной аппаратуры предназначался для изучения ультрафиолетовых и

инфракрасных спектров лунной поверхности, магнитных свойств околоземного и космического пространства и межпланетной среды, солнечного ветра, космических лучей, микрометеоритов, низкочастотного излучения Галактики.

В соответствии с задачами, поставленными перед космической станцией «Зонд-3», к траектории полета были предъявлены следующие требования.

Для обеспечения нормального функционирования работы бортовой системы астроориентации необходимо было, чтобы максимальное удаление от орбиты Земли в сторону Солнца не превышало 1 миллиона километров, максимальное значение угла Солнце — станция — Земля (ССЗ) после месяца полета в течение последующих шести месяцев не превышало 50 градусов, а расстояние от Земли до станции через 4—5 месяцев полета не превышало 40 миллионов километров.

При работе системы ориентации в момент начала съемок значение угла ССЗ не должно было превышать 100 градусов, а значение угла Земля — станция — Луна (ЗСЛ) должно было быть больше 80 градусов, спустя 30 минут после начала фотографирования значение угла ЗСЛ должно было превосходить 35 градусов.

Для работы фототелевизионного устройства нужно было обеспечить пролет станции в непосредственной близости от Луны с целью фотографирования той части ее обратной стороны, изображение которой не было получено станцией «Луна-3». При этом фотографируемая часть Луны должна была освещаться косыми лучами Солнца.

Расстояние от космической станции до поверхности Луны во время фотографирования должно было быть не более 25 000 километров.

При подаче команды на начало фотографирования и для контроля работы фототелевизионного устройства с наземного пункта связи траектория должна была обеспечить радиовидимость станции с этого пункта не позднее чем за 30 минут до начала и в течение всего сеанса фотографирования.

Выполнение всех этих условий накладывало ограничения на возможные даты запуска станции; эти требования могли быть выполнены при пусках в течение нескольких соседних дат каждого месяца.

Условия радиовидимости станции с наземного пункта связи при фотографировании с учетом требований по величинам удаления станции обусловили выбор траектории со временем полета до Луны, составляющим примерно полтора суток. При этом так называемая полуторасуточная траектория обеспечивала выведение заданной массы.

В связи с тем, что проведение коррекции траектории, т. е. ликвидация отклонений действительной траектории от расчетной, получающихся вследствие неточности выведения, на участке полета до Луны не предусматривалась, минимальное расстояние пролета у Луны выбиралось из условия удовлетворения требований, необходимых при фотографировании с учетом возможных разбросов. Пуск автоматической станции в сторону Луны состоялся 18 июля 1965 года.

Выведение станции на заданную траекторию осуществлялось в два этапа. Сначала ракета-носитель вывела станцию на промежуточную орбиту искусственного спутника Земли. Затем с орбиты спутника стартовал разгонный блок со станцией, который обеспечил ее выведение на гелиоцентрическую орбиту с таким расчетом, чтобы станция прошла в непосредственной близости от Луны с целью фотографирования ее поверхности.

Скорость, достигнутая в конце работы разгонного блока, позволила станции после пролета Луны покинуть сферу действия Земли и перейти на орбиту искусственной планеты, обращающейся вокруг Солнца.

Сразу после отделения от разгонного блока начался сеанс радиосвязи с автоматической станцией. Траекторные измерения и передача телеметрической информации о работе бортовых систем и данных научных измерений производились систематически в течение всего времени полета станции «Зонд-3».

Уже в первом сеансе после отделения от разгонного блока станция была ориентирована таким образом, чтобы элементы солнечных батарей освещались прямыми лучами Солнца.

В таком режиме — «режиме постоянной солнечной ориентации» — станция находилась в течение всего времени полета, кроме сеансов фотографирования и передачи снимков.

При полете к Луне, после того как была выдана команда на проведение сеанса фотографирования Луны, система постоянной солнечной ориентации отключилась и началась ориентация автоматической станции на Луну.

Ориентация осуществлялась с помощью двух оптических датчиков — «солнечного» и «планетного» (оптическая ось последнего параллельна оптической оси фотоаппарата).

С помощью «планетного» датчика станция в течение всего сеанса фотографирования была ориентирована на освещенную часть диска Луны. Чтобы охватить всю освещенную поверхность Луны или хотя бы большую ее часть, осуществлялось сканирование станции с угловой скоростью примерно 0,1 градуса в секунду; при этом ось фотоаппарата двигалась от края освещенной части диска через ее центр.

Сеанс фотографирования начался 20 июля и после окончания экспонирования кадров (через 4 часа 24 минуты) автоматически прекратился; станция возвратилась в режим «постоянной солнечной ориентации».

В момент начала фотографирования станция находилась на расстоянии 11 600 километров от Луны, в момент окончания фотографирования — на расстоянии 10 000 километров.

Передача полученных на борту изображений Луны началась 29 июля с расстояния 2,2 миллиона километров и осуществлялась в сеансах связи через остронаправленную параболическую антенну.

Ориентация на Солнце и Землю поддерживалась системой управления в течение всего периода сеанса связи на параболической антенне. По окончании сеанса связи станция возвращалась к постоянной солнечной ориентации.

Радиосвязь с автоматической межпланетной станцией «Зонд-3» поддерживалась в течение восьми месяцев.

В марте 1966 года программа полета была исчерпана, и связь со станцией было решено прекратить. К этому времени станция удалилась от Земли на расстояние свыше 150 миллионов километров.

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ НА ЛУНЕ («ЛУНА-9» и «ЛУНА-13»)

Мягкая посадка

Мягкая посадка космического аппарата на лунную поверхность являлась принципиально новой технической проблемой, потребовавшей решения целого ряда вопросов как при проектировании самой станции, так и при обеспечении высоких точностей ее выведения для осуществления посадки в заданном районе лунной поверхности.

Задача осложнялась отсутствием сведений о свойствах лунной поверхности. Неопределенность в отношении физико-механических свойств лунного грунта обусловила проектирование системы мягкой посадки с учетом возможности посадки аппарата на различные по своим свойствам породы — от скальных до пылевидных.

На Луне нет атмосферы, которая могла бы затормозить движение космического аппарата, подлетающего к поверхности со скоростью около 2,5 километра в секунду. Поэтому методы, используемые для посадки космических аппаратов на Землю, не могли быть применены. Единственной возможностью осуществления мягкой посадки являлось чрезвычайно точно отрегулированное торможение космического аппарата ракетным двигателем. Тормозной двигатель должен снизить скорость аппарата до величины в единицы метров в секунду; при этом конец торможения должен совпасть с моментом приближения к поверхности Луны, иначе аппарат в результате свободного падения снова разовьет большую скорость. Анализ различных схем торможения показал, что для первых экспериментов наиболее надежен вариант торможения при вертикальном снижении станции, позволивший упростить систему посадки.

Как известно, первые полеты советских ракет к Луне проводились без коррекции траектории. Точность выведения на орбиту как для попадания на Луну станции «Луна-2», так и для облета Луны и фотографирования ее поверхности станцией «Луна-3» обеспечивалась системой управления ракеты при ее выведении на орбиту полета.

Для попадания в заданный район Луны и почти вертикального сближения с ее поверхностью были необходи-

мы существенно более высокие точности на завершающем этапе полета. При этом, как показали расчеты, оказалось нецелесообразным предъявить слишком высокие требования к системе управления при выведении ракеты у Земли. Оказалось, что можно технически проще и точнее исправить ошибки выведения станции на заданную траекторию полета к Луне, если провести сеанс коррекции траектории в полете. Для этого предварительно были проведены необходимые траекторные измерения и определена величина расхождения фактической траектории от расчетной.

С целью максимального упрощения конструкции автоматической станции и выигрыша в ее весе было решено применить единую для коррекции и торможения двигательную установку.

Попадание в заданный район Луны обеспечивалось соответствующим выбором времени старта ракеты-носителя с поверхности Земли и временем старта разгонного блока со станцией с орбиты искусственного спутника Земли, с учетом возможности проведения коррекции траектории полета.

Выбор траектории определялся в основном условиями оптимизации энергетических затрат, а также условием благоприятной видимости Луны с наземных наблюдательных пунктов, расположенных на территории СССР, во время торможения и непосредственно после посадки станции. Этим условиям удовлетворяют траектории с временем полета около 3,5 суток. Для таких траекторий при выбранной системе торможения точка посадки будет располагаться в западной части видимого диска Луны.

Для обеспечения наиболее благоприятных условий освещенности и наилучшего теплового режима автоматической станции посадка планировалась в районе утреннего терминатора.

Это в свою очередь определяло для данного месяца положение Луны на орбите в момент сближения со станцией, а следовательно, дату подлета к Луне и дату старта ракеты-носителя. Так как необходимое относительное расположение Земли, Луны и Солнца повторяется с периодичностью в один синодический месяц (около 29,5 суток), с той же периодичностью повторяются даты старта, удовлетворяющие перечисленным условиям.

устройство автоматической станции «Луна-9»

Станция «Луна-9» (рис. 17) состоит из собственно автоматической лунной станции (АЛС), двигательной установки, предназначенной для проведения коррекций траектории и торможения при подлете к Луне, и навесных отсеков с аппаратурой управления полетом.

Аппаратура и агрегаты, необходимые только при полете к Луне и не используемые во время торможения, с целью уменьшения затрат топлива на торможение у Луны размещены в двух навесных отсеках, отделяемых непосредственно перед запуском тормозного двигателя на этапе прилунения.

Двигательная установка станции состоит из жидкостного ракетного двигателя, блока топливных баков и управляющих двигателей, необходимых для стабилизации полета станции во время работы двигательной установки.

Предусмотрена возможность работы двигательной установки на двух режимах: с постоянной тягой при коррекции и с широким диапазоном регулирования тяги при торможении.

Силовой конструкцией станции является сферический бак окислителя, на котором монтируются АЛС, навесные отсеки, двигательная установка и торовый бак с горючим.

Система ориентации, обеспечивающая ориентацию станции при проведении сеанса коррекции траектории и перед сеансом торможения у Луны, состоит из оптического блока, датчиков угловых скоростей, счетнорешающего логического устройства и исполнительных органов — микродвигателей, работающих на сжатом газе. Размещается система ориентации в навесном отсеке.

В отсеке управления размещаются гироскопические и управляющие устройства, программное устройство, радиосистема мягкой посадки, источники питания (химические батареи), радиотелеметрическая система.

Поскольку одной из важнейших научных задач полета станции являлось изучение характера функционирования аппаратуры в совершенно новых и сложных условиях нахождения на Луне, большое внимание было уделено тщательному исследованию работы самой станции «Луна-9».

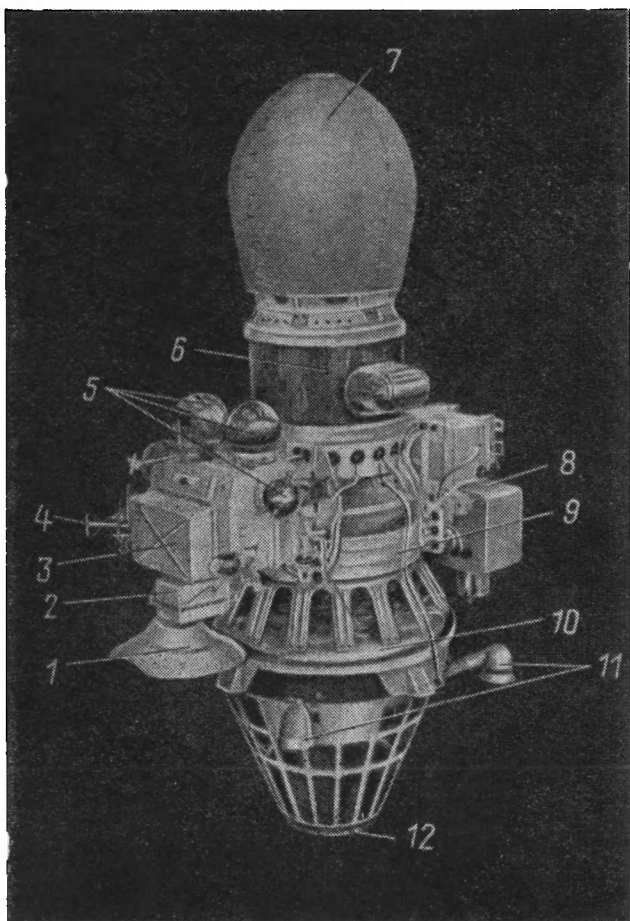


Рис. 17. Устройство автоматической станции «Луна-9»:

1 — узконаправленная антенна радиовысотомера; 2 — радиовысотомер; 3 — аппаратура; 4 — микродвигатели системы ориентации; 5 — баллоны с газом; 6 — отсек системы управления; 7 — автоматическая лунная станция; 8 — блок системы астроориентации; 9 — сферический бак окислителя; 10 — торовый бак горючего; 11 — управляющие двигатели; 12 — ЖРД

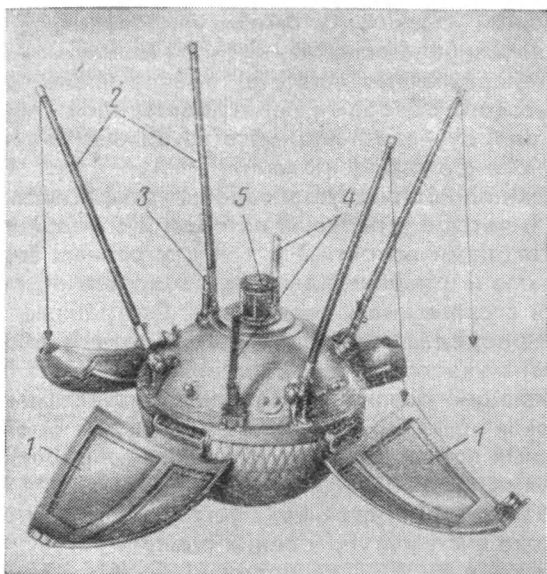


Рис. 18. Автоматическая лунная станция:

1 — лепестковые антенны; 2 — штыревые антенны; 3 — эталоны яркости; 4 — двугранные зеркала

Поэтому радиотелеметрическая система и АЛС обеспечивали не только передачу научной информации, но и контроль работы аппаратуры и состояния различных элементов конструкции. Контролировались температура и давление в АЛСе, электрическое напряжение, передавались сигналы, подтверждающие осуществление различных операций — раскрытие антенн, срабатывание механизмов и пр.

Масса станции после выведения ее на траекторию полета к Луне составляла 1583 килограмма.

Автоматическая лунная станция (рис. 18) представляла собой герметичный контейнер сферической формы.

Внутри корпуса станции, состоящего из двух полушфер, установлена рама с приемо-передающей аппаратурой, приборами командной радиолинии, электронными программно-временными устройствами, химическими батареями, приборами автоматики, научной и телеметрической аппаратурой. В нижней полусфере закреплены агре-

гаты активной системы терморегулирования, а в верхней — телевизионная система и счетчики космической радиации. Телевизионная система обеспечивала возможность кругового обзора с непосредственной передачей изображений лунного ландшафта на Землю без их предварительного фотографирования.

Снаружи на корпусе установлены четыре лепестковые антенны 1, четыре штыревые антенны 2 с подвешенными на них эталонами яркости 3 и три двугранных зеркала 4. Лепестковые и штыревые антенны и зеркала при посадке находятся в сложенном положении. Двугранные зеркала позволяют передавать стереоскопическое изображение шести узких участков лунной поверхности, а эталоны яркости, имеющие различную окраску с известными коэффициентами отражения, предназначены для оценки альбедо лунных пород в районе посадки и определения направления лунной вертикали.

АЛС вместе с посадочными устройствами закрепляется на отсеке системы управления станции.

Центр тяжести АЛС расположен ближе к основанию, и поэтому после посадки станция принимает заданное положение на лунной поверхности (лепестками вверх). Лепестки АЛС защищают телевизионную камеру, штыревые антенны, механизмы и зеркала от случайного повреждения и запыления во время посадки, а также являются приемо-передающими антеннами во время полета и после посадки до раскрытия лепестков.

После посадки АЛС на лунную поверхность по команде от бортового программно-временного механизма или от часового механизма срабатывает пирозатвор открытия лепестков и раскрываются четыре штыревые приемные антенны; с этого момента лепестки выполняют роль лишь передающих антенн.

Выбранная схема размещения и использования антенн обеспечивает связь с АЛС после посадки как в случае, если по каким-либо причинам не раскроются лепестки, так и в случае, если станция не примет нормального положения на Луне.

Температурный режим лунной станции после посадки обеспечивается теплоизоляцией и активной системой терморегулирования: первая максимально изолирует станцию от внешних тепловых потоков, а вторая обеспечивает отвод выделяемого приборами тепла.

Для обеспечения теплового режима телевизионной камеры, выступающей за обводы герметичного корпуса станции, ее наружная поверхность позолочена, а на верхней части установлен теплоизолирующий экран.

Масса АЛС составляла 100 килограммов. Высота АЛС с антеннами 112 сантиметров, диаметр описанного круга после раскрытия лепестков 160 сантиметров.

Полет автоматической станции «Луна-9»

Общая схема полета станции «Луна-9» состояла из нескольких основных этапов:

- на первом этапе полета с помощью ракеты-носителя станция «Луна-9» с разгонным блоком выводится на орбиту спутника Земли;

- на втором этапе полета осуществляются запуск разгонного блока и выведение автоматической станции на траекторию полета к Луне;

- третий этап полета — коррекция траектории движения, обеспечивающая встречу автоматической станции с поверхностью Луны в заданном районе;

- четвертый этап полета — торможение и мягкая посадка на поверхность Луны.

Стартовав 31 января 1966 года в 14 часов 41 минуту 37 секунд, станция с разгонным блоком была выведена на околоземную орбиту. После включения двигателя разгонного блока, когда была достигнута необходимая скорость, двигатель выключился, станция отделилась от разгонного блока и легла на траекторию движения к Луне.

Данные траекторных измерений, полученные с помощью радиотехнических средств и обработанные в вычислительном центре, показали, что если не будет осуществлена коррекция, то станция пройдет мимо Луны примерно в 10 000 километров от ее центра.

В соответствии с полученным прогнозом фактического движения станции наземным командно-измерительным комплексом были подготовлены исходные данные для коррекции.

Сеанс коррекции был проведен 1 февраля; он начался по радиокоманде с Земли и производился в течение около двух часов автоматически — по программе, предусмотренной автоматикой. В результате проведенной коррекции скорость движения автоматической станции изме-

нилась в требуемом направлении на 71,2 метра в секунду, а скорректированная траектория стала проходить через расчетную точку прилунения.

3 февраля в 19 часов 28 минут в момент, соответствующий высоте около 8300 километров от центра Луны, с помощью оптических средств продольная ось станции была сориентирована по направлению лунной вертикали, при этом ее тормозной двигатель был направлен соплом в сторону Луны. С помощью оптических датчиков слежения за Солнцем и Землей и гироскопической системы это направление сохранялось примерно в течение часа — до срабатывания тормозной двигательной установки.

Когда до лунной поверхности оставалось около 75 километров (за 48 секунд до посадки), по команде автономного радиовысотомера от станции отделились ставшие ненужными два отсека с аппаратурой и включилась тормозная установка. Перед этим включением двигателя амортизационные баллоны мягкой посадки, уложенные вокруг станции, были надуты сжатым газом.

Система управления посадкой и двигательная установка обеспечили гашение скорости от 2600 метров в секунду до нескольких метров в секунду на малой высоте над поверхностью Луны. Перед моментом прилунения станция была отделена от двигательной установки и достигла лунной поверхности, при этом энергия удара была погашена амортизационными баллонами, которые перед посадкой были надуты и после прилунения сброшены.

3 февраля в 21 час 45 минут 30 секунд по московскому времени советская автоматическая станция «Луна-9» совершила мягкую посадку на поверхность Луны на западном краю Океана Бурь в точке с координатами: 7 градусов 8 минут северной широты, 64 градуса 32 минуты западной долготы. Через 4 минуты 10 секунд после посадки раскрылись антенны, и начался первый в истории космонавтики сеанс радиопередачи с поверхности Луны. Однако плохая освещенность местности в момент посадки (высота Солнца над горизонтом ~3 градуса) обусловила получение высококачественных снимков лунного рельефа (три панорамы) лишь 4 и 5 февраля — когда Солнце поднялось над лунным горизонтом выше 7 градусов. Несколько фрагментов лунной поверхности было передано на Землю 6 февраля при высоте Солнца 42 градуса. Передача одной панорамы длилась 100 минут. Все-

го со станцией было проведено семь сеансов радиосвязи общей продолжительностью более 8 часов.

Мягкая посадка на Луну научной станции «Луна-9» и передача ею на Землю уникальных панорамных изображений микрорельефа лунной поверхности открыли пути для нового этапа в изучении космоса. Была доказана возможность непосредственного изучения Луны автоматическими аппаратами.

Автоматическая станция «Луна-13»

Запуск станции «Луна-13» был осуществлен для продолжения исследований, начатых АМС «Луна-9».

Автоматическая станция «Луна-13» по конструкции и массе была близка к станции «Луна-9»: она имела такую же телевизионную систему для передачи изображений лунных панорам, но дополнительно на ней были установлены приборы для непосредственного исследования лунного грунта и прочая научная аппаратура (см. рис. 53).

Для исследования механических свойств лунного грунта станция была оснащена:

- механическим грунтомером-пенетрометром, позволяющим определить механические свойства наружного слоя лунного вещества;

- радиационным плотномером для определения плотности наружного слоя лунного грунта;

- динамографом, регистрирующим длительность и величину динамической перегрузки, возникающей при посадке станции на поверхность Луны.

Для проведения других научных исследований использовалась следующая аппаратура:

- приборы для измерения теплового потока от лунной поверхности;

- газоразрядные счетчики для регистрации корпускулярного излучения.

Механический грунтомер и радиационный плотномер были смонтированы на механизмах выноса приборов, закрепленных на наружном корпусе станции. Механизмы выноса позволяли установить эти приборы на поверхности Луны на расстоянии полутора метров от АЛС.

Станция стартовала 21 декабря 1966 года. Путь к Луне проходил по траектории, аналогичной траектории станции «Луна-9».

24 декабря 1966 года в 21 час 01 минуту станция «Луна-13» совершила мягкую посадку на лунную поверхность вблизи западной окраины Океана Бурь в 400 километрах от места прилунения станции «Луна-9». Координаты точки прилунения: 18 градусов 52 минуты северной широты и 62 градуса 04 минуты западной долготы. Место посадки станции «Луна-13» расположено на обширной «морской» равнине, тогда как станция «Луна-9» опустилась в непосредственной близости от окраины материкового щита.

После прилунения и раскрытия лепестков антенн и механизмов выноса научных приборов был начат фототелевизионный сеанс связи. Таких сеансов за время работы станции было проведено пять.

Панорамы лунной поверхности, переданные на Землю, были получены при высоте Солнца 6, 19 и 32 градуса. Панорамы, переданные станцией «Луна-9», отличаются от панорам, полученных «Луной-13», условиями освещенности в связи с прямо противоположным наклоном осей телевизионных камер обеих станций относительно Солнца. Ось камеры «Луна-9» была наклонена в восточном направлении, и поэтому наиболее близкие детали просматривались телеобъективом «против Солнца» в условиях очень контрастной освещенности. Ось же станции «Луна-13» была наклонена на запад («от Солнца»), в результате чего ряд ближайших к объективу камеры деталей был перекрыт тенью самой станции. Отдаленные части западной части панорам, переданных станцией «Луна-13», находились в поле зрения объектива телекамеры при переднем освещении. Благодаря этому на панораме хорошо просматривается большое количество деталей.

Программа исследований с помощью АЛС «Луна-13» 31 декабря была успешно завершена. Были получены уникальные данные о физико-механических свойствах лунного грунта и телевизионные изображения панорамы лунной поверхности при различных высотах Солнца.

**ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЛУНЫ («ЛУНА-10»,
«ЛУНА-11», «ЛУНА-12», «ЛУНА-14» И «ЛУНА-19»)**

Для глобального изучения Луны и окололунного пространства необходимы были новые средства исследования — ими явились искусственные спутники Луны.

Автоматическая станция «Луна-10» состоит из двух основных частей: двигательной установки с приборными отсеками и искусственного спутника Луны (рис. 19). После выхода станции на окололунную орбиту искусственный спутник отделяется от двигательной установки и ведет научные исследования.

Двигательная установка автоматической станции состоит из жидкостно-реактивного двигателя, баков с топливом, системы подачи топлива и органов управления, необходимых для стабилизации аппарата в полете при работе двигателя.

С помощью двигательной установки производятся коррекция траектории движения и торможение для перехода на окололунную орбиту.

В приборных отсеках находится комплекс аппаратуры системы управления полетом и системы астроориентации, состоящей из гироскопических приборов, электронно-оптических и программно-временных устройств. Здесь же находятся источники питания, аппаратура телеметрического контроля и микродвигатели системы ориентации. Система управления (вместе с исполнительными органами) обеспечивает стабилизацию автоматической станции вокруг центра масс, выдачу команд на включение и выключение двигателей. Стабилизация станции осуществляется с помощью реактивных микродвигателей. Масса автоматической станции «Луна-10» после выведения на траекторию полета к Луне составляла 1600 килограммов.

Искусственный спутник Луны представляет собой герметический контейнер массой 245 килограммов, оборудованный

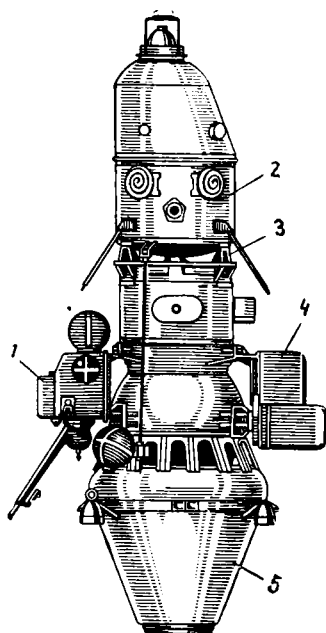


Рис. 19. Автоматическая станция «Луна-10»:

1 — аппаратура радиосистемы измерений; 2 — искусственный спутник Луны (ИСЛ); 3 — система отделения ИСЛ; 4 — аппаратура системы астроориентации; 5 — двигательная установка

дованный следующими системами и аппаратурой: телеметрической системой, радиоаппаратурой, программно-временными устройствами, системой терморегулирования, антенными устройствами, источниками питания, научной аппаратурой для исследования Луны и окололунного пространства.

Из научной аппаратуры в контейнере установлены: радиометр для регистрации мягкой и жесткой корпускулярной радиации около Луны, гамма-спектрометр для исследования излучения лунной поверхности, электронная часть приборов, предназначенных для изучения магнитного поля, метеорных частиц и теплового излучения.

На корпусе спутника расположены антенны и часть научных приборов: блок датчиков магнитометра, ловушки метеорных частиц, блок тепловых датчиков, прибор для изучения солнечной плазмы. Блок датчиков магнитометра установлен на выносной штанге длиной около полутора метров с целью удаления прибора от магнитных и токонесущих элементов спутника.

В системе терморегулирования используется вентилятор, который создает циркуляцию газа внутри контейнера и таким образом обеспечивает достаточно интенсивный отбор тепла, выделяемого приборами, к стенкам контейнера. Характеристики покрытия наружной поверхности контейнера выбраны так, что все избыточное тепло излучается в окружающее пространство — чем и достигается поддержание заданного теплового режима в контейнере.

Создание спутника Луны является проблемой, требующей решения ряда трудных баллистических и технических задач.

Траектория полета станции «Луна-10» — это сложная пространственная кривая, которую станция выписывает в космическом пространстве, подчиняясь законам тяготения и управляющим усилиям двигательной установки.

В вычислительных центрах задолго до старта ракеты к Луне была проведена подготовительная работа по выбору такой траектории полета, при которой учитывались бы положительный опыт предыдущих запусков к Луне, специфика функционирования лунного спутника и удобство радиосвязи с Землей.

Начало движения автоматической станции «Луна-10» принципиально ничем не отличалось от движения других

станций, направленных ранее к Луне. С помощью многоступенчатой ракеты-носителя станция с разгонным блоком 31 марта 1966 года была выведена на орбиту искусственного спутника Земли. Затем был включен разгонный блок, и автоматическая станция была переведена на траекторию движения к Луне.

При старте с орбиты искусственного спутника Земли станция «Луна-10» имела начальную скорость около 10,9 километра в секунду; длительность полета до Луны, соответствующая этой скорости, составляла трое с половиной суток.

В отличие от траектории станции «Луна-9», осуществившей мягкую посадку на Луну, траектория станции «Луна-10» должна была проходить не через некоторую точку лунной поверхности, а через определенную точку пространства, удаленную от края Луны приблизительно на 1000 километров.

На расстоянии примерно 240 тысяч километров от Земли была проведена коррекция траектории, чтобы обеспечить прохождение станции через указанную точку окололунного пространства, где должно было быть проведено торможение для перехода станции на орбиту спутника Луны.

Вблизи Луны скорость полета станции составила 2,5 километра в секунду; такая скорость является гиперболической относительно Луны и, если ее не уменьшить, станция выйдет из сферы действия Луны и превратится в искусственный спутник Земли с очень вытянутой орбитой. Чтобы «Луна-10» стала спутником Луны, необходимо было уменьшить скорость примерно до 1,76 километра в секунду; при такой скорости сила поля тяготения Луны оказывается достаточной, чтобы удерживать станцию на орбите спутника.

Поэтому заранее, примерно на расстоянии 8000 километров от поверхности Луны, был проведен сеанс астроориентации, и станция была сориентирована так, чтобы в момент торможения сопло двигателя было направлено в сторону, противоположную движению. Затем, после работы двигательной установки в течение заданного промежутка времени, скорость станции снизилась с 2,5 до 1,6 километра в секунду. Это и обеспечило 3 апреля переход станции на орбиту искусственного спутника Луны со следующими параметрами:

- расстояние в апоселении (максимальное расстояние от поверхности Луны) — 1017 километров;
- расстояние в периселении (минимальное расстояние от поверхности Луны) — 350 километров;
- наклонение орбиты к плоскости лунного экватора 71 градус 54 минуты;
- период обращения спутника 2 часа 58 минут 15 секунд.

Параметры орбиты были заранее выбраны так, чтобы обеспечить нормальный тепловой режим приборов и устройств, а также благоприятные возможности изучения окололунного пространства на разном удалении от поверхности Луны.

Через 20 секунд после выключения тормозного двигателя система управления выдала сигнал на отделение искусственного спутника Луны от двигательной установки и отсеков системы управления.

После отделения от двигательной установки станция стала небесным телом, движение которого определяется законами небесной механики.

Спутник активно существовал 56 суток (до 30 мая). За это время он совершил 460 витков вокруг Луны, и на 30 мая его окололунная орбита имела следующие параметры:

- расстояние от поверхности Луны в апоселении — 985,3 километра и в периселении — 378,7 километра;
- наклонение орбиты к плоскости лунного экватора — 72 градуса 2 минуты;
- период обращения спутника — 2 часа 58 минут 3 секунды.

Анализ возмущений в движении станции «Луна-10» по эволюции ее орбиты позволил провести предварительные определения параметров гравитационного поля Луны.

За время полета спутника было проведено 219 сеансов связи, 74 сеанса траекторных измерений, 17 длительных сеансов с измерением радиационных условий, свойств окололунной плазмы, концентрации микрометеорных частиц, теплового излучения Луны; получено 9 спектров гамма-излучения лунной поверхности, 10 магнитографических разрезов окололунного пространства.

Второй искусственный спутник Луны — станция «Луна-11» — был запущен с целью отработки методики выве-

дения искусственного спутника Луны на орбиту, близкую к экваториальной, уточнения гравитационного поля Луны и проведения исследований Луны и окололунного пространства.

Конструкция и полет станций «Луна-11», «Луна-12» и «Луна-14» были аналогичны конструкции и полету станции «Луна-10».

Запуск станции «Луна-11» в сторону Луны был произведен 24 августа 1966 года. После выведения на траекторию полета к Луне масса станции составляла 1640 килограммов.

27 августа спутник вышел на окололунную орбиту, имевшую следующие параметры:

- расстояние от поверхности Луны в периселении — 163,5 километра и в апоселении — 1193,6 километра;

- период обращения спутника вокруг Луны — 2 часа 57 минут 39 секунд;

- угол наклона орбиты спутника к плоскости лунного экватора — 10,7 градуса.

Спутник активно существовал 38 суток (до 1 октября 1966 года) и совершил 277 оборотов вокруг Луны. За это время состоялось 162 сеанса связи. Научная аппаратура, установленная на спутнике «Луна-11», позволила продолжить исследования, начатые станцией «Луна-10».

Станция «Луна-12», запущенная 22 октября 1966 года, кроме продолжения научных исследований в окололунном пространстве, должна была получить и передать на Землю фотоснимки отдельных участков лунной поверхности, сделанные со сравнительно близкого расстояния.

На борту станции были установлены научная аппаратура (такая же, как и на станции «Луна-11») и фототелевизионное устройство.

Масса автоматической станции на орбите искусственного спутника Луны составляла 1136 килограммов.

Спутник вышел на окололунную орбиту 25 октября и активно существовал 85 суток (до 19 января). За это время спутник совершил 602 витка вокруг Луны, пролетев в окололунном пространстве 9 800 000 километров; было проведено 302 сеанса радиосвязи.

Окололунная орбита на 25 октября имела следующие параметры:

- расстояние от поверхности Луны в периселении — 100 километров и в апоселении — 1740 километров;

- период обращения — 3 часа 25 минут;
- угол наклона орбиты к плоскости лунного экватора — 36,6 градуса.

На фотографиях получены крупномасштабные изображения фрагментов лунной поверхности, хорошо просматриваются отдельные объекты размером до 5 метров.

Изучались также характеристики гравитационного поля Луны по эволюции орбиты станции, исследовались радиационные условия в окололунном пространстве и распределение микрометеоров. Продолжались начатые на станции «Луна-11» радиоастрономические наблюдения в недоступных с Земли диапазонах длинных и средних радиоволн (поглощаемых земной атмосферой).

7 апреля 1968 года в 13 часов 09 минут был запущен очередной советский искусственный спутник Луны — автоматическая станция «Луна-14». 10 апреля, через 3,5 суток полета, по команде с Земли была включена система автоматического торможения станции для ее перевода на селеноцентрическую орбиту. Предварительно, по данным обработки траекторных измерений, были заложены соответствующие параметры в программу торможения. К концу работы двигательной установки скорость станции была уменьшена в пределах, необходимых для ее перевода на орбиту спутника Луны, и был осуществлен перевод станции на эту орбиту.

Проводились систематические гравиметрические и другие научные исследования, предусмотренные программой запуска станции «Луна-14», при этом ее орбита характеризовалась следующими минимальными и максимальными расстояниями от поверхности Луны: 160 и 270 километров соответственно.

Научная автоматическая станция «Луна-19» была запущена 28 сентября 1971 года для продолжения научных исследований Луны и окололунного пространства с орбиты спутника Луны.

Старт к Луне был произведен с орбиты искусственного спутника Земли; 29 сентября и 1 октября были осуществлены коррекции траектории ее движения.

При подлете к Луне был проведен маневр торможения станции, в результате которого она вышла на круговую селеноцентрическую орбиту со следующими параметрами:

- высота над поверхностью Луны — 140 километров;

— наклонение орбиты к плоскости лунного экватора — 40 градусов 35 минут;

— период обращения вокруг Луны — 2 часа 01 минута 45 секунд.

6 октября был осуществлен перевод станции на новую окололунную орбиту с параметрами:

— минимальная высота над лунной поверхностью — 127 километров;

— максимальная высота над лунной поверхностью — 135 километров;

— период обращения вокруг Луны — 2 часа 01 минута.

В соответствии с программой полета 26 и 28 ноября была произведена еще одна коррекция орбиты станции, в результате которой станция «Луна-19» продолжала движение по селеноцентрической орбите, характеризующейся следующими данными:

— минимальная высота над поверхностью Луны — 77 километров;

— максимальная высота над поверхностью Луны — 385 километров;

— наклонение к плоскости лунного экватора — 40 градусов 41 минута;

— период обращения вокруг Луны — 2 часа 11 минут.

Измерения траектории движения станции, передача на Землю панорам лунной поверхности и исследование параметров окололунного пространства проводились систематически при полете станции «Луна-19» по трем указанным орбитам.

ОБЛЕТ ЛУНЫ С ВОЗВРАЩЕНИЕМ АВТОМАТИЧЕСКИХ СТАНЦИЙ НА ЗЕМЛЮ [«ЗОНД-5», «ЗОНД-6», «ЗОНД-7» И «ЗОНД-8»]

Станции типа «Зонд» решили качественно новую проблему, поставленную перед практической космонавтикой: возвращение на Землю космического аппарата, входящего в атмосферу со второй космической скоростью, т. е. возвращающегося из межпланетного рейса (в частности, из окололунного космического пространства или с поверхности Луны).

При этом появилась возможность доставить на Землю для непосредственного изучения в земных лабораториях

фотопленку и другие материалы исследований, проведенных в космическом пространстве.

Автоматические станции «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8» доставили на Землю большое количество высококачественных фотоснимков Луны, выполненных на цветной и черно-белой пленке.

По устройству, конструкции и оборудованию станции «Зонд-5», «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8» аналогичны и состоят из двух основных частей — приборного отсека и возвращаемого аппарата.

В приборном отсеке размещены системы управления, стабилизации и ориентации, радиотелеметрии, терморегулирования, энергоснабжения, а также двигательная установка. Снаружи отсека помещаются оптические датчики системы ориентации, солнечные батареи и антенны.

В спускаемом аппарате установлены научное оборудование, аппаратура радиосвязи, системы терморегулирования и энергоснабжения. Наружная поверхность корпуса спускаемого аппарата имеет теплозащитное покрытие сложной конструкции, состоящей из различных жаропрочных и теплоизоляционных материалов.

Для измерения потоков заряженных частиц (а следовательно, и доз радиации) установлены следующие детекторы: фотодозиметры, наборы ядерных эмульсий и термолюминесцентные дозиметры.

Фотоустановки этих станций существенно более совершенны по сравнению с фотоустановкой станций «Зонд-3». Так, например, информативность снимка станции «Зонд-6» характеризуется 134 миллионами элементов (станции «Зонд-3» — 1,21 миллиона элементов), размер кадров при съемке равен 13×18 сантиметров.

Для проведения различных научных исследований в межпланетном пространстве на станции предусмотрена возможность установки сменного оборудования (детекторов для регистрации метеорных частиц, оборудования для размещения подопытных животных и растений и т. д.).

Станция «Зонд-5» была запущена 15 сентября 1968 года, 18 сентября она облетела Луну (с минимальным расстоянием от ее поверхности — 1950 километров) и начала приближаться к Земле. При подлете станции к Земле была осуществлена коррекция траектории ее движения для обеспечения необходимого направления и высоты входа в земную атмосферу.

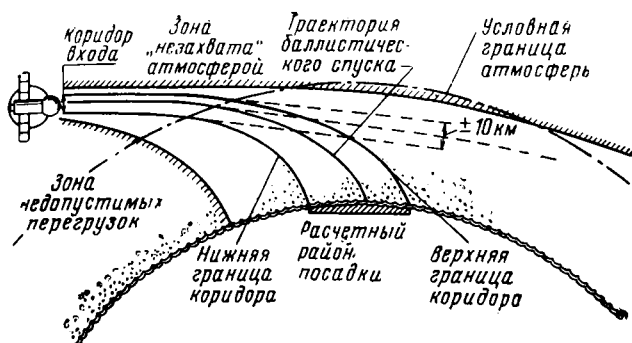


Рис. 20. Схема баллистического входа станции «Зонд-5» в атмосферу Земли

Спуск в атмосфере Земли проходил по баллистической траектории с начальной скоростью около 11 километров в секунду; при этом для обеспечения оптимальных условий входа аппарата расчетная ширина «коридора входа» не должна была превышать 10—13 километров (схема входа показана на рис. 20). Аппарат при выходе за пределы расчетного коридора входа либо пройдет мимо Земли (т. е. попадет в зону «незахвата» атмосферой), либо испытает недопустимо большие перегрузки (при слишком резком торможении в плотных слоях атмосферы).

В конце участка аэродинамического торможения, при скорости около 200 метров в секунду (высота — около 7 километров) сработала парашютная система, обеспечивающая мягкую посадку станции в заданном районе. Таким образом была решена новая сложная научно-техническая задача: возвращение на Землю (со второй космической скоростью) автоматического аппарата из района Луны.

Станция доставила на Землю для непосредственного изучения отснятую фотопленку и другие научные материалы. В частности, были получены снимки Земли (с расстояния около 100 тысяч километров), позволяющие исследовать облачный покров нашей планеты одновременно для всего полушария.

Кроме того, станция «Зонд-5» (так же как и «Зонд-6») впервые «вывезла» через радиационные пояса Земли в

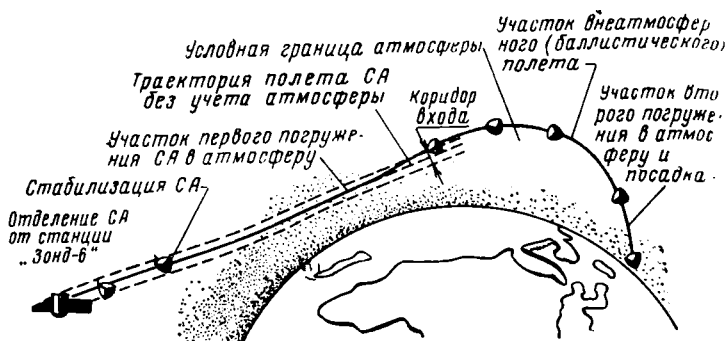


Рис. 21. Схема входа станции «Зонд-6» в атмосферу Земли (с использованием аэродинамической подъемной силы)

космос живые существа и растения и предоставила ученым возможность их последующего изучения в земных лабораториях.

Автоматическая станция «Зонд-6» была запущена на трассу облета Луны 10 ноября 1968 года.

После проведения коррекции станция обогнула Луну (с минимальным расстоянием от ее поверхности, равным 242 километрам), после чего полет продолжался уже по направлению к Земле.

Для обеспечения заданного «коридора входа» в атмосферу Земли 16 и 17 ноября были проведены коррекции ее движения.

И, наконец, 17 ноября 1968 года впервые был осуществлен управляемый спуск на Землю с использованием аэродинамического сопротивления и подъемной силы спускаемого аппарата при начальной скорости входа в земную атмосферу, равной 11 километрам в секунду.

Схема маневрирования спускаемого аппарата (СА) станции «Зонд-6» при посадке в заданный район поверхности Земли приведена на рис. 21. На участке аэродинамического торможения был использован прием двукратного погружения в земную атмосферу: при первом погружении скорость спускаемого аппарата была снижена до 8 километров в секунду, при втором — до 200 метров в секунду.

На заключительном этапе спуска (с высоты 7,5 километра) автоматически была введена в действие парашют-

ная система, обеспечивающая мягкое приземление спускаемого аппарата.

Спускаемый аппарат станции «Зонд-6» привез ученым богатую информацию; в частности, кроме фотоснимков Луны и Земли, был получен обширный материал по распределению микрометеоритных тел в околоземном и окололунном пространстве; особый интерес представляют данные о концентрации микрометеоритов в метеорном потоке «Леонид», через который пролегал путь станции «Зонд-6».

Станция «Зонд-7» стартовала по направлению к Луне 8 августа 1969 года, через три дня — согласно программе полета — она совершила облет Луны и 14 августа 1969 года спускаемый аппарат станции произвел мягкую посадку (с использованием аэродинамического качества спускаемого аппарата) в заданном районе территории Советского Союза.

При полете станции «Зонд-7» были проведены три сеанса фотографирования на цветную пленку и систематические измерения физических характеристик Луны, космического и окололунного пространства.

В первом сеансе фотографирования была заснята Земля на удалении 70 тысяч километров. Второй и третий сеансы фотографирования выполнялись 11 августа на участке облета Луны с расстояний 10 000 и 2000 километров от ее поверхности; были соответственно засняты Луна, включая ее обратную сторону, и Земля.

Станция «Зонд-8» была запущена на траекторию облета Луны 20 октября 1970 года. На расстоянии 65 тысяч километров от Земли состоялся сеанс ее фотографирования.

24 октября станция совершила облет Луны на минимальном расстоянии 1120 километров от ее поверхности; при этом производились исследования физических параметров окололунного пространства и фотографирование лунной поверхности на цветную и черно-белую пленку.

Спускаемый аппарат, доставивший материалы научных измерений, совершил посадку на Землю 27 октября 1970 года.

В целях отработки одного из возможных вариантов возвращения космических аппаратов на Землю вход спускаемого аппарата станции «Зонд-8» производился со стороны северного полушария, при этом район посадки был расположен в акватории Индийского океана.

Особенность посадки с использованием аэродинамического качества спускаемого аппарата (по сравнению с баллистическим спуском) состоит в том, что путь спускаемого аппарата с момента входа в плотные участки атмосферы и до приземления очень велик — около 9 тысяч километров. Посадка спускаемых аппаратов станций «Зонд-6» и «Зонд-7» производилась на территорию Советского Союза, а вход в атмосферу Земли — в южном полушарии; станция «Зонд-8» позволила проверить и другой вариант посадки — с началом торможения над нашей страной.

Полеты автоматических станций типа «Зонд» дали возможность получить новые сведения о Луне и окололунном пространстве; кроме того, были отработаны доставка материалов измерений, произведенных в межпланетном пространстве, в земные лаборатории и посадка на Землю при скорости подхода к ней космического аппарата, равной 11 километрам в секунду.

КОМПЛЕКСНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ

[«ЛУНА-15», «ЛУНА-16», «ЛУНА-17», «ЛУНА-20»]

К десятилетию изучения Луны советская космическая техника в процессе совершенствования подошла к этапу, когда стало возможным создание более мощных ракет нового поколения и качественно новых автоматических научных станций.

Такие станции сочетают в себе комплекс автоматических устройств, позволяющих исследовать Луну и окололунное пространство как с орбиты искусственного спутника Луны, так и непосредственно с ее поверхности. Кроме того, эти автоматы обеспечивают изучение самых различных участков лунной поверхности и даже доставку образцов лунного вещества для исследования в земных лабораториях.

С целью отработки новых бортовых систем, а также продолжения исследований Луны и окололунного пространства 13 июля 1969 года была запущена автоматическая станция «Луна-15». 14 июля была проведена коррекция траектории, а 17 июля станция была выведена на околоземную орбиту. Полет по трассе продолжался 102 часа. За это время было проведено 28 сеансов радиоизмере-

ния траектории, контроль работы бортовых систем, научные исследования.

Станция «Луна-15» в отличие от станций «Луна-9» и «Луна-13», совершивших прямую посадку на Луну, осуществила посадку на поверхность Луны с орбиты ИСЛ, при этом станция «Луна-15» могла достичь поверхности Луны в любом ее районе, достаточно было для этого произвести соответствующее изменение селеноцентрической орбиты.

19 и 20 июля были проведены две коррекции траектории орбиты, при этом были испытаны новые навигационные системы.

После проведения коррекций параметры орбиты были следующими:

	19 июля	20 июля
Расстояние в апоселении	221 километр	110 километров
Расстояние в периселении	95 километров	16 километров
Период обращения	2 часа 03,5 минуты	1 час 54 минуты
Наклонение орбиты	126 градусов	127 градусов

21 июля была включена тормозная двигательная установка; станция сошла с орбиты и достигла поверхности Луны в заданном районе. За время полета по орбите спутника Луны станцией проведен ряд научных исследований и получены важные опытные данные о работе конструкции и бортовых систем.

Автоматическая научная станция «Луна-16», так же как и станция «Луна-20», доставившая на Землю образцы лунного грунта, представляет собой новый сложный космический аппарат с высокой степенью автоматизации.

Станция состоит из двух самостоятельных ракетных блоков — посадочной ступени с грунтозаборным устройством и космической ракеты «Луна — Земля» с возвращаемым аппаратом (рис. 22).

Масса станции при посадке на Луну равна 1880 килограммам.

В состав посадочной ступени входят: двигательная установка, приборные отсеки, амортизационные опоры, антенны, исполнительные органы систем стабилизации и ориентации.

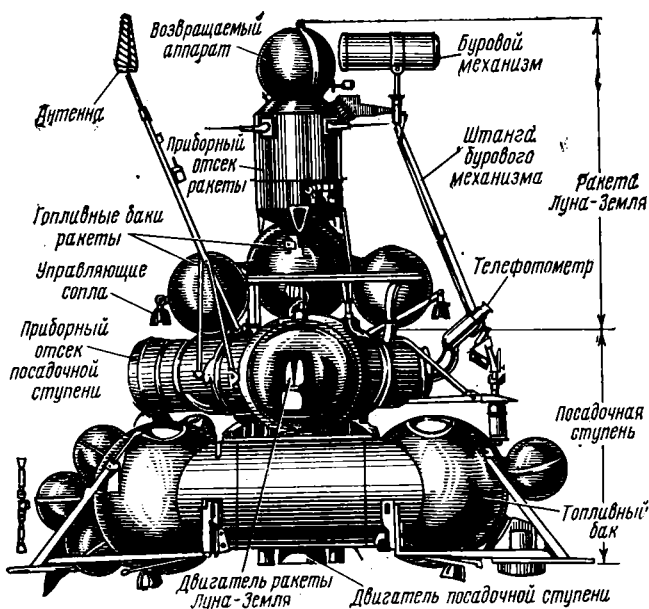


Рис. 22. Автоматическая станция «Луна-16»

Двигательная установка включает в себя жидкостный ракетный двигатель для проведения коррекций и торможения, баки с компонентами топлива и два двигателя малой тяги, включаемые на заключительном этапе посадки.

В приборных отсеках размещены приборы систем управления, стабилизации, ориентации, приемо-передающая радиоаппаратура, программно-временное устройство, химические аккумуляторные батареи, агрегаты системы терморегулирования, оборудование для измерения высоты и скорости при посадке, научные приборы и телефотометры, передающие информацию о районе бурения.

При старте с Луны космической ракеты посадочная ступень служит для нее стартовым устройством.

Ракета «Луна — Земля» имеет в своем составе жидкостно-реактивный двигатель со сферическими баками для компонентов топлива, приборный отсек, четыре штыревые антенны; к приборному отсеку стяжными лентами крепится возвращаемый аппарат.

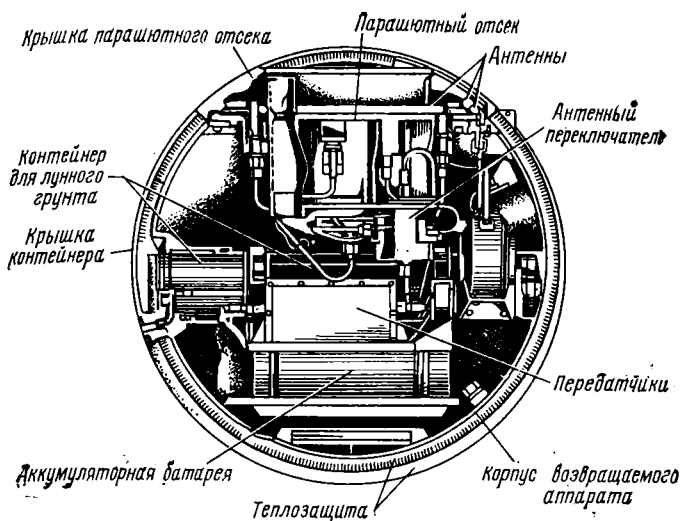


Рис. 23. Возвращаемый аппарат станции «Луна-16»

В приборном отсеке ракеты установлены приборы системы управления, радиокомплекс, аккумуляторные батареи и бортовая автоматика.

Возвращаемый аппарат (рис. 23) представляет собой герметичный металлический шар, наружная поверхность которого имеет теплозащитное покрытие, обеспечивающее сохранение в аппарате заданных температур на участке аэродинамического торможения при входе в атмосферу Земли.

Объем возвращаемого аппарата разделен на три отсека: приборный, парашютный и цилиндрический контейнер для образцов лунного грунта. В приборном отсеке размещены радиопеленгационные передатчики, аккумуляторные батареи, элементы автоматики и программное устройство. В парашютном отсеке находятся (в сложенном виде) парашют, четыре антенны пеленгационных передатчиков и два эластичных баллона, используемых после посадки для фиксации положения возвращаемого аппарата.

Принципиально новым агрегатом космического аппарата является грунтозаборное устройство, созданное впервые для станции «Луна-16». Его задача — бурение

лунного грунта различной плотности (от пылевидного до гранитного) в условиях вакуума, транспортировка образцов грунта в контейнер возвращаемого аппарата (с сохранением расположения образцов по глубине) и герметизация контейнера с грунтом.

Для решения этой задачи создано грунтозаборное устройство, состоящее из бурового станка с системой электрических приводов и бурового снаряда, штанги и приводов, перемещающих его в вертикальной и горизонтальной плоскостях. Грунтозаборное устройство установлено на посадочной ступени.

Полет научной станции «Луна-16» проходил следующим образом. Станция была выведена на промежуточную орбиту спутника Земли и стартовала с этой орбиты в направлении к Луне 12 сентября 1970 года. Для вывода на орбиту искусственного спутника Земли была использована более мощная ракета-носитель (в сравнении с применявшейся для станций «Луна-9» и «Луна-13»).

13 сентября была проведена коррекция траектории движения включением двигателя посадочной ступени; последующие траекторные измерения показали, что станция движется к заданной точке окололунного пространства с высокой точностью, — в связи с чем была отменена (ранее запланированная) вторая коррекция.

При подлете станции к Луне была проведена подготовка бортовых систем и наземного комплекса к сеансу торможения. По команде системы управления 17 сентября в 2 часа 38 минут был включен двигатель, в результате работы которого станция перешла на круговую орбиту спутника Луны с удалением от ее поверхности на 110 километров.

В последующие трое суток было произведено еще два маневра для формирования предпосадочной орбиты, необходимой для создания оптимальных условий точной посадки в заданный район лунной поверхности.

После первого маневра орбита была изменена на эллиптическую с наибольшим и наименьшим расстоянием от лунной поверхности — 110 и 15 километров соответственно; в результате второго маневра плоскость орбиты была несколько повернута в пространстве до нужного положения, а высоты орбиты составили 106 километров в апоселении и 15 километров в периселении.

20 сентября с 6 часов 6 минут до 8 часов 12 минут были проведены операции ориентации и программных разворотов станции, необходимые до момента включения двигателя, выполняющего торможение непосредственно перед посадкой.

Протяженность трасы полета от точки схода с орбиты до места прилунения составила 250 километров.

На всем участке снижения положение станции строго стабилизировалось. Высота и вертикальная скорость спуска находились под непрерывным контролем бортового доплеровского измерителя скорости и высотомера. Все операции при спуске осуществлялись автоматическими устройствами станции без вмешательства Земли.

По достижении заданных значений высоты над лунной поверхностью и вертикальной составляющей скорости снижения еще раз был включен двигатель посадочной ступени, а на высоте 20 метров вместо него начали работать двигатели малой тяги.

Научная станция «Луна-16» мягко прилунилась 20 сентября 1970 года в 8 час 18 минут в районе Моря Изобилия в точке с координатами $0^{\circ}41'$ южной широты и $56^{\circ}18'$ восточной долготы с отклонением от расчетной точки посадки всего лишь в 1,5 километра.

Тотчас после посадки был проведен телеметрический сеанс связи, подтвердивший нормальное состояние всех систем станции.

Затем по командам с Земли грунтозаборное устройство привело буровой станок в контакт с лунной поверхностью, углубило бур на 350 миллиметров — взяв образцы лунного грунта по всей этой глубине, — заложило бур с грунтом внутрь контейнера возвращаемого аппарата и загерметизировало его приемное отверстие. Одновременно с забором грунта контролировалась скорость углубления бура в грунт и определялась плотность исследуемой лунной породы.

Наряду с решением главной задачи станции «Луна-16» — взятием проб лунного грунта — производились также замеры температуры ряда элементов станции и уровня радиации на поверхности Луны.

Завершающим этапом функционирования станции на Луне являлась подготовка космической ракеты «Луна — Земля» к обратному старту, который состоялся 21 сентября в 10 часов 43 минуты. Система управления ракетой и ее

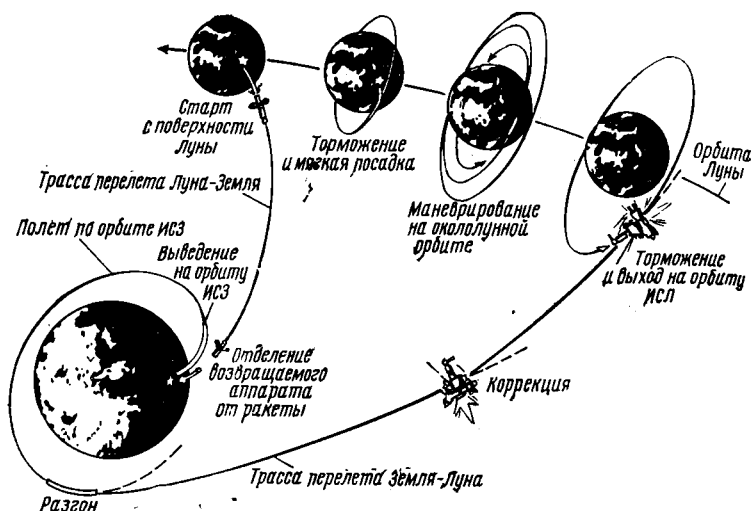


Рис. 24. Схема полета автоматической станции «Луна-16»

двигатель обеспечили получение необходимой скорости взлета как по величине (2708 метров в секунду), так и по направлению (вертикально вверх).

Решена еще одна сложная задача — автоматический аппарат стартовал к Земле с другого небесного тела!

Полет ракеты «Луна — Земля» проходил по баллистической траектории, коррекции которой не предусматривалось. При подлете к Земле по команде из Центра дальней космической связи 24 сентября в 4 часа 50 минут возвращаемый аппарат с помощью пиротехнических средств был отделен от ракеты. В 8 часов 10 минут начался его вход в земную атмосферу со скоростью более 11 километров в секунду.

На этапе аэродинамического торможения — под действием набегающего воздушного потока — возвращаемый аппарат развернулся лобовой частью в направлении движения, демпфирующее устройство устойчиво удерживало его в этом положении; далее процесс посадки осуществлялся средствами бортовой автоматики. Аппарат испытал перегрузку в 350 единиц, а его теплозащита — воздействие заторможенного воздуха с температурой свыше 10 000 градусов Цельсия.

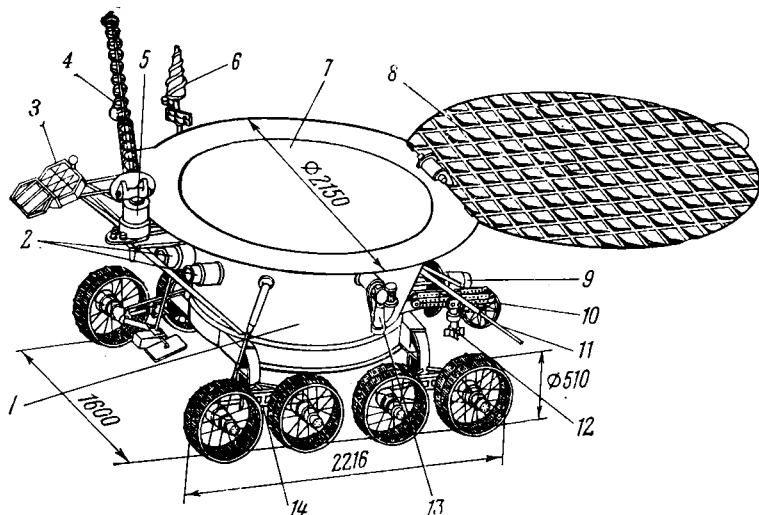


Рис. 25. Самоходный аппарат «Луноход-1»:

1 — герметический приборный отсек; 2 — иллюминаторы телекамер; 3 — оптический угловой отражатель; 4 — остронаправленная антенна; 5 — привод остронаправленной антенны; 6 — малонаправленная антенна; 7 — радиатор-охладитель; 8 — солнечная батарея; 9 — изотопный источник тепловой энергии; 10 — девятое колесо; 11 — штыревая антенна; 12 — прибор для определения физико-механических свойств грунта; 13 — телефотокамеры; 14 — блок колес шасси

По команде датчика перегрузок был произведен отстрел крышки парашютного отсека; когда скорость снижения уменьшилась до 300 метров в секунду (на высоте 14,5 километра), раскрылся тормозной парашют, который отстрелился по сигналу барометрического датчика на высоте 11 километров, одновременно открылся основной парашют. На участке парашютного спуска возвращаемый аппарат был обнаружен поисковым комплексом в 8 часов 14 минут по радиолокационным сигналам, посылаемым аппаратом.

В 8 часов 26 минут 24 сентября возвращаемый аппарат приземлился в заданном районе Советского Союза (схему полета см. на рис. 24).

Исторический рейс автоматической станции «Луна-16» по маршруту Земля — Луна — Земля успешно завершен! Контейнер с образцами лунного грунта передан для исследования в Академию Наук СССР.

Автоматическая научная станция «Луна-17» конструктивно является модификацией станции «Луна-16»: исполь-

зована та же посадочная ступень, но вместо космической ракеты Луна — Земля на ней установлен самоходный аппарат — луноход (рис. 25). Посадочная ступень несколько доработана; в частности, на ней установлены трапы для съезда лунохода на лунную поверхность (предусмотрены трапы для съезда вперед или назад в зависимости от рельефа в месте посадки).

Так как описание посадочной ступени дано было выше, то здесь будет идти речь об устройстве лунохода.

Луноход представляет собой автоматическое самоходное устройство, предназначенное для перемещения по лунной поверхности и проведения комплекса научных исследований. Он состоит из самоходного восьмиколесного шасси (с блоком автоматики) и установленного на нем герметичного магниевого корпуса, в котором размещены радиокомплекс, системы управления, терморегулирования и энергоснабжения. На внешней поверхности корпуса размещаются антенны, телефотометры и научное оборудование; масса лунохода — 756 килограммов.

Внутри лунохода находится радиокомплекс системы управления, терморегулирования и энергоснабжения.

Радиокомплекс лунохода состоит из приемника, передатчика, двух телеметрических камер, выступающих из передней стенки корпуса лунохода; четырех телефотометров для передачи панорам лунной поверхности, остонаправленной передающей антенны, малонаправленной приемо-передающей антенны, системы датчиков и блоков преобразования.

Энергоснабжение лунохода обеспечивается аккумуляторными химическими батареями, которые периодически подзаряжаются от солнечной батареи, автоматически отключающейся по достижении заданного напряжения на аккумуляторах. Солнечные элементы батареи размещены на внутренней стороне крышки лунохода, которая в закрытом положении ложится на верхнюю часть его корпуса. В рабочем положении панель солнечной батареи может располагаться под разными углами, чтобы оптимально использовать энергию Солнца при его различной высоте над лунным горизонтом.

Основными элементами системы терморегулирования являются: теплоизоляция, радиатор-охладитель, нагревательное устройство и регулирующие агрегаты автомати-

ки; источником тепла для нагрева оборудования лунохода служит изотопный генератор энергии.

Наружная поверхность лунохода, кроме оптической части аппаратуры, антенн, самоходного шасси и отдельных участков научных приборов, защищена экранно-вакуумной теплоизоляцией.

Радиатор-охладитель конструктивно совмещен с верхней стенкой корпуса лунохода и имеет эффективное оптическое покрытие, создающее благоприятные условия для успешной работы радиатора при любой высоте Солнца над горизонтом.

Самоходное восьмиколесное шасси обладает высокой проходимостью и обеспечивает передвижение лунохода в условиях лунного вакуума и большого перепада температур.

Каждое из колес имеет независимую подвеску, отдельный двигатель и отдельное управление; девятое колесо служит для измерения пройденного пути.

Луноход оснащен следующей научной аппаратурой: прибором с конусным лопастным штампом, внедряющимся в грунт для определения физико-механических свойств лунного грунта и проходимости самоходного аппарата; рентгеновским спектрометром, определяющим химический состав наружных слоев лунной породы; радиометром для определения галактического проникающего излучения; рентгеновским телескопом, позволяющим исследовать внегалактическое рентгеновское излучение; лазерным отражателем (разработанным французскими специалистами) для проведения сеансов лазерной локации.

Запуск автоматической станции «Луна-17» состоялся 10 ноября 1970 года, станция стартовала к Луне с промежуточной орбиты спутника Земли и вышла на траекторию, близкую к расчетной.

Для обеспечения вывода станции в заданный район окололунного пространства 12 и 14 ноября были проведены две коррекции траектории ее движения. При подлете к Луне было произведено с помощью двигателя посадочной ступени торможение станции, и она перешла на круговую орбиту спутника Луны с высотой над ее поверхностью — 85 километров.

С целью формирования орбиты, создающей условия посадки с высокой точностью в выбранный участок Луны,

16 ноября была проведена еще одна коррекция движения станции, в результате которой она стала двигаться по эллиптической орбите с наименьшим удалением от лунной поверхности — в 19 километров.

И, наконец, после проведения второго сеанса торможения 17 ноября станция «Луна-17» совершила мягкую посадку на лунную поверхность в районе Моря Дождей. Процесс посадки происходил аналогично посадке станции «Луна-16» с использованием тех же автоматических систем посадочной ступени.

Итак, впервые в истории на Луну доставлен автоматический самоходный аппарат с научным оборудованием — «Луноход-1», который может выполнять исследования в различных районах лунной поверхности — по трассе движения лунохода.

Вскоре после посадки по командам с Земли были отстрелены (для уменьшения угла схода лунохода) опорные стойки посадочной ступени и она опустилась на грунт; развернуты складные трапы для съезда лунохода, и ориентированная антенна установлена в оптимальное положение — в направлении на Землю.

Но прежде чем дать луноходу команду съехать на поверхность Луны, включают телефотометры, передающие на Землю панораму лунной поверхности в месте посадки, и определяют углы наклона станции относительно местной лунной вертикали.

Поверхность в месте посадки оказывается достаточно ровной, с небольшими камнями и лунками; наклоны лунохода по крену и дифференту не превышают 5 градусов.

Телекамеры просматривают площадку, расположенную непосредственно перед трапами.

Наконец луноход съезжает на поверхность Луны; им по радиокомандам управляет экипаж, находящийся на Земле.

Изображение лунной поверхности, расположенной по пути следования лунохода, и ее панорама передаются в Центр дальней космической связи с помощью бортового радиокомплекса.

С Земли на луноход подаются соответствующие команды, он объезжает крупные камни и кратеры, приближается к интересным объектам лунного рельефа для более подробного их изучения.

День за днем продолжалось запланированное исследование

дование лунной поверхности по трассе движения и космического пространства. Научная аппаратура и все системы «Лунохода-1» успешно функционировали непрерывно в течение десяти с половиной месяцев, с 17 ноября 1970 по 4 октября 1971 года.

Получена новая уникальная научная информация по физике Луны и космического пространства, которая по своему объему и ценности существенно превосходит научные материалы, доставленные любой из ранее запущавшихся на Луну станций.

Автоматическая станция «Луна-17» и самоходный аппарат «Луноход-1» открыли качественно новый этап космонавтики — исследование Луны и планет с помощью самоходных автоматических научных станций.

Получен также ценный материал о работе новых бортовых систем «Лунохода-1» (в частности, о работе системы терморегулирования) в условиях как лунного дня, так и лунной ночи.

АМЕРИКАНСКИЕ КОСМИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛУНЫ («РЕЙНДЖЕР», «СЕРВЕЙЕР» И «ЛУНАР ОРБИТЕР»)

Космический аппарат «Рейнджер»

Аппарат «Рейнджер» («Скиталец»), предназначенный для фотографирования Луны на подлете, в развернутом положении имеет высоту 3,12 метра и максимальный поперечный размер 4,47 метра.

Аппарат оборудован следующими системами и устройствами: двигательной установкой, системой ориентации, телевизионной системой, радио- и телеметрической аппаратурой, системой электропитания (аккумуляторная батарея и панель с солнечными элементами).

Бортовая двигательная установка предназначена для коррекции траектории аппарата на среднем участке полета. Для управления вектором тяги служат четыре газовых руля.

В системе ориентации аппарата используются три гироскопа, шесть солнечных датчиков и один датчик направления на Землю. Исполнительными органами системы ориентации служат реактивные управляющие сопла, работающие на сжатом азоте.

Для передачи телевизионных изображений установлено два передатчика, а для приема команд и передачи телеметрической информации — бортовой приемо-передатчик.

Телеметрическая информация поступает от датчиков, измеряющих 200 различных параметров.

На аппарате установлено шесть телевизионных камер, оптические оси которых расположены под небольшим углом друг к другу, чтобы обеспечить частичное перекрытие изображений. Камеры скомпонованы в два независимых комплекта, каждый из которых имеет свой передатчик и свою серебряно-цинковую батарею. В первый комплект входят две камеры, а во второй — четыре, причем эти камеры передают изображение центральной части того участка поверхности Луны, который попадает в кадр камер первого комплекта.

Отсек аппарата, где размещаются телевизионные камеры, закрыт кожухом, имеющим форму усеченного конуса.

Аппараты «Рейнджер» запускались двухступенчатой ракетой «Атлас-Аджена».

К моменту отделения от второй ступени аппарату придавалась необходимая скорость (около 11 километров в секунду).

Через час после старта с помощью солнечных датчиков панели с солнечными элементами ориентировались на Солнце, и питание от аккумуляторных батарей переключалось на солнечные элементы. Затем включался датчик направления на Землю, и после соответствующего поворота аппарата заканчивалась его ориентация.

Примерно через 15 часов после старта включалась двигательная установка для коррекции траектории с целью обеспечения попадания аппарата в заранее выбранное место на поверхности Луны.

За 20 минут до встречи с Луной на аппарате по команде с Земли включались телевизионные камеры.

После сеанса фотографирования, при ударе о поверхность Луны, аппарат разбивался.

Космический аппарат «Сервейер»

Первый аппарат «Сервейер» («Наблюдатель») для изучения Луны непосредственно с ее поверхности совер-

шил мягкую посадку на лунную поверхность через 4 месяца после станции «Луна-9».

Космический аппарат «Сервейер» в сложенном положении устанавливается на ракете-носителе «Атлас Кентавр» и закрывается носовым обтекателем.

Каркас станции выполнен в виде усеченной трехгранной пирамиды из тонкостенных алюминиевых труб. На каркасе монтируется оборудование и системы, обеспечившие полет на Луну и мягкую посадку станции: системы управления полетом, связи и ориентации станции, три верньерных жидкостно-реактивных двигателя (ЖРД), тормозной ракетный двигатель твердого топлива (РДТТ), источники электропитания и телевизионная камера.

К верхней части каркаса крепится мачта, на которой расположены плоская направленная антенна и панель солнечных элементов. Антенна и панель солнечных элементов могут вращаться в любом направлении, что дает возможность ориентировать антенну на Землю, а панель солнечных элементов на Солнце.

На нижнем основании каркаса станции закреплено трехстоечное амортизирующее посадочное устройство.

На концах убирающихся штанг, шарнирно прикрепленных к раме, установлены всенаправленные конические антенны.

Чувствительная электронная аппаратура размещена в двух контейнерах. Температура в контейнерах регулируется с помощью активной системы терморегулирования. Пассивное терморегулирование остального оборудования, установленного вне контейнеров, осуществляется путем выбора соответствующего цвета и полировки поверхностей.

Силовая установка состоит из трех верньерных ЖРД и одного тормозного РДТТ. Верньерные двигатели используются для коррекции скорости на среднем участке траектории и для осуществления мягкой посадки на поверхность Луны.

Тормозной пороховой двигатель (РДТТ) установлен в центре тяжести корпуса. Он гасит основную часть скорости аппарата при подлете к Луне. Крепление двигателя осуществлено взрывными болтами для сброса его после окончания работы.

Бортовая система дальней радиосвязи выполняет три функции:

- обеспечивает передачу и прием радиосигналов;
- производит дешифровку команд, поступающих на борт аппарата;
- получает и преобразует телеметрические параметры и телевизионное изображение к виду, удобному для передачи.

Для приема и передачи радиосигналов применяются три антенны — одна направленная с высоким коэффициентом усиления и две всенаправленные с низким коэффициентом усиления, два передатчика и два приемника с запросчиком-ответчиком.

Дешифровка команд производится блоком дешифровки, в котором поступивший на борт сигнал переводится в форму, удобную для выполнения соответствующей команды (например, подрыв пиропатрона).

Система управления полетом обеспечивает заданные положение и скорость аппарата с момента отделения от последней ступени ракеты-носителя до мягкой посадки на поверхность Луны.

В систему управления входят: оптико-механические датчики (основной датчик Солнца, датчик автоматического поиска Солнца, датчик звезды Канопус), инерциальный блок, радиовысотомер включения тормозного двигателя, радиовысотомер и доплеровские датчики скорости спуска, блок электронного управления полетом и три пары реактивных сопел, работающих на сжатом азоте.

Поступающая от датчиков информация обрабатывается в блоке электронного оборудования управления полетом, где вырабатываются команды, управляющие работой реактивных сопел, верньерных двигателей и тормозного ракетного двигателя.

Аппарат снабжен одной обзорной телевизионной камерой, предназначенной для панорамной съемки Луны после посадки аппарата, передачи на Землю данных всех экспериментов, проводимых на лунной поверхности, фотометрических и колориметрических измерений, осмотра самого аппарата, наблюдения за работой научных приборов и изучения изменений в грунте, вызванных посадкой космического аппарата.

Камера смонтирована почти вертикально и нацелена на подвижное зеркало, обеспечивающее обзор до горизонта. Вертикальное сканирование осуществляется с по-

мощью зеркала, а горизонтальное — поворотом головки камеры на 360 градусов.

Для проведения научных исследований и различных экспериментов на Луне аппарат снабжен рядом устройств и приборов:

- устройством для взятия проб лунного грунта с различных глубин;

- приборами для анализа содержащихся в грунте химических элементов;

- сейсмометром для слежения за сейсмической активностью Луны;

- детекторами метеорных частиц для получения сведений о количестве, массе и траекториях полета частиц;

- акустическими датчиками для проведения исследований по распространению звука;

- приборами для исследования динамики посадки аппарата на Луну;

- специальной установкой с захватывающим устройством для исследования механических свойств лунного грунта (на первых двух аппаратах не устанавливалась).

Принципиальная схема запуска, полета и мягкой посадки аппарата выглядит следующим образом.

На старте включаются двигательные установки первой и второй ступеней ракеты-носителя (РН) «Атлас». Через 142 секунды после старта выключаются двигатели первой ступени, и первая ступень сбрасывается. После сброса изолирующих панелей и носового обтекателя включается двигатель второй (маршевой) ступени и происходит отделение ракеты «Атлас» от ракеты «Кентавр». Затем включается двигательная установка ракеты «Кентавр» (через 251 секунду после старта). По получении сигнала от системы наведения о том, что достигнута расчетная скорость свободного полета по заданной траектории в направлении Луны, двигательная установка выключается. Это происходит через 685 секунд после старта.

По сигналу программно-временного устройства через 757 секунд после старта производится отделение ракеты «Кентавр» от аппарата.

После отделения ракета с помощью своих тормозных двигателей изменяет положение на 180 градусов и уходит в сторону. Цель этого маневра — выйти из поля

зрения оптических датчиков аппарата, а также избежать столкновения ступени «Кентавр» с Луной.

После отделения ракеты на аппарате начинается цикл операций, осуществляемых по командам программно-временного устройства: разблокировка панели с солнечными элементами и установка ее в заранее рассчитанное положение, стабилизация аппарата, поиск Солнца, ориентация панели с солнечными элементами перпендикулярно лучам Солнца, установление связи с наземной станцией.

Через 6 часов после старта с Земли подается сигнал на выполнение аппаратом маневра для ориентации на звезду Канопус.

Ориентированный относительно Солнца и звезды Канопус аппарат совершает свободный полет, во время которого на Землю передается информация.

На основе полученных сведений в координационно-вычислительном центре готовятся данные для коррекции траектории полета аппарата с тем, чтобы обеспечить посадку аппарата в расчетной точке на Луне. Вычисленные поправки для коррекции траектории полета вводятся в бортовое программно-временное устройство, в соответствии с которыми затем выдаются сигналы верньерным двигателям.

После выполнения маневра по коррекции траектории полета вновь производится ориентация аппарата на Солнце и звезду Канопус. Затем аппарат продолжает свободный полет до следующего важного этапа — мягкой посадки на Луну.

Подготовка аппарата к мягкой посадке на Луну начинается приблизительно на высоте 1600 километров от лунной поверхности. Стабилизация аппарата на Солнце и звезду Канопус прекращается, и с помощью гироскопов аппарат разворачивается так, чтобы ось тормозного РДТТ совпала с вектором скорости.

После установки тормозного РДТТ в нужном направлении по команде с Земли на высоте приблизительно 320 километров от поверхности Луны включается радиолокатор, регистрирующий высоту. Все последующие операции спуска осуществляются автоматически с помощью радиолокатора и программного механизма управления полетом.

На расстоянии 96 километров от лунной поверхности по наклонной дальности радиолокатор включает программно-временное устройство. По его командам через определенный интервал включаются верньерные двигатели, а затем тормозной РДТТ. К моменту включения тормозного РДТТ скорость аппарата составляет приблизительно 2,68 километра в секунду.

Тормозной двигатель за 40 секунд работы уменьшает скорость аппарата до 112 метров в секунду. Через 12 секунд после окончания работы тормозной двигатель по команде с программного механизма сбрасывается с помощью взрывных болтов и свободно падает.

Программно-временное устройство управляет работой верньерных двигателей до момента, когда радиолокационный высотомер и доплеровский датчик скорости начинают получать сигналы, отраженные по поверхности Луны; расстояние до Луны в этот момент составляет приблизительно 4000 метров.

Дальнейший спуск осуществляется на трех верньерных двигателях, которые управляются по сигналам радиовысотомера и доплеровского датчика скорости. Эти сигналы поступают на электронный блок управления полетом, где вырабатываются команды на дросселирование двигателей, снижающих скорость по мере уменьшения высоты. На расстоянии 4 метров от поверхности Луны скорость аппарата уменьшается до 1,5 метра в секунду; верньерные двигатели выключаются, и аппарат совершает свободное падение в течение 2 секунд.

Удар при посадке смягчается разрушаемыми подушками опор и амортизаторов. В случае особенно жесткой посадки часть энергии гасится также разрушаемыми соotovыми алюминиевыми блоками, расположенными под рамой.

Космический аппарат «Лунар Орбитер»

Космические аппараты «Лунар Орбитер» («Лунный спутник») предназначались для исследования окололунного пространства и фотографирования больших участков лунной поверхности.

Аппарат оборудован фотоустановкой, источниками электропитания, системой ориентации и стабилизации, двигательной установкой, радиотехническим оборудо-

ванием и научными приборами. Масса аппарата — 386 килограммов.

Почти все бортовое оборудование смонтировано на платформе в нижней части аппарата. Двигательная установка и оборудование системы ориентации крепятся к несущей конструкции в верхней части аппарата, где смонтирован экран для защиты от истекающей струи бортового двигателя.

Фотоустановка включает в себя две фотокамеры, обеспечивающие соответственно разрешающую способность 8 метров и 1 метр при съемках с номинальной высоты 46 километров.

Снимки, полученные с помощью одной из камер, предназначены в основном для привязки к видимым с Земли ориентирам снимков, полученных с помощью другой камеры.

Считывание изображения с проявленной и отфиксированной пленки производится с помощью электронно-лучевого сканирующего устройства с односторонней разверткой. Снимки, принятые с борта аппарата на станциях слежения, реконструируются построчно на экранах кинескопов и снимаются на 35-миллиметровую пленку.

Система электропитания состоит из солнечных батарей, смонтированных на четырех панелях, и аккумуляторной батареи.

Когда аппарат не освещен Солнцем или освещен не в полной мере, электропитание бортового оборудования обеспечивается никель-кадмиевой аккумуляторной батареей.

Система ориентации и стабилизации может работать от бортового программно-временного устройства (ПВУ) или по командам с Земли. Система включает: инерциальный измерительный блок, солнечные датчики, датчик направления на звезду Канопус, а в качестве исполнительных органов — сопла, работающие на сжатом азоте.

Бортовой ЖРД служит для коррекции на среднем участке траектории, вывода аппарата на селеноцентрическую орбиту и перевода с одной орбиты на другую.

Радиотехническое оборудование включает в себя два передатчика, командный приемник, всенаправленную антенну, вынесенную на стержне, и остронаправленную

антенну с параболическим отражателем, также вынесенную на стержне.

Система терморегулирования аппарата пассивная. Вся поверхность аппарата снабжена теплоизоляцией, за исключением оптической части фотокамер и днища, через которое должно отводиться тепло.

Для изучения метеорной обстановки аппарат оснащен 20 детекторами метеорных частиц.

Для изучения радиационной обстановки используются два дозиметра, основным назначением которых является определение радиационной дозы, получаемой фото-пленкой. Один из дозиметров измеряет дозу радиации, полученную неэкспонированной пленкой, второй — дозу радиации, полученную экспонированной, но необработанной пленкой. Если эта доза будет приближаться к критической, то вся оставшаяся пленка будет немедленно отснята и обработана.

Для запусков аппаратов «Лунар Орбитер» использовалась двухступенчатая ракета-носитель «Атлас-Аджена Д».

Типовая программа полета предусматривала вывод второй ступени ракеты-носителя с аппаратом на промежуточную круговую геоцентрическую орбиту высотой 185 километров. После 21—35 минут обращения на орбите двигатель второй ступени включается вторично, и, проработав 92 секунды, выводит аппарат на траекторию полета к Луне. Ступень от аппарата отделяется, и через 30 секунд после этого разворачиваются панели с солнечными элементами и антенны. Затем начинается ориентация аппарата: он ориентируется так, чтобы панели с солнечными элементами были обращены к Солнцу, а остронаправленная антенна — к Земле.

Предусмотрена возможность двух коррекций на среднем участке траектории: первая производится через 15 часов, вторая — через 70 часов после старта.

Через 89,5 часа после старта на расстоянии 900 километров от Луны включается бортовой ЖРД для перевода аппарата на начальную селеноцентрическую орбиту с высотой периселения 200 километров, высотой апоселения 1800 километров и периодом обращения 3,5 часа.

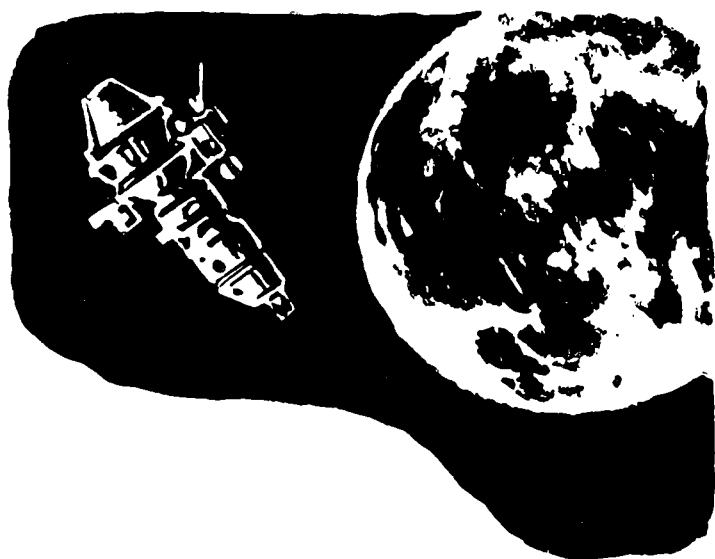
Первые сеансы фотографирования в целях проверки фотоустановки производятся на начальной орбите. Через несколько суток после вывода аппарата на эту орбиту

включается бортовой ЖРД аппарата для перевода его на орбиту с более низким периселением (40—50 километров). Апаселений орбиты при этом почти не изменится. После перевода на новую орбиту начинается фотографирование выбранных участков.

После передачи снимков аппарат используется для изучения метеорной и радиационной обстановки у Луны и ее гравитационного поля (по эволюции орбиты).

После того как запас сжатого азота в системе ориентации уменьшится до критического уровня, с Земли подается команда на включение бортового ЖРД для торможения аппарата с таким расчетом, чтобы он упал на Луну.





До запуска первой космической ракеты на межпланетные расстояния — автоматической станции «Луна-1» — существовали очень смутные представления о дальности заметного влияния Земли на физические свойства космического пространства.

Точно так же весьма приближенной была количественная оценка важнейших параметров космического пространства (магнитного поля, концентрации заряженных частиц и т. д.) и особенно динамических процессов в нем вдали от Земли, обусловленных главным образом деятельностью Солнца.

Первые же полеты космических аппаратов к орбите Луны показали, что околоземное за-

ИССЛЕДОВАНИЕ ОКОЛОЛУННОГО ПРОСТРАНСТВА

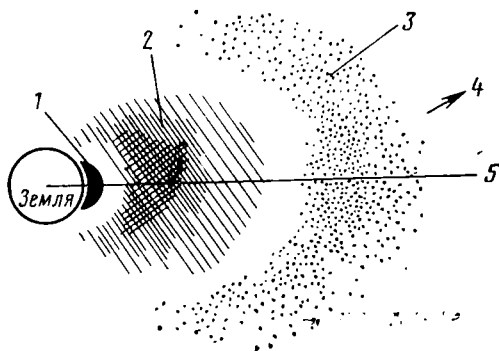


Рис. 26. Расположение радиационных поясов Земли:

1, 2, 3 — первый, второй и третий радиационные пояса; 4 — внешние области магнитосферы; 5 — геомагнитный экватор

атмосферное пространство — весьма сильно отличающееся от межпланетного — простирается существенно дальше, чем это предполагалось ранее. Зона значительного влияния Земли на основные характеристики пространства имеет протяженность в сотни тысяч километров, более всего она вытянута в направлении от Солнца.

Указанное влияние нашей планеты на окружающее космическое пространство определяется взаимодействием земного магнитного поля, потоком заряженных частиц от Солнца и межпланетным магнитным полем солнечного происхождения.

Это взаимодействие приводит, во-первых, к образованию радиационных поясов Земли, простирающихся на высоту примерно десяти земных радиусов (рис. 26), и, во-вторых, к своеобразному отличию околоземного космического пространства от межпланетного. По современным представлениям, область заметного влияния Земли на параметры космического пространства распространяется в направлении к Солнцу на 12—15 земных радиусов, в перпендикулярном направлении — на 20—25 земных радиусов и на расстояния, превышающие радиус лунной орбиты, в ночную сторону (от Солнца).

Первые принципиально новые результаты о наиболее важных параметрах космического околоземного, межпланетного и окололунного пространства были полу-

чены в 1959 году с помощью научных автоматических станций «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3». Позже для изучения Луны были запущены аппараты типов «Зонд», «Сервейер», «Лунар Орбитер» и другие, продолжались также запуски автоматических станций типа «Луна».

К настоящему времени уже несколько десятков космических аппаратов исследовали поверхность Луны и окружающее ее пространство. В частности, установлено, что у Луны практически отсутствует атмосфера: ее плотность уступает плотности земной атмосферы, по крайней мере, в тысячу миллиардов раз.

На автоматических станциях, запускавшихся в район Луны, были установлены: магнитометры для измерения магнитного поля; датчики для подсчета микрометеоритов, встречаемых при полете; ловушки заряженных частиц для регистрации частиц малых энергий; счетчики космических лучей, замеряющие потоки и энергии частиц высоких энергий, и другая научная аппаратура.

О МАГНИТНОМ ПОЛЕ ЛУНЫ

Измерение магнитных полей непосредственно в космическом пространстве несколько осложняется тем, что различные бортовые устройства автоматической станции (реле, токонесущие провода и пр.) имеют собственное магнитное поле. В связи с этим для уменьшения помех от самого космического аппарата магнитометры выносятся на специальных штангах на некоторое удаление от основной конструкции (около двух метров).

На автоматической станции «Луна-2», впервые достигшей поверхности Луны, был установлен трехкомпонентный магнитометр с диапазоном измерения по каждой (взаимно перпендикулярной) компоненте до 700 гамм и минимальной чувствительностью в условиях полета около 30 гамм (1 гамма = 10^{-5} эрстед).

Такой сравнительно большой диапазон прибора был выбран как для измерений во внешней магнитосфере Земли, так и для обнаружения магнитного поля Луны, если оно окажется достаточно существенным.

Измерения, проведенные аппаратурой станции «Луна-2» в окрестностях нашего природного спутника вплоть до

расстояния в 5 километров от его поверхности, показали, что Луна не имеет заметного магнитного поля; ее эффективный магнитный момент не превышает одной десятичной магнитного момента Земли. Однако вопрос о наличии собственного (хотя бы и слабого) магнитного поля Луны или магнитного поля в непосредственной близости от нее, обусловленного межпланетным магнитным полем или влиянием внешних областей магнитосферы Земли в области лунной орбиты,— оставался открытым.

Протяженность магнитосферы Земли на ночной стороне вплоть до орбиты Луны и далее предполагалась многими исследователями. Измерения, выполненные спутником «Эксплорер-10», позволили проследить наличие земного магнитного поля на расстояниях до 150 тысяч километров, т. е. превышающих почти в 25 раз радиус нашей планеты (напомним, что расстояние до Луны равно примерно 60 радиусам Земли). Наличие магнитосферы Земли на расстояниях до 32 земных радиусов в сторону от Солнца было зафиксировано космическим аппаратом «Эксплорер-18», оснащенным магнитометром и датчиками радиации.

Научная станция «Луна-10» была оборудована датчиками рентгеновского излучения и счетчиками частиц, что также позволяло обнаружить простираание хвоста магнитосферы Земли на ночной стороне (в случае его наличия) в районе орбиты Луны. Физической основой такого обнаружения является эффект вазимодействия солнечного ветра и земного магнитного поля, выражающийся в преобразовании кинетической энергии солнечного ветра в энергию разогрева частиц до величины в несколько десятков килоэлектронвольт.

Спутник «Луна-10» четыре раза пересекал границу предполагаемого продолжения хвоста магнитосферы Земли, и в трех случаях (в одном случае аппаратура не была включена) несколькими приборами регистрировался повышенный счет частиц, по-видимому, электронов, входящих в состав земной магнитосферы.

Открытие этого явления явилось важным вкладом в разделы физики, изучающие область распространения магнитосферы нашей планеты. Наличие хвоста магнитосферы Земли в районе лунной орбиты было подтверждено летом 1967 года измерениями аппарата «Эксплорер-35».

Измерения межпланетного магнитного поля показали, что его напряженность в областях земной и лунной орбит колеблется в пределах 5—10 гамм и зависит от величины потока солнечного ветра.

Значительный экспериментальный материал по измерению магнитных полей в окрестности Луны был получен при полете первого ее искусственного спутника — научной станции «Луна-10». Полет происходил по эллиптической орбите; расстояния станции от поверхности Луны менялись в пределах от 350 до 1015 километров; один оборот длился почти 3 часа.

Было произведено около двухсот измерений напряженности магнитного поля по каждой из трех компонент магнитометра. Разрешающая способность магнитометра была существенно повышена в сравнении с этими же свойствами прибора станции «Луна-2» и составляла примерно 1 гамму при диапазоне измерений до ± 50 гамм по каждой компоненте.

Измерения магнитного поля производились посредством феррозондового магнитометра СГ-59М (рис. 27), измеряющего три взаимно перпендикулярные компоненты магнитного поля, соответственно каждым из трех феррозондов.

Величина магнитного и электромагнитного влияний конструкции спутника на показания магнитометра была предварительно определена специальными стендовыми испытаниями полностью собранного спутника.

Передача результатов измерений на Землю по каждой компоненте магнитометра осуществлялась телеметрической системой с интервалами по 128 секунд. Обработка магнитограмм осложнялась тем обстоятельством, что каждая из трех проекций напряженности магнитного поля, регистрируемая одним из феррозондов, непрерывно менялась по времени вследствие вращения спутника относительно своей оси (что диктовалось необходимостью обеспечения теплового режима станции).

Очень интересные результаты магнитометрических исследований получены станцией «Луна-19», которая регистрировала с освещенной стороны Луны магнитное поле, в несколько раз сильнее невозмущенного межпланетного магнитного поля; на ночной же стороне оно несколько ослаблено.

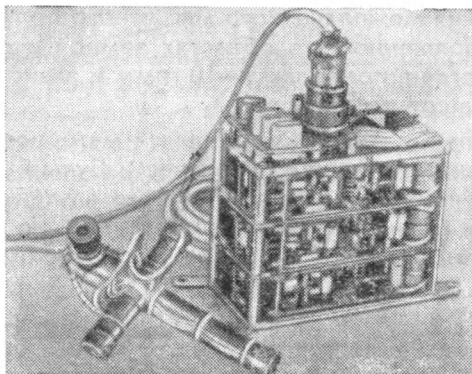


Рис. 27. Внешний вид магнитометра
CG-59M

Основные выводы, которые следуют из материалов обработки измерений со спутника «Луна-10» (вместе с исследованиями других аппаратов), состоят в следующем.

1. Магнитное поле Луны имеет однородную структуру и регулярный характер; его напряженность во время измерений находилась в пределах 15—40 гамм, т. е. напряженность магнитного поля Луны в одну-две тысячи раз слабее напряженности магнитного поля Земли (величина межпланетного магнитного поля в районе орбиты Земли обычно не превышает 10 гамм).

2. Луна, очевидно, не имеет собственного магнитного поля дипольной природы, аналогичного земному и наблюдаемому у намагниченных тел, через два магнитных полюса которых проходят замкнутые магнитные линии; зарегистрированное магнитное поле может являться межпланетным полем, уловленным или деформированным Луной.

3. Господствующее мнение, существовавшее до космической эры, о наличии магнитных полей у всех крупных небесных тел — не подтвердилось (согласно измерениям — Луна, Венера и Марс не имеют значительного магнитного поля).

4. Четкого влияния магнитосферы Земли на околосолнечное космическое пространство не выявлено.

Таким образом, для уточнения параметров окололунного пространства необходимо было продолжить исследования как магнитного поля Луны (включая ее обратную сторону), так и магнитосферы Земли в окрестности Луны.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАЗМЫ И КОСМИЧЕСКИХ ЛУЧЕЙ ВБЛИЗИ ЛУНЫ

Почти все космические аппараты оснащены аппаратурой для проведения исследований плазмы — частиц малых энергий, несущих заряд до нескольких тысяч электронвольт.

В основном — это частицы, которые своим происхождением обязаны титаническим процессам, происходящим в недрах Солнца; к ним относятся электроны и ионы, в первую очередь — протоны.

Масса протонов, выбрасываемых Солнцем в одну секунду, составляет около миллиона тонн. Однако за 10 миллиардов лет существования нашего дневного светила это привело к потере менее одной сотой процента его массы, что все же превышает массу Земли в десятки раз.

По измерениям ряда космических аппаратов потоки корпускулярной солнечной радиации (плазмы) составляют до миллиарда частиц на квадратный сантиметр в секунду, а их концентрация в районе Земли и Луны равна нескольким единицам и даже десяткам единиц в кубическом сантиметре.

Потоки солнечной плазмы определяют интенсивность и структуру межпланетного магнитного поля (а следовательно, и траектории космических лучей), форму земной магнитосферы, физические характеристики пространства в окрестностях небесных тел Солнечной системы.

Установлено, что магнитные и ионосферные бури в нашей атмосфере происходят под влиянием солнечной плазмы, что имеет практическое значение для радиосвязи, метеорологии и т. д.

Лабораторные эксперименты, имитирующие воздействие протонов солнечного ветра (корпускулярного потока от Солнца) на твердые вещества, показали, что структура опытных образцов при этом приближается к структуре

лунного грунта. Оптические особенности лунной поверхности воспроизводятся экспериментально на порошкообразном базальте при бомбардировке потоком протонов, равноценным воздействию солнечного ветра на протяжении примерно 100 тысяч лет.

Для регистрации заряженных частиц понадобилось разработать особую аппаратуру — ловушку заряженных частиц, которая была бы пригодной для работы в космическом пространстве.

Ловушки заряженных частиц — это специальные зонды для измерения токов, определяемых потоком заряженных частиц в межпланетном пространстве. Однако в космическом пространстве работа прибора осложняется воздействием ультрафиолетового облучения Солнца, которое в обычных условиях поглощается земной атмосферой. Это облучение порождает поток электронов. В связи с этим на ловушках заряженных частиц, предназначенных для работы в космическом пространстве, предусмотрена электрическая защита, подавляющая фотоэмиссию электронов.

На автоматических станциях «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3» были установлены трехэлектродные ловушки, отличающиеся друг от друга лишь некоторыми конструктивными материалами.

На рис. 28 и 29 показаны соответственно схема трехэлектродной ловушки и конструкция ловушки заряженных частиц станции «Луна-2».

На дополнительную сетку подается достаточно большой отрицательный потенциал, который создает электрополе, подавляющее фотоэлектронную эмиссию с коллектора.

На внешней части контейнера с научной аппаратурой (станции «Луна-2») были установлены четыре ловушки со следующими значениями потенциала электродов относительно корпуса контейнера: для коллекторов $\varphi_K = (-60) \div (-40)$ вольт, для внутренних сеток $\varphi_{g1} = -200$ вольт, для четырех внешних сеток соответственно $\varphi_{g2} = -10; -5; 0; +15$ вольт.

Ток на коллекторах I_K , создаваемый попавшими в ловушки заряженными частицами, проходит через ламповые усилители малых токов и передается на Землю радиотелеметрической системой.

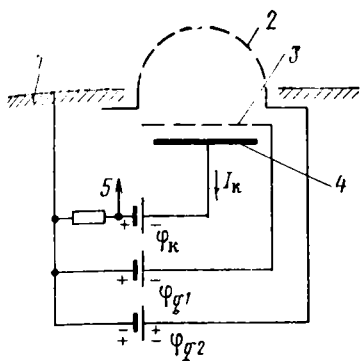


Рис. 28. Схема трехэлектродной ловушки:

1 — корпус контейнера станции; 2, 3 — внешняя и внутренняя сетки; 4 — коллектор; 5 — к усилителю коллекторного тока

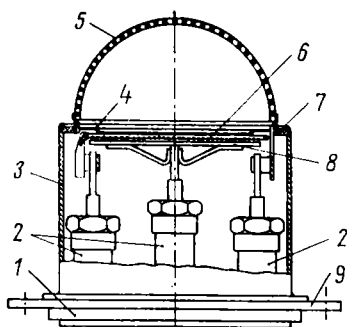


Рис. 29. Схема ловушки заряженных частиц станции «Луна-2»:

1 — резинное уплотнение; 2 — гермоводы; 3 — алюминиевый экран; 4 — никелевая блenda; 5, 6 — соответственно внешняя (никелевая) и внутренняя (вольфрамовая) сетки; 7 — фторопластовая изоляция; 8 — никелевый коллектор; 9 — основание

Регистрировались положительные коллекторные токи от 10^{-10} до $50 \cdot 10^{-10}$ ампер и отрицательные коллекторные токи от 10^{-10} до $15 \cdot 10^{-10}$ ампер; мгновенные величины всех коллекторных токов замерялись каждые 30 секунд. Измерения начинались на удалениях от поверхности Земли, превышающих 1500 километров.

Материалы измерений с помощью трехэлектродных ловушек, полученные станциями «Луна-1», «Луна-3» и особенно станцией «Луна-2», давшей около 1200 замеров коллекторных токов, позволили составить достаточно определенное представление о потоках солнечной плазмы и об ионизированном газе в пространстве от Земли до Луны.

Обнаружено, что Земля имеет ионизированную газовую оболочку толщиной порядка 15 тысяч километров с концентрацией около тысячи ионов в кубическом сантиметре (и более — на малых высотах), весьма заметно превышающей концентрацию ионов в межпланетном пространстве.

Измерения, проведенные станцией «Луна-2», показали, что на высотах более 15000 километров ионосфера Земли состоит из ионизированного водорода; в то же

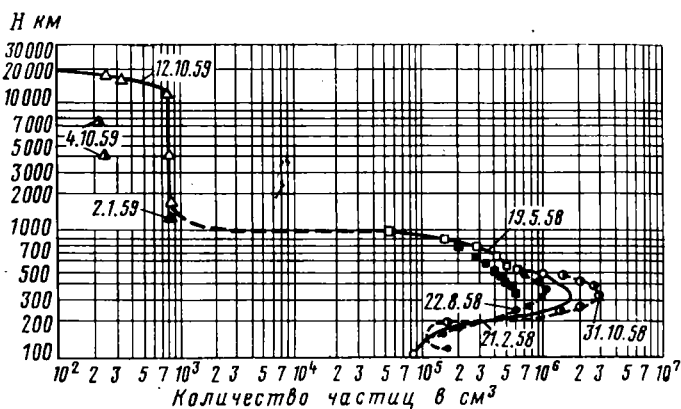


Рис. 30. Распределение концентрации заряженных частиц в ионосфере Земли в период, близкий к максимуму солнечной активности (1958—1959 годы)

время известно, что на высотах до 1000 километров преобладают свободные электроны; таким образом, ионосфера в промежутке высот 1000—15 000 километров из «кислородной» становится «водородной».

Сопоставление данных, полученных научными станциями «Луна-1», «Луна-2» и «Луна-3», с известными ранее материалами измерений геофизическими ракетами в феврале 1959 года и третьим спутником Земли позволило дать картину распределения концентрации заряженных частиц в околоземном пространстве (рис. 30) для периода, соответствующего примерно максимуму солнечной активности, т. е. периоду использованных наблюдений в течение 1958—1959 годов.

Анализ измерений, проведенных первыми тремя советскими научными станциями, запущенными к Луне, привел к заключению о наличии третьего радиационного пояса Земли (см. рис. 26) на расстоянии 50—70 тысяч километров от ее поверхности с потоками электронов $N_e = 10^8 \div 2 \cdot 10^8$ на квадратный сантиметр в секунду и энергией более 200 электронвольт.

Магнитные измерения, проведенные на американском спутнике «Эксплорер-6» и ракете «Пионер-5» (1959 и 1960 годы), подтвердили, что третий радиационный пояс — это

постоянное образование; его границы и динамика подлежат уточнению.

Обработка измерений токов ловушек, установленных на советских научных станциях, дала возможность оценить концентрацию стационарного межпланетного ионизированного газа. В частности, по пересчету соответствующих данных станции «Луна-3», при ее удалении на расстояние около 20 радиусов Земли (примерно 130 тысяч километров) концентрация ионов стационарного газа оказалась равной нескольким единицам в кубическом сантиметре. (До 1959 года — согласно наблюдениям поляризации зодиакального света, выполненным немецкими учеными Г. Зидентопфом и А. Бэром — общепринятым было мнение о концентрации межпланетного ионизированного газа, равной 500—1000 частиц в кубическом сантиметре.)

Исследование плазмы окололунного пространства с помощью первого лунного спутника «Луна-10» (с 3 апреля по 29 мая 1966 года) проводилось посредством модифицированных четырехэлектродных ловушек заряженных частиц.

Избирательный усилитель тока звуковой частоты обеспечивал измерение токов в пределах 10^{-9} — 10^{-12} ампер, что позволило регистрировать потоки ионов до величины не менее 10^6 на квадратный сантиметр в секунду.

Анализ материалов измерений показал, что замеренные токи (и соответствующие потоки электронов) в хвосте земной магнитосферы несколько меньше, чем вне ее.

Потоки положительных ионов в окололунном пространстве с энергией, превышающей 50 электронвольт, имеют тот же порядок величины, что и поток протонов невозмущенного солнечного ветра — до $5 \cdot 10^8$ на квадратный сантиметр в секунду; однако вблизи Луны имеется область возмущений плазмы, в которой направление движения ионов не совпадает с направлением солнечного ветра.

В районе 350—1000 километров над поверхностью Луны можно предполагать наличие лунной ионосферы с максимально возможной концентрацией ионов — до 300 в кубическом сантиметре.

В последующих исследованиях предстоит определить энергетические спектры как положительных ионов при

пересечении хвоста земной магнитосферы, так и потока электронов в ней.

Потоки положительных ионов солнечных корпускул впервые были зарегистрированы при полете автоматической станции «Луна-2» 13 сентября 1959 года на удалении от Земли в 225 тысяч километров; величина коллекторного тока всех четырех ловушек указывала на интенсивность потока корпускул — около $2 \cdot 10^8$ частиц на квадратный сантиметр в секунду.

Соответственно на станции «Луна-3» 4 октября 1959 года (при расстоянии от Земли примерно в 125 тысяч километров) плотность солнечного корпускулярного потока вне геомагнитного поля оценивалась величиной $4 \cdot 10^8$ частиц на квадратный сантиметр в секунду.

Аналогичные исследования потоков электронов с энергией более 40 килоэлектронвольт и протонов с энергией выше 500 килоэлектронвольт проводились с помощью газоразрядного счетчика типа СБТ-9 на станции «Луна-10».

Рабочий объем счетчика ограничивался трубкой из нержавеющей стали толщиной 0,3 миллиметра, внутренний диаметр трубки составлял почти 10 миллиметров, ее длина — около 30 миллиметров; дополнительная защита стенок состояла из латунного экрана толщиной 3 миллиметра и алюминиевого кожуха с плотностью 0,3 грамма на квадратном сантиметре. В торцевой части счетчика было вырезано входное окошко диаметром 5 миллиметров, прикрытое защитой из слюды (1,2 миллиграмма на квадратный сантиметр) и золота (0,3 миллиграмма на квадратный сантиметр).

В сеансах связи количество импульсов регистрировалось через каждые 2 минуты; за время между сеансами считывалось среднее количество импульсов: относительная погрешность счета, обеспечиваемая всей схемой прибора, не превышала 3 процентов.

На этапе перелета Земля — Луна с 31 марта по 3 апреля 1966 года автоматической станции «Луна-10» была отмечена переменная интенсивность счета импульсов, связанная с вращением станции, т. е. изменением ее ориентации относительно Солнца. Величина счета изменялась от 15 до 130 импульсов в секунду (2 апреля 1966 года) при среднем фоне, обусловленном космическими лучами, примерно 11 импульсов в секунду.

При полете станции на орбите вокруг Луны с 3 апреля по 29 мая 1966 года интенсивность счета в зависимости от солнечной активности менялась в пределах 11—110 импульсов в секунду.

Интенсивность космических лучей, т. е. заряженных частиц (галактического и солнечного происхождения) высоких энергий, до миллиарда электрон-вольт,— также исследовалась автоматическими станциями.

Измерения, проведенные научными станциями «Зонд-3», «Венера-2», «Венера-3», «Венера-4», «Марс-1» и другими, показали, что интенсивность и траектории космических лучей в значительной степени определяются межпланетным магнитным полем Солнечной системы.

Интенсивность галактических космических лучей, состоящих из частиц с энергиями более 100 тысяч электрон-вольт, обычно равная 1—2 частицам на квадратный сантиметр в секунду, несколько уменьшается при увеличении солнечной активности.

Солнце непрерывно выбрасывает протоны и ядра гелия с энергиями в пределах от тысячи до 20 тысяч электрон-вольт; однако при крупных вспышках на Солнце энергия потока протонов превышает 100 тысяч электрон-вольт.

Исследование космических лучей на трассе перелета к Луне и в окололунном пространстве было выполнено автоматическими станциями «Луна-4», «Луна-9», «Луна-10», «Луна-11» и последующими космическими аппаратами, включая «Луноход-1» станции «Луна-17».

На станции «Луна-4», запущенной в сторону Луны 2 апреля 1963 года, был установлен газоразрядный счетчик, осуществлявший измерения с точностью не менее 0,1 процента. Счетчик экранировался оболочкой станции с плотностью вещества около 1 грамма на квадратном сантиметре и имел, кроме того, мощную защиту — более 10 граммов на квадратном сантиметре.

Среднее значение скорости счета частиц космических лучей за период со 2 по 14 апреля 1963 года составило около 20 импульсов в секунду при наибольшем отклонении от среднего значения до 2,5 процента.

Для измерения космических лучей на станции «Луна-10» был установлен газоразрядный счетчик типа СБТ-9, описанный выше; однако для экранизации «мягкого» кор-

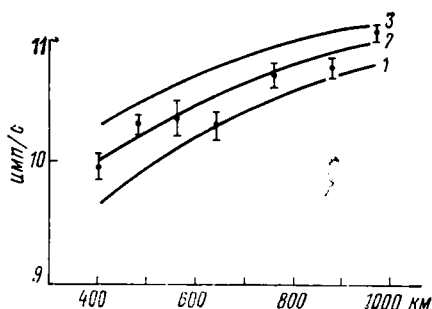


Рис. 31. Скорость счета космических лучей газоразрядным счетчиком над поверхностью Луны

Кроме экспериментальных точек, на рисунке даны теоретические кривые 1, 2, 3, рассчитанные соответственно для альбедо (отражение космических лучей поверхностью Луны), равного 0, 13 и 26 процентам

пускулярного излучения его торцевое окошко было дополнительно закрыто слоем латуни толщиной 3 миллиметра.

На участке перелета от Земли к Луне средняя скорость счета была равна 12 импульсам в секунду, т. е. поток первичного космического излучения имел величину около 5 частиц на квадратном сантиметре, что весьма близко к измерениям научной станции «Луна-9».

При полете на окололунной орбите автоматической станции «Луна-10» было проведено 79 сеансов измерений интенсивности космических лучей.

Результаты измерений темпа счета космических лучей газоразрядным счетчиком — в зависимости от высоты над лунной поверхностью — представлены на рис. 31.

Проведенные измерения и сравнительные расчеты показывают, что интенсивность излучения, вызванного отражением лунной поверхностью (альбедо), составляет 13—26 процентов от интенсивности космических лучей.

Измерения потоков протонов солнечного происхождения, выполненные аппаратурой научной станции «Луна-11», позволили зарегистрировать две мощные солнечные вспышки — 28 августа и 2 сентября 1966 года. При последней вспышке интенсивность протонов с энергией более 50 мегаэлектронвольт превышала космический фон на два порядка; интенсивность протонов с энергией от 1,8 до 100 мегаэлектронвольт испытывала значительные колебания, иногда выходя за пределы диапазона измерений счетчика.

Наибольшие значения интенсивности потока протонов с энергией более 1,8 мегаэлектронвольта наблюдались с запаздыванием от нескольких часов до полусуток в

сравнении с максимумами протонов, которые имели энергию свыше 50 мегаэлектронвольт.

Дополнительный материал по радиационной обстановке вблизи Луны был накоплен космическими аппаратами типа «Зонд» и «Лунар Орбiter». На каждой из автоматических станций последнего типа с помощью двух дозиметров определялась радиационная доза, получаемая фотопленкой в течение всего времени полета аппаратов этой серии по траекториям лунных спутников.

Большой объем очень интересной информации о космических лучах был получен за период полета научной станции «Луна-17» и функционирования ее лунохода на лунной поверхности.

На самоходном аппарате станции «Луноходе-1» установлена радиометрическая аппаратура для измерения различных характеристик солнечных и галактических космических лучей.

При прохождении заряженной частицы через полупроводниковый детектор возникают импульсы тока, замеряемые аппаратурой. Часть детекторов фиксирует протоны солнечных космических лучей в диапазоне энергий от 1 до 5 миллионов электронвольт; газоразрядный счетчик (расположенный, как и детекторы, снаружи лунохода) регистрирует протоны с энергией, превышающей 1 миллион электронвольт, а также электроны с энергиями более 40 тысяч электронвольт.

Сравнение этих измерений дает возможность оценить потоки солнечных космических лучей, энергия которых превышает 50 тысяч электронвольт.

Один из детекторов предназначен для измерения потоков альфа-частиц солнечных космических лучей с энергией более 5 миллионов электронвольт.

Внутри лунохода установлен газоразрядный счетчик, регистрирующий как солнечные, так и галактические космические лучи (потоки протонов с энергиями более 30 миллионов электронвольт).

С самого начала полета станции «Луна-17» был зафиксирован поток протонов с энергиями в пределах 1—5 миллионов электронвольт, значительно превышающий средние фоновые потоки этих частиц в межпланетном пространстве.

В последующие четверо суток интенсивность потока уменьшилась в 5 раз, в то же время отмечался нормаль-

ный уровень галактических космических лучей с энергией более 30 миллионов электронвольт. Этот факт наряду с измерениями станции «Венера-7» позволил сделать вывод о том, что регистрировалась последняя фаза спада интенсивности резкого возрастания потока солнечных протонов, вызванного мощной хромосферной вспышкой на Солнце 5 ноября 1970 года.

Солнечные вспышки, происходившие 18 и 19 ноября, также были зафиксированы радиометрической аппаратурой «Венеры-7», а также «Лунохода-1», все детекторы которого регистрировали внезапное повышение интенсивности потоков солнечных протонов, электронов и альфа-частиц.

С 12 по 22 декабря аппаратурой «Лунохода-1» было зарегистрировано весьма сильное возрастание интенсивности солнечных космических лучей (превышающее фон примерно в 100 тысяч раз) и соответствующее понижение интенсивности галактических космических лучей начиная с 14 декабря (в этот же день на Земле была отмечена большая магнитная буря).

Интересные результаты были получены после сравнения измерений галактических космических лучей при полете станции «Луна-17» и на поверхности Луны. Оказалось, что интенсивность галактических космических лучей после посадки «Лунохода-1» уменьшилась почти вдвое. Это явление говорит о том, что Луна экранирует аппаратуру лунохода от галактических космических лучей, и одновременно подтверждает данные станций «Луна-9» и «Луна-13» о низкой радиоактивности лунного грунта.

ИЗМЕРЕНИЕ КОСМИЧЕСКОГО РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Исследование космического рентгеновского излучения (поглощаемого земной атмосферой) стало возможным лишь с появлением ракетной техники.

С помощью вертикально стартующих ракет и искусственных спутников Земли удалось открыть рентгеновское излучение Солнца, десятки отдельных источников рентгеновского излучения и диффузный рентгеновский фон космического пространства.

Наблюдения в рентгеновских лучах оказались очень полезными для изучения активности Солнца, которая, как

известно, оказывает существенное влияние на важные для нашей жизни процессы на Земле. Исследование космического рентгеновского фона (который может являться результатом излучения межгалактического газа) и отдельных объектов — «рентгеновских звезд» — внесет ценный вклад в понимание эволюции Вселенной.

Большинство «рентгеновских звезд» расположено в нашей Галактике, однако к настоящему времени открыто четыре внегалактических рентгеновских источника, являющихся, очевидно, рентгеновскими галактиками (два из них могут быть отождествлены с радиогалактиками).

Хотя излучение «рентгеновской звезды» (например в созвездии Скорпиона) в тысячу раз превышает суммарное световое, тепловое, рентгеновское и радиоизлучение нашего Солнца, его угловые размеры равны всего 20 секундам, а поток излучения составляет около 20 фотонов на квадратный сантиметр в секунду.

Чувствительность современной аппаратуры позволяет регистрировать рентгеновское излучение с интенсивностью не более 0,1 фотона на квадратный сантиметр в секунду. Это связано с тем, что наблюдения с вертикально стартующих ракет и спутников Земли обеспечивают длительность непрерывной экспозиции в пределах всего лишь нескольких минут (при регистрации каждого отдельного источника). Кроме того, ценность этих наблюдений снижается из-за заметного влияния на них околоземных радиационных поясов.

Малая длительность экспозиции не позволяет накапливать слабый сигнал от рентгеновских источников; в связи с этим пока еще нет возможности указать их координаты на небесной сфере с точностью, которая позволила бы произвести отождествление рентгеновских источников с известными оптическими источниками.

Доставка рентгеновского телескопа на Луну открыла качественно новый этап в наблюдении рентгеновских источников излучения; в связи с медленным вращением Луны относительно своей оси удастся увеличить длительность непрерывного накопления сигнала от какого-либо источника до 6 часов (поле зрения прибора охватывает 3 градуса). Чтобы важность этого факта стала более ощутимой, напомним, что к настоящему времени суммарная длительность наблюдений во всем мире отдельных источников не превышает 4 часов.

Рентгеновский телескоп самоходного аппарата «Луноход-1» предназначен для исследования пространственной структуры диффузного космического рентгеновского фона и локальных космических рентгеновских источников.

Приемной частью телескопа является счетчик рентгеновских фотонов с рабочей площадью окна 7,5 квадратного сантиметра; поле зрения счетчика ограничено 3 градусами специальным коллиматором. Рядом расположен контрольный счетчик (также с полем зрения, равным 3 градусам), входное окно которого закрыто непрозрачным для рентгеновского излучения фильтром; этот счетчик регистрирует фон космической радиации. При горизонтальном положении лунохода оси счетчиков направлены в местный зенит.

Электрические импульсы от обоих счетчиков (после их усиления электронным устройством) поступают на счетные схемы и затем на запоминающее устройство, с которого они передаются на Землю при телеметрических сеансах связи.

При угловом разрешении примерно в 3 градуса рентгеновский телескоп имеет чувствительность измерений в пределах 0,01—0,03 фотона на квадратный сантиметр в секунду.

Предварительная обработка измерений показала, что космический рентгеновский фон имеет внегалактическую природу (вклад фона от нашей Галактики мал). Подтверждена величина фонового потока, полученная предыдущими ракетными наблюдениями. Обнаружено несколько слабых отдельных источников рентгеновского излучения с потоком около 0,03 фотона на квадратный сантиметр в секунду (эта цифра требует уточнения при дальнейших наблюдениях) и два сильных источника с потоком примерно 1 фотон на квадратный сантиметр в секунду, по-видимому, ранее не наблюдавшиеся.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЧАСТИЦ ТВЕРДОГО ВЕЩЕСТВА В МЕЖПЛАНЕТНОМ ПРОСТРАНСТВЕ И В РАЙОНЕ ЛУНЫ

Некоторые данные о мельчайших частицах твердого вещества в космическом пространстве были накоплены астрономами в течение длительного периода в результате наблюдений за «падающими звездами».

Частицы, вызывающие это явление при входе в атмосферу Земли со скоростями несколько десятков километров в секунду, получили одинаково употребительные названия: метеорных частиц, микрометеоритов, космической пыли, метеорного вещества.

Наблюдения наземными оптическими и радиолокационными средствами позволили регистрировать частицы с массой, превышающей 10^{-4} (одну десятитысячную) граммов, а также определить их скорости, плотность, состав, пространственное распределение.

Кроме так называемых «спорадических» метеоров, достаточно равномерных по всем направлениям и характеризующих среднюю частоту встречи с микрометеоритами, были обнаружены «метеорные потоки» с резким возрастанием пространственной плотности метеорных тел. Метеорные потоки представляют собой скопления мельчайших твердых частиц, движущихся около Солнца по эллиптическим орбитам; каждый из наблюдаемых нами потоков пересекается Землей, как правило, ежегодно.

В связи с появлением космической техники исследование микрометеоритов стало возможным непосредственно в околоземном и межпланетном пространстве (включая район Луны).

Актуальность этой проблемы (помимо научного значения — для понимания строения и эволюции тел Солнечной системы) состояла в том, что предстояли полеты человека в космос и автоматических станций на большие расстояния.

Сколь частыми могут быть встречи с частицами, которые представляют опасность для герметичности космического аппарата? Каково воздействие метеорной пыли на оптические приборы, на характеристики панелей солнечных батарей и наружных агрегатов системы терморегулирования?

Для решения этих вопросов использовались геофизические ракеты, искусственные спутники, научные автоматические станции. Были спроектированы специальные датчики, позволяющие оценить частоту ударов и массу метеорных частиц с передачей информации на Землю; датчики давали возможность регистрировать микрометеориты с минимальной массой до 10^{-13} граммов.

На всех советских космических аппаратах применялись баллистические пьезоэлектрические датчики, которые за-

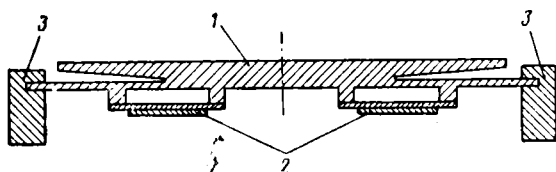


Рис. 32. Схематическая конструкция пьезоэлектрического датчика:

1 — плата (рабочая поверхность); 2 — четыре пьезоэлемента из фосфата аммония; 3 — плоская пружина

меряли количество ударов твердых частиц и импульс материала датчика, возникающий при локальном взрыве от столкновения с частицей. Чувствительный элемент датчика (выполненный, например, из кварца) обладает свойством преобразования механического воздействия в электрические колебания.

На рис. 32 показаны основные элементы и схематическая конструкция пьезоэлектрического датчика; принцип его работы состоит в следующем.

Под действием удара твердой частицы происходит смещение платы, вызывающее деформацию пьезоэлемента с выдачей электрического напряжения в форме кратковременных затухающих колебаний. Электрические сигналы поступают на специальный усилитель-преобразователь, который разделяет их по амплитуде на четыре диапазона и подсчитывает количество импульсов в каждом диапазоне; разрешающая способность системы равна 12—17 ударам в секунду.

Тарировка прибора производится наблюдением отскока шарика известной массы с фиксированной высоты; при этом датчик работает как баллистический прибор, т. е. практически так же, как при соударении с микрометеоритом.

Наибольшая сложность (и, к сожалению, значительная погрешность) связана со способом перехода от замеренного в полете импульса к подсчету соответствующей массы микрометеорита. Для снижения ошибок эксперимента особое внимание уделяется защите прибора от вибраций, уменьшению диапазона изменения его температуры и т. д.

Физически картина соударения твердой частицы с датчиком сводится к тому, что частица взрывается с выбро-

сом материала датчика и возникающий импульс существенно превышает импульс самой частицы.

Расчеты К. П. Станюковича показали, что регистрируемый импульс пропорционален кинетической энергии частицы, т. е. $\frac{mV^2}{2}$; однако М. А. Лаврентьев пришел к выводу, что импульс пропорционален величине $mV^{1,6}$; соответствующее значение, принимаемое американскими специалистами, равно mV (здесь m — масса микрометеорита, V — его относительная скорость встречи с датчиком).

Вторая неопределенность связана с выбором величины скорости встречи с микрометеоритом, входящей в расчеты, связанные с обработкой материалов измерений. Эта скорость не поддается непосредственному замеру, однако известно, что скорость движения микрометеоритов относительно Земли находится в пределах от 10 до 75 километров в секунду.

При определении массы твердых частичек, импульсы которых замерены пьезоэлектрическими датчиками, установленными на космических аппаратах, советскими учеными в последние годы принимается, что замеренный импульс пропорционален величине mV^2 ; значение V берется обычно равным 15 километрам в секунду (для окрестностей Луны оно, очевидно, завышено, а для метеорных потоков занижено).

Из многочисленных материалов по распределению твердых частичек в космосе, полученных с помощью советских и американских космических аппаратов, мы приведем суммарные результаты для окрестностей Земли и Луны, а также для межпланетного пространства.

Сводная картина распределения метеорных частиц по массам в окрестности Земли представлена на рис. 33.

Изучение концентрации микрометеоритов посредством искусственных спутников Земли и космических ракет показало, что пространственная плотность твердого вещества с удалением от Земли убывает весьма интенсивно вплоть до расстояний в сотни тысяч километров (рис. 34).

Существенное сгущение метеорной пыли наблюдается на высотах 100—300 километров от поверхности Земли, где частота ударов частиц на квадратном метре в секунду превышает межпланетную в тысячи и десятки тысяч раз.

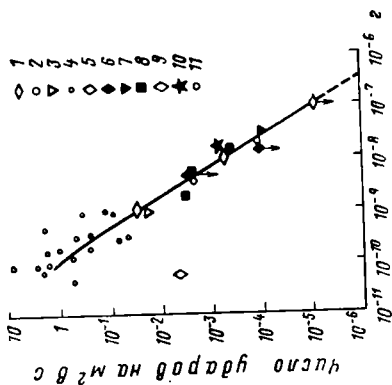


Рис. 33. Распределение метеорных частиц по массам в окрестности Земли:

1 — «Эксплорер-8»; 2 — «Авангард-3»; 3 — «Эксплорер-1»; 4 — ракеты США; 5 — третий советский искусственный спутник Земли; 6 — «Луна-1»; 7 — «Луна-2»; 8 — «Луна-3»; 9 — «Пионер-1»; 10 — «Электрон-2»; 11 — «Электрон-4».

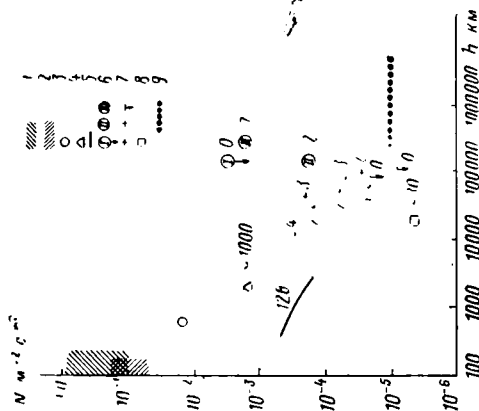


Рис. 34. Частота ударов твердых частиц о датчик (приведенная к одной чувствительности) при удалении от поверхности Земли:

1 — геофизические ракеты СССР; 2 — геофизические ракеты США; 3 — третий советский ИСЗ; 4 — «Авангард-3»; 5 — «Эксплорер-1»; 6 — «Луна-1»; «Луна-2»; «Луна-3»; 7 — «Пионер-1»; 8 — «Эксплорер-6»; 9 — зондирование дальнего облака.

Пространственная плотность твердых частиц в межпланетном пространстве характеризуется частотой столкновений с ними датчиков космических аппаратов, равной $5 \cdot 10^{-6}$ — 10^{-3} ударов на квадратном метре в секунду (для частиц с массой 10^{-8} граммов).

Разительного отличия в концентрации частиц при движении космических аппаратов от орбиты Земли к Солнцу и от него — на расстояния в десятки миллионов километров — не обнаружено, как это показали результаты измерений, осуществленных автоматическими станциями «Зонд-3» и «Венера-4». Среднее число ударов при движении от Солнца примерно в полтора раза превосходит число ударов при противоположном движении — $7,8 \cdot 10^{-5}$ и $5,7 \cdot 10^{-5}$ ударов на квадратном метре в секунду соответственно.

Преобладающее количество твердых частиц в Солнечной системе движется по эллиптическим орбитам в направлении, совпадающем с направлением движения планет. Иногда наблюдается резкое увеличение концентрации частиц (метеорные потоки), причем частицы либо достаточно равномерно распределены вдоль всей орбиты метеорного потока, либо имеют сгущения в отдельных участках орбиты.

Интересно отметить, что целый ряд космических аппаратов при своем полете зарегистрировал неизвестные нам ранее метеорные потоки. Так, например, спутником «Электрон-2» за 479 часов измерений было обнаружено три микрометеоритных сгущения, размеры которых доходили до 5 миллионов километров. Среднее число столкновений в сгущении имело величину порядка 0,1 удара на квадратном метре в секунду, что превосходит соответствующую частоту ударов в исследованном пространстве Солнечной системы примерно в тысячу раз (для указанных сгущений относительная скорость встречи была принята равной 60 километрам в секунду).

Научной станцией «Марс-1» при удалении от Земли на расстояние от 23 до 45 миллионов километров также был зарегистрирован неизвестный ранее метеорный поток со средней частотой столкновений $4,5^{-3}$ ударов на квадратном метре в секунду. Новые для нас сгущения твердых космических частиц отмечались и при полетах некоторых космических ракет, нашего третьего спутника, американского спутника «Эксплорер-1».

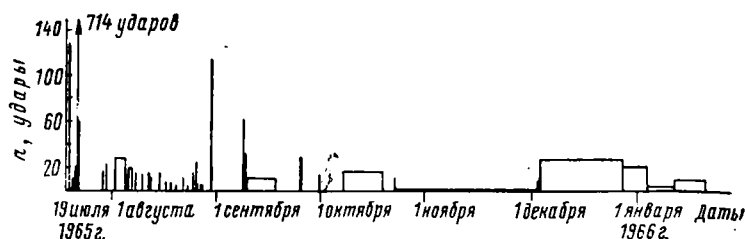


Рис. 35. Данные регистрации микрометеоритов по траектории полета автоматической станции «Зонд-3»

Неравномерность пространственного распределения микрометеоритов хорошо иллюстрируется результатами измерений автоматической станцией «Зонд-3», пересекавшей несколько метеорных потоков, часть из которых не была известна до запуска этой станции (рис. 35).

Достаточно полная картина концентрации твердых частиц в межпланетном пространстве может быть представлена в таблице, составленной по результатам измерений, сделанных советскими космическими аппаратами.

Материалы измерений, относящиеся к распределению метеорного вещества в окрестности Луны (на высотах 350—1015 километров от ее поверхности), были получены впервые при полете первого лунного спутника — научной станции «Луна-10».

Пьезоэлектрические датчики наклеивались на оболочку спутника; соответствующая поверхность, чувствительная к ударам микрометеоритов, была равна 1,2 квадратного метра.

За первые 40 суток активного существования спутника с 3 апреля до 12 мая 1966 года суммарное время регистрации показаний пьезоэлектрических датчиков составило почти 12 часов, причем было отмечено около 200 ударов частиц.

Если принять, что относительная скорость встречи станции с частичками твердого вещества имела величину примерно 15 километров в секунду (как это обычно принимается для околоземного пространства), то поток частиц с массами более $7 \cdot 10^{-8}$ граммов составит $5 \cdot 10^{-3}$ ударов на квадратном метре в секунду, т. е. он превышает средний поток микрометеоритов в межпланетном прост-

Космический аппарат	Дата измерения	Высота над Землей в тысячах километров	Масса частиц в граммах	Количество ударов на квадратном метре в секунду
Геофизическая ракета	24 мая 1957 года	0,1—0,2	10-8	—
„Космос-3“	25 августа 1957 года	0,1—0,2	10-8	—
„Луна-1“	15—25 мая 1958 года	0,4—1,88	6·10-8—2·10-7	—
„Луна-2“	2—4 января 1959 года	2—360	2·10-8—10-7	200·10-5
„Луна-3“	12—14 сентября 1959 года	2—360	10-8—4·10-8	5·10-5
„Марс-1“	4—18 октября 1959 года	102—470	10-7	9·10-5
„Электрон-2“	1 ноября 1962 года	6,6—42	7·10-9—2·10-8	40·10-5
	2 ноября—30 декабря 1962 года	42—23 000	2·10-8—6·10-8	200·10-5
	31 декабря 1962 года—30 января 1963 года	23 000—45 000	10-7	700·10-5
	30—31 января 1964 года	0,4—7,13	1,3·10-9	2·10-5
			3,3·10-8	500·10-5
			6,5·10-8—2·10-8	11 000·10-5
„Электрон-4“	23—25 февраля 1964 года	0,4—7,13	10-7	100·10-5
„Зонд-3“	3 февраля — 5 марта 1964 года	0,4—7,13	1,3·10-9	580·10-5
„Венера-2“	11 июля — 1 сентября 1964 года	0,4—7,05	6,5·10-8—2·10-8	75·10-5
	18 июля 1965 года	260 000	10-7	8·10-5
	12 ноября 1965 года	28 000	10-7	7·10-5
	26 января 1966 года			3·10-5

ранстве почти в 100 раз. Это можно объяснить тем, что под действием сравнительно небольшого притяжения Луны и в результате отсутствия у нее атмосферы, по-видимому, создаются условия, благоприятствующие образованию на окололунных орбитах большого количества мельчайших частиц твердого вещества, выбрасываемого с наружных слоев лунных пород при столкновении с метеоритами и микрометеоритами.

Имея в виду это обстоятельство, а также учитывая, что спутник Луны движется вокруг нее со скоростью менее 2 километров в секунду, относительную скорость встречи твердых частичек с рабочей поверхностью пьезоэлектрических датчиков для станции «Луна-1» следует принять меньше 15 километров в секунду.

Так, при скорости встречи спутника на окололунной орбите с твердыми частицами, равной 1—3 километрам в секунду, замеренный поток частиц с массами свыше 10^{-6} граммов окажется в 100 раз большим по сравнению с приведенным выше (для $V=15$ километрам в секунду).

Дополнительные материалы по метеорной обстановке вблизи лунной поверхности были получены аппаратами типа «Лунар Орбитер».

На каждом из этих аппаратов устанавливалось по 20 детекторов микрометеоритных частиц общей площадью 0,28 квадратного метра. Детектор представляет собой полый цилиндр с гелием (по его утечке фиксируется пробой цилиндра), стенки которого выполнены из бериллиевых пластин толщиной в 25 микрон. Согласно измерениям пятью аппаратами «Лунар Орбитер» было зарегистрировано 18 пробоев пластин детекторов микрометеоритами.

Резюмируя, можно прийти к двум предварительным выводам, нуждающимся в уточнении при дальнейших исследованиях.

Во-первых, столкновение космических аппаратов с микрометеоритами, опасными по размерам и концентрации, практически исключено (при длительности полета менее года).

Во-вторых, пространственная плотность твердых частичек в окрестности крупных небесных тел в сотни и тысячи раз превышает их плотность в межпланетном пространстве.





С появлением космических ракет и космических автоматических станций резко возрос интерес к изучению лунной поверхности; это объясняется следующими причинами.

Во-первых, существенно расширились возможности дальнейших исследований Луны, включая ее обратную сторону.

Во-вторых, подготовка к отправке космических аппаратов с посадкой на лунную поверхность требовала более подробного знания топографии (картографирование) и физических характеристик лунной поверхности, а также физических характеристик лунного грунта. Исследованию строения, струк-

КАРТОГРАФИРОВАНИЕ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

туры и физико-химических параметров верхних слоев грунта Луны посвящен следующий раздел.

Здесь рассматриваются последовательные этапы картографирования поверхности нашего спутника: фотографирование обратной стороны Луны (научными станциями «Луна-3», «Зонд-3», «Лунар Орбитер», «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8»), фотографирование отдельных участков видимого полушария Луны с переменной степенью различения деталей (аппаратами типа «Рейнджер») и обследование значительной части лунной поверхности с близкого расстояния с помощью искусственных спутников Луны — научных станций «Луна-12», «Луна-19» и аппаратов «Лунар Орбитер».

Основными объектами при картографировании Луны космическими аппаратами были: обратная сторона Луны, ее экваториальная зона (предполагаемые районы посадки космонавтов), рельеф и структура лунной поверхности. Объем и сложность этой работы видны, например, из того факта, что многие районы земного шара все еще не имеют достоверных карт. Так, карты в масштабе 1 : 1 000 000 изготовлены только для 80 процентов площади Земли, а карты в масштабе 1 : 25 000 — лишь для 5 процентов площади; картографирование территории нашей планеты в масштабе 1 : 25 000 предполагается завершить с помощью ИСЗ в ближайшее десятилетие.

С тех пор как Галилео Галилей свыше трех с половиной столетий тому назад впервые применил телескоп для астрономических наблюдений, изучение Луны прошло большой и успешный путь. Галилей первый зарисовал лунные горные образования, он же определил с удивительной для того времени точностью высоту наибольших гор (по длине отбрасываемых теней).

Первая научно достоверная карта Луны была создана польским астрономом Яном Гевелием (1647), который на основе собственных рисунков лунной поверхности сам выполнил гравюры на меди для печати. В последующем было издано большое количество точных карт с использованием визуальных и фотографических наблюдений.

Одной из лучших карт последнего времени, составленной под руководством американского астронома Дж. Койпера, является «Фотографический атлас Луны» (1960 год) в масштабе 1 : 1 400 000; разрешающая способность

снимков соответствует размерам деталей на местности, равным 800 метрам.

Для целей картографирования были составлены каталоги примерно двухсот опорных пунктов с точной взаимной привязкой координат; при этом использовались многочисленные наблюдения Луны при различных ее фазах.

ФОТОГРАФИРОВАНИЕ ОБРАТНОЙ СТОРОНЫ ЛУНЫ

Известно, что с нашей планеты видно 59 процентов поверхности Луны (с учетом ее либрации), и до классических работ К. Э. Циолковского, который доказал возможность создания аппаратов, преодолевающих земное притяжение, казалось, что оставшаяся площадь — 41 процент лунной поверхности — останется для человека вечной загадкой. Однако всего лишь через два года после запуска первого искусственного спутника Земли советским ученым и инженерам удалось создать автоматическую научную станцию «Луна-3», осуществившую впервые в истории облет нашего древнего спутника и фотографирование его обратной стороны.

Выбор траектории полета станции «Луна-3» и времени экспонирования при съемке представлял известные трудности.

Первым «естественным» желанием была, конечно, попытка сфотографировать почти всю невидимую с Земли лунную поверхность; но при этом очевидны два минуса: невозможность уверенного определения селенографических координат вновь обнаруженных образований и невысокое качество снимков при отвесном освещении лунной поверхности Солнцем (что практически получается, когда освещено все невидимое полушарие).

Поэтому программа фотографирования для станции «Луна-3» была составлена таким образом, чтобы можно было заснять половину лунной поверхности, одна треть которой располагалась бы на видимой стороне Луны, что позволяло осуществить координатную привязку новых образований к объектам, наблюдаемым с Земли, а также уточнить структуру краевой зоны видимого полушария, которая обычно наблюдается с очень большими перспективными искажениями.

Фотографирование обратной стороны Луны было выполнено автоматической станцией «Луна-3» 7 октября 1959 года на расстоянии около 65 тысяч километров от лунной поверхности; экспонирование длилось 40 минут.

Съемка производилась в двух масштабах одновременно двумя объективами фотоаппарата с фокусными расстояниями в 200 и 500 миллиметров. Использовалась фотопленка особого изготовления, а специальное малогабаритное устройство обеспечивало автоматическую обработку пленки в условиях невесомости: проявление, фиксацию, промывку и сушку.

Передача снимков лунной поверхности на Землю осуществлялась фототелевизионной системой; при этом медленно движущаяся пленка (для получения кадровой развертки) просвечивалась световым лучом постоянной интенсивности, равномерно перемещающимся поперек пленки от одного ее края до другого в одном направлении (строчная развертка) и быстро возвращающимся в противоположном направлении.

Прошедший сквозь пленку световой луч поступал на фотоэлектронный умножитель, выдающий электрический сигнал соответствующего напряжения телеметрической аппаратуре.

Была предусмотрена и успешно решена новая для космической аппаратуры проблема — защита фотопленки от длительного воздействия космического облучения при полете в межпланетном пространстве.

В наземном оборудовании принятые сигналы — кроме непосредственного фиксирования изображений — направлялись также до демодуляции и на магнитную запись; последующее использование магнитной пленки позволило при обработке полученных снимков устранить некоторые искажения изображений, вызванные радиопомехами при передаче.

Описание полета научной станции «Луна-3», ее фототелевизионной аппаратуры, полученные снимки, а также подробные материалы их обработки приведены в «Атласе обратной стороны Луны» (см. список литературы).

На рис. 36 показан один из снимков невидимой с Земли стороны Луны, переданный станцией «Луна-3». Распределение объектов, выявленных при предварительной обработке фотографий, полученных с борта станции «Луна-3», представлено на рис. 37; из рисунка видно, что



Рис. 36. Один из снимков обратной стороны Луны, полученный научной станцией «Луна-3»

«моря» видимого полушария — Краевое (III), Смита (V), и Южное (VII) — имеют продолжение на обратной стороне Луны, их конфигурация теперь установлена полностью.

Неожиданной особенностью обратной стороны Луны, как это показало фотографирование научной станцией «Луна-3», оказалось преобладание материкового щита и отсутствие обширных «морских» районов, характерных для видимого полушария; кроме того, на обратной стороне обнаружена повышенная плотность кратерных образований.

Более подробное исследование обратной стороны Луны было возобновлено — по истечении более чем пятилетнего срока — аппаратами «Зонд-3», «Луна-12», «Луна-19», «Лунар Орбитер», «Зонд-5», «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8».

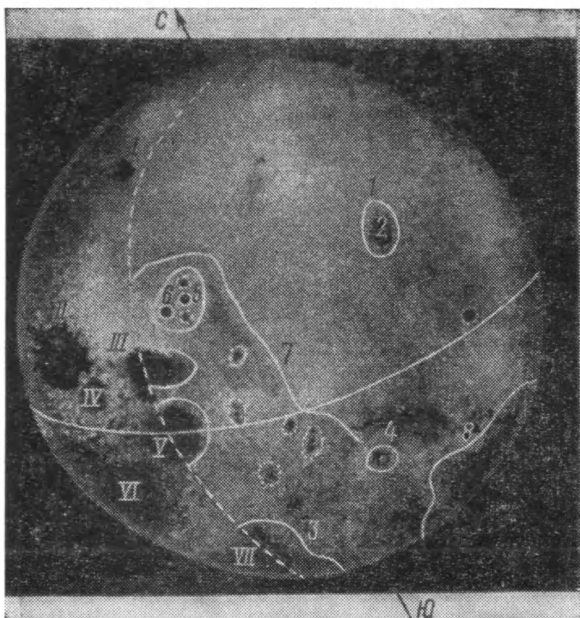


Рис. 37. Распределение наиболее крупных образований обратной стороны Луны, выявленных станцией «Луна-3». Сплошная линия, пересекающая диск Луны,— ее экватор, пунктирная линия — граница видимого и невидимого полушарий; наименования обнаруженных объектов обратной стороны Луны:

1 — Море Москвы; 2 — Залив Астронавтов; 3 — граница Моря Южного; 4—кратер Циолковский; 5—кратер Ломоносов; 6—кратер Жюлио Кюри; 7 — горный хребет Советский; 8 — Море Мечты; I — Море Гумбольдта; II — Море Кризисов; III — Краевое Море; IV — Море Волн; V — Море Смита; VI — Море Плодородия; VII — Южное Море

Автоматическая станция «Зонд-3» завершила — начатое станцией «Луна-3» — глобальное фотографирование обратной стороны Луны 20 июля 1965 года с расстояния около 10 тысяч километров; картографированием было охвачено свыше 95 процентов поверхности невидимого полушария Луны; незаснятыми остались небольшие районы лунных полюсов.

При этом картографирование обратной стороны Луны велось так, что обеспечивалась привязка снятой поверх-

На протяжении всего времени экспонирования (более часа) станция «Зонд-3» сканировала с небольшой угловой скоростью так, что ось фотоаппарата перемещалась от края через центр освещенной части лунного диска.

Конструктивная схема фототелевизионного прибора показана на рис. 38.

Станцией «Зонд-3» получено 25 кадров лунной поверхности — по 1100 строк в кадре и по 1100 элементов в строке (напомним, что в обычном телевидении в кадре всего 625 строк); качество снимков не уступало лучшим телескопическим.

Условия освещения при фотографировании были подобраны существенно лучше, чем при съемках станцией «Луна-3», так как предстояло картографировать примерно 6 миллионов квадратных километров, а не 10, как это было при первом фотографировании обратной стороны Луны.

Некоторые снимки обратной стороны Луны, полученные автоматической станцией «Зонд-3», приведены на



- 1 — отсек хранения фотопленки; 2 — столки; 3 — объектив; 4 — затвор; 5 — проекционное устройство; 6 — сушильный барабан; 7 — влагопоглотитель; 8 — ролики; 9 — кассета; 10 — фильмовое окно; 11 — ведущий вал; 12 — приемная кассета; 13 — двигатель; 14 — блок питания; 15 — раззерирующее устройство; 16 — зеркало; 17 — фотоумножитель; 18 — спектрограф.

рис. 39 и 40; часть снимков удалось объединить в стереоскопические пары, что повысило качество дешифровки.

Яркость сфотографированных образований лунной поверхности измерялась с помощью специального фотометрического устройства (оно изображено в углу снимков), которое на каждом снимке дает ряд тарированных значений яркости для сравнения с яркостью заснятых образований.

Обработка фотоснимков показала, что невидимое с Земли полушарие Луны покрыто материками, а количество кратеров заметно превышает их количество на видимой поверхности, однако это превышение мало, если сравнение производится лишь по «материкам».

Выявлено более 1000 кратеров, из них свыше 600 поперечником от 5 до 20 километров и около десятка с размерами, превышающими 100 километров.

Наклоны внутренних валов исследованных кратеров находятся в пределах до 22 градусов, наиболее распространенные наклоны заключены в пределах 5—10 градусов; глубины кратеров не превышают 6 километров.

Поверхность невидимого полушария Луны обладает фотометрической однородностью — с законом отражения, близким к закону отражения для фотометрически средней поверхности видимой стороны.



Рис. 39. Восточная часть видимой стороны Луны, снятая впервые без перспективных искажений, и прилегающая к ней обратная сторона; справа — Океан Бурь («Зонд-3», кадр № 5, высота над лунной поверхностью — 10 230 километров)

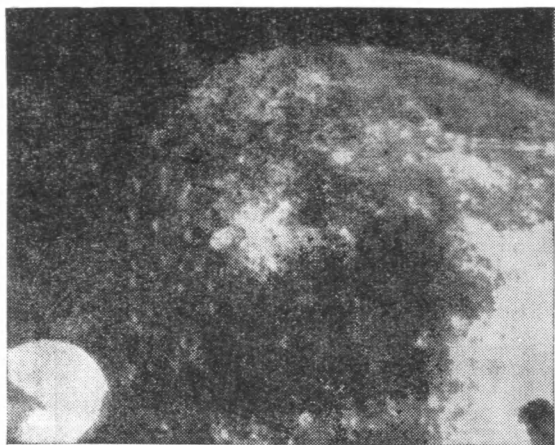


Рис. 40. Обратная сторона Луны, в центре — талассоид Кибальчич, крупный сдвоенный кратер Братья Вавилоры («Зонд-3», кадр № 22, высота над лунной поверхностью — 9140 километров)

Интересной особенностью рельефа обратной стороны Луны является наличие очень больших цепочек кратеров диаметром 15—30 километров, протяженностью до 770 километров и с центром в районе Моря Восточного (о новом типе лунных образований — талассоидах см. следующий раздел).

Кроме передачи изображений лунной поверхности, научная станция «Зонд-3» осуществила фотографирование спектров лунной поверхности в интервале длин волн от 2500 до 3500 ангстрем, а также спектрофотометрирование в диапазоне 1900—2700 ангстрем и от трех до четырех микрон.

Для привязки полученных спектров к сфотографированной местности конструкцией была предусмотрена параллельность оптических осей спектральных приборов и фотоаппарата.

Таким образом, менее чем через 10 лет с начала космической эры по материалам фотографирования нашего естественного спутника станциями «Луна-3» и «Зонд-3» впервые удалось создать полный глобус Луны (в масштабе 1 : 10 000 000) и полную карту (в масштабе 1 : 5 000 000).

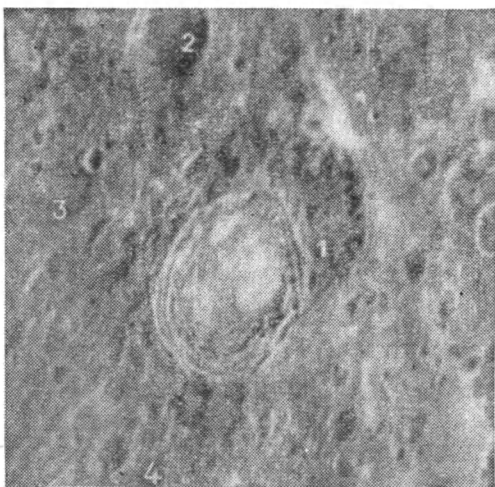


Рис. 41. Снимок района кратера Братя Вавиловы на обратной стороне Луны, переданный станцией «Зонд-6». Отмечены четыре кратера:

1—Братя Вавиловы; 2—Ловелл; 3—Этвеш; 4—Ван Гу

Дальнейшее уточнение структуры лунной поверхности было осуществлено в результате запусков других советских и американских автоматических станций.

Завершением программы картографирования обратной стороны Луны при облетной траектории на конец 1970 года явились запуски научных автоматических станций «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8».

Полет этих станций был необычен тем — и это составляет их особую научную ценность, — что после облета и фотографирования другого небесного тела автоматические станции возвращались на Землю и доставляли ученым уникальные пленки.

Ценность информации при этом по сравнению с телеметрической передачей снимков существенно повышается по следующим причинам: увеличение разрешающей способности по полю снимка, информативность и градация яркости. Кроме повышенной четкости снимка, использование отснятой фотопленки избавляет нас от геометри-

ческих искажений и радиопомех, связанных с телеметрической передачей.

Научная станция «Зонд-6» выполнила фотографирование Луны 14 ноября 1968 года при подлете к ней и облете нашего вечного спутника, охватив значительную часть видимого и невидимого полушарий.

Съемка производилась фотоаппаратом, имеющим фокусное расстояние 400 миллиметров, на изопанхроматическую пленку шириной 19 сантиметров; размер полученных кадров — 13×18 сантиметров.

Перед полетом были определены фотометрические и фотограмметрические характеристики фотоаппарата.

Во время фотографирования обратной стороны Луны станция «Зонд-6» находилась от ее поверхности на расстоянии примерно в 3000 километров; один из снимков, полученных при этом и охватывающий район двойного кратера Братя Вавилеры (ширина кратера — около 100 километров), приведен на рис. 41.

Следует отметить еще одну ценность фотосъемок со станций типа «Зонд-6»: они дают возможность получить профиль лунного диска в направлениях, отличающихся от направлений съемок с Земли, что помогает уточнить пространственную модель Луны и ее фигуру.

Последующее картографирование Луны (как и ряд других ее исследований) провели в августе и октябре 1970 года научные станции «Зонд-7» и «Зонд-8». Станцией «Зонд-7» было проведено два сеанса фотографирования Луны на цветную фотопленку: с расстояний 10 000 и (обратной стороны Луны) 2000 километров; станция «Зонд-8» произвела съемки лунной поверхности на цветную и черно-белую пленки с облетной траектории (минимальное расстояние — 1120 километров). Заснятые пленки были доставлены на Землю; после их обработки ученые-селенологи получили фотоснимки высокого качества, значительно обогатившие материалы картографирования Луны.

СНИМКИ ОТДЕЛЬНЫХ УЧАСТКОВ ВИДИМОГО ПОЛУШАРИЯ ЛУНЫ В РАЗЛИЧНЫХ МАСШТАБАХ

Первыми американскими космическими аппаратами для исследования Луны были аппараты типа «Рейнджер»,

которые в процессе сближения с Луной должны были с помощью телевизионной системы передавать на Землю снимки лунной поверхности в последовательно возрастающем масштабе.

Первые шесть пусков аппаратов «Рейнджер» (предварительного этапа) оказались неудачными. Задача эксперимента была выполнена только в трех последующих пусках, проведенных с июля 1964 по март 1965 года.

Аппараты «Рейнджер» имели по шесть телекамер каждый с фокусными расстояниями 75 и 25 миллиметров при разрешающей способности в среднем 1000 строк на дюйм.

Передача телевизионных изображений поверхности Луны начиналась с высоты приблизительно 2000 километров и заканчивалась на высотах в несколько сотен километров; у последнего снимка при этом наилучшее разрешение на местности достигало 0,3—0,5 метра.

С помощью наземного оборудования осуществлялось фотографирование снимков с телевизионного экрана на 35-миллиметровую пленку.

Встреча аппарата «Рейнджер-7» с лунной поверхностью произошла на северном краю Моря Облаков, а «Рейнджера-8» — в Море Спокойствия. Космический аппарат «Рейнджер-9» прилунился в кратере Альфонс, при этом терминатор был расположен от места съемки на расстоянии всего в 290 километров, что создало хорошие условия для получения изображений высокого качества.

Сравнение полученных снимков показывает, что поверхность Моря Спокойствия более ровная, чем поверхность Моря Облаков (в местах падения аппаратов), и покрыта веществом типа вулканической лавы; обнаружены кратеры глубиной до 20 метров.

На рис. 42 представлены изображения лунной поверхности, полученные аппаратом «Рейнджер-7» 31 июля 1964 года.

По снимкам, переданным этим же аппаратом, удалось составить карту участка Луны размерами 300×400 метров, которая показана на рис. 43.

Изображения поверхности Луны, переданные аппаратами типа «Рейнджер», позволили впервые увидеть лунный рельеф с деталями, в сотни раз более мелкими, чем

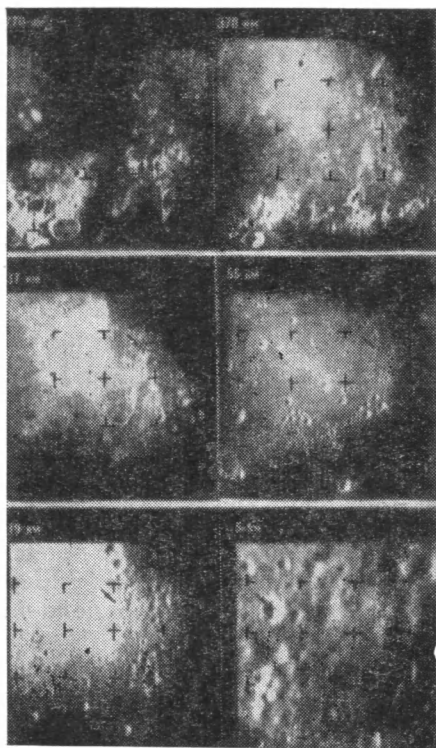


Рис. 42. Некоторые из последовательных снимков лунной поверхности, переданные аппаратом «Рейнджер-7»

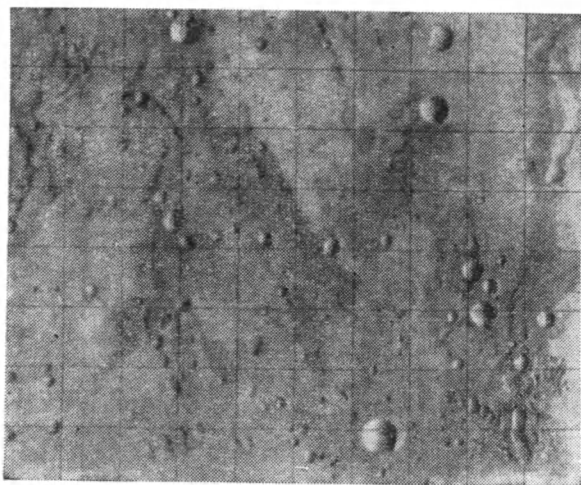


Рис. 43. Карта лунного участка размером 300 на 400 метров, составленная по снимкам, переданным аппаратом «Рейнджер-7»

это давали наблюдения в наземные телескопы. Однако разительные «новости» получены не были: характер лунной поверхности оставался прежним, прояснилась лишь структура светлых лучей от крупных кратеров — они распались на равномерно распределенные мелкие детали.

Кроме этого, по заявлению одного из научных руководителей программы «Рейнджер» Ювена Уайтейкера, можно было высказать следующие предположения: некоторые особенности рельефа лунных морей лучше объясняются движением жидкой массы; образования линейного характера имеются на «морях» и «материках», «моря» покрыты пылью не полностью и др.

ЛУННЫЕ СПУТНИКИ — ФОТОГРАФЫ

К началу 1966 года было практически закончено глобальное фотографирование всей поверхности Луны, включая ее обратную сторону (станции «Луна-3», «Зонд-3»), и крупномасштабное обследование одного из участ-

ков Океана Бурь — вокруг места посадки автоматической станции «Луна-9».

Таким образом, почти вся лунная поверхность была охвачена фотографированием; при этом были засняты объекты размерами в несколько километров, а один из районов — в миллион раз подробнее (его съемки позволяли разглядеть детали лунного рельефа миллиметровых размеров).

По каким же путям развивались дальнейшие исследования Луны?

Они пошли по двум направлениям: изучение физико-химических характеристик наружных слоев нашего природного спутника и развитие картографирования его поверхности, в первую очередь экваториальной зоны — предполагаемых мест посадки космонавтов.

Последняя задача решалась с помощью искусственных спутников Луны — автоматических станций «Луна-12», «Лунар Орбитер» и возвращаемых аппаратов типа «Зонд»; было выполнено фотографирование всей лунной поверхности с разрешением деталей на местности в несколько метров и крупнее.

Третий советский спутник Луны — научная станция «Луна-12» — был выведен на низкую селеноцентрическую орбиту, проходящую вблизи плоского лунного экватора.

В период фотографирования станция находилась от лунной поверхности на высоте приблизительно 100 километров; ориентация станции по заданному направлению выдерживалась при этом с точностью в несколько угловых секунд.

Фотографирование лунной поверхности, обработка пленки и передача изображений на Землю осуществлялись фототелевизионным устройством, каждый снимок в телевизионном изображении раскладывался в 1100 строк.

Ниже приведен снимок, на котором видны детали лунной поверхности, в сотни раз более мелкие по сравнению с лучшими фотографиями земных обсерваторий.

На рис. 44 показан район поверхности Луны, расположенный юго-восточнее кратера Аристарх, в пределах

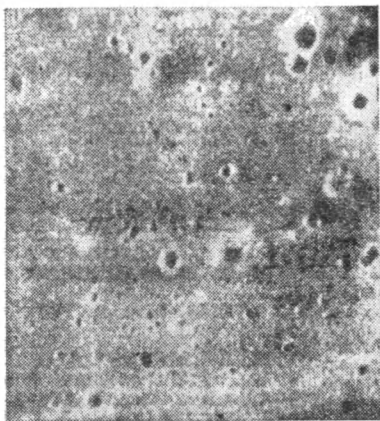


Рис. 44. Район лунной поверхности, заснятый станцией «Луна-12» юго-восточнее кратера Аристарх; площадь района — около 25 квадратных километров

системы светлых лучей, расходящихся от этого кратера; снимок покрывает около 25 квадратных километров.

Рассмотрение снимка подтверждает вывод, сделанный на основании телевизионных снимков, полученных аппаратами «Рейнджер», о том, что светлые лучи, идущие от некоторых крупных кратеров, представляют собой ряд мелких лунок и кратеров, образованных в результате выбросов вещества из основного кратера.

Интересные исследования примерно 2000 кратеров (поперечником от 50

до 400 метров) проведены на базе снимков участка Окееана Бурь; в частности, на площади 950 квадратных метров кратеры с размерами более 50 метров занимают третью часть площади рассмотренного участка.

Подробный анализ всех имеющихся материалов о районе кратера Аристарх (как и, конечно, кратера Альфонс) представляет весьма значительный интерес, так как этот район обладает рядом замечательных особенностей, привлекающих внимание астрономов. Вблизи кратера Аристарх неоднократно наблюдалось странное свечение типа люминесценции; около него было обнаружено единственное на видимой стороне Луны пятно, имеющие исключительно сильное поглощение в ультрафиолетовой части спектра; в районе кратера отмечались спектральные признаки выхода молекулярного водорода и, наконец, на основании весьма точных поляриметрических измерений в Государственном астрономическом институте имени П. К. Штернберга было зарегистрировано явление, говорящее о возможности возникновения кратковременного газо-пылевого облака.

Интересный набор панорам лунной поверхности передан на Землю с орбиты спутника Луны станцией «Луна-

19»; этот материал позволит углубить топографические и геолого-морфологические исследования лунного рельефа.

Основной целью программы «Лунар Орбитер» являлось глобальное фотографирование видимой лунной поверхности с накоплением материалов, позволяющих сделать выбор мест для посадки лунного отсека космического корабля «Аполлон».

Пригодными для посадки лунной кабины с космонавтами считались участки с наличием двух-трех площадок достаточных размеров, имеющих наклон не более 7 градусов и не имеющих камней и впадин в поперечнике свыше 2 метров, а высотой (глубиной) более 0,5 метра.

В течение одного года (с августа 1966 года по август 1967 года) было запущено пять аппаратов «Лунар Орбитер» на различные орбиты спутников Луны с высотой полета от 40 до 6000 километров; в результате обследования и картографирования лунной поверхности было намечено восемь районов, признанных годными для прилунения космических аппаратов с космонавтами.

Спутники-фотографы «Лунар Орбитер» были оснащены фототелевизионной системой, аналогичной соответствующим системам научных станций «Луна-3» и «Зонд-3».

Фотоустановка фирмы Кодак, установленная на борту «Лунар Орбитер», имела две фотокамеры, обеспечивающие разрешающую способность при съемке с высоты 46 километров — 8 метров и 1 метр, при этом в поле зрения попадают участки размерами соответственно $31,6 \times 37,4$ километра и $16,6 \times 4,15$ километра.

Съемки производились как над видимой, так и над невидимой сторонами Луны с последующим проявлением 70-миллиметровой фотопленки и передачей изображений на Землю телевизионным устройством.

Аппарат «Лунар Орбитер-1» передал фотоснимки лунной поверхности площадью около 5 миллионов квадратных километров, «Лунар Орбитер-2» сфотографировал примерно 3,5 миллиона квадратных километров поверхности Луны.

Интересный снимок, полученный космическим аппаратом «Лунар Орбитер-1», приведен на рис. 45; на снимке участка лунной поверхности отчетливо прослеживается несколько своеобразных цепочек кратеров.

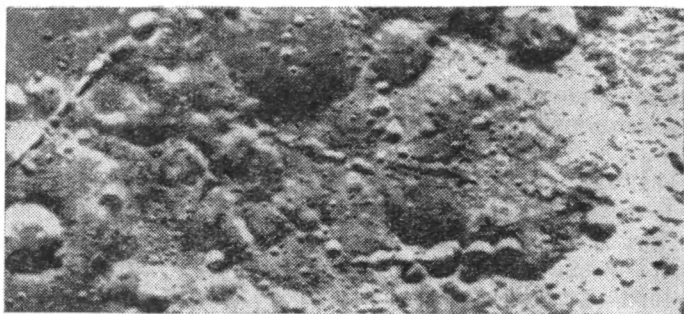


Рис. 45. Изображение лунного участка с цепочками кратеров, полученное аппаратом «Лунар Орбитер-1»

Другими аппаратами типа «Лунар Орбитер» передано на Землю также значительное количество оригинальных и удачных снимков. В частности, анализ изображений, переданных с аппарата «Лунар Орбитер-2», подтвердил наличие вулканической деятельности на Луне; на снимках видны «озера», заполненные, очевидно, лавой, и большое количество «куполов» высотой до 450 метров и крутизной склонов до 30 градусов, т. е. заметно превышающей обычно наблюдаемые склоны кратеров.

Кроме того, аппаратом «Лунар Орбитер-2» получены высококачественные снимки центральной части кратера Коперник, один из которых, охватывающий часть дна и вала кратера, показан на рис. 46.

Космическому аппарату «Лунар Орбитер-3», помимо картографирования, удалось получить снимок автоматической станции «Сервейер-1», совершившей ранее мягкую посадку на Луну.

После полета аппарата «Лунар Орбитер-3» появилась возможность выбора восьми посадочных площадок для лунного отсека корабля «Аполлон»; в связи с этим главной задачей запуска аппарата «Лунар Орбитер-4» было фотографирование всей видимой лунной поверхности и части обратной стороны с целью составления карты Луны и распространения координатной сетки на невидимое полушарие Луны.

Космический аппарат «Лунар Орбитер-4» передал на Землю большое количество изображений лунной поверхности; только на видимом полушарии Луны съемками

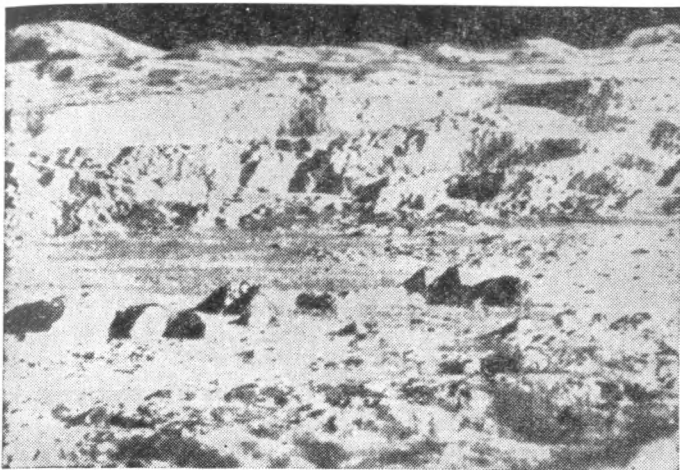


Рис. 46. Снимок дна кратера Коперник, полученный аппаратом «Лунар Орбитер-2» с высоты 45,7 километра

было охвачено 99 процентов поверхности; впервые были получены снимки полярных районов Луны; разрешающая способность в 10 раз превышала возможности телескопических наблюдений; фотографирование производилось с высот в диапазоне 2700—6000 километров. В полярных областях Луны обнаружены новые элементы рельефа, в частности «канал» длиной в 24 километра и шириной в 8 километров (съемки производились почти отвесно).

Завершающий полет аппарата «Лунар Орбитер-5» происходил по низкой селеноцентрической орбите над экваториальной зоной Луны; при фотографировании с высоты 100 километров оказалось возможным получить различие деталей лунной поверхности размерами до двух метров и продолжить уточненное картографирование районов лунного экватора.

Аппарат «Лунар Орбитер-5» сфотографировал под разными углами пять участков поверхности Луны, которые ранее были выбраны в качестве пригодных для посадки лунного отсека с космонавтами.

Этим же аппаратом засняты отдельные области западной половины обратной стороны Луны, до этого еще не сфотографированные: переданы также снимки тридцати

шести отдельных районов лунной поверхности (кратеров Аристарх, Альфонс, Коперник, Гиппарх, Тихо, Моря Дождей и т. д.), которые представляют особый интерес для ученых.

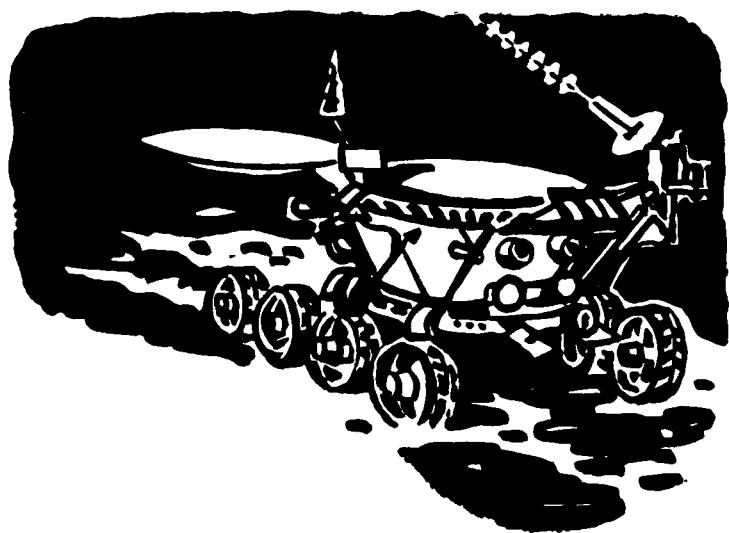
Полетами космических аппаратов «Лунар Орбiter» был завершен начатый автоматической станцией «Луна-3» этап глобального картографирования поверхности Луны. Были составлены крупномасштабные карты и создан глобус Луны; выявлено, что «моря» занимают 16 процентов поверхности Луны с резким преобладанием их на видимой стороне; установлена закономерность существенного увеличения количества кратеров с уменьшением их диаметра и т. д.

Более подробное изучение рельефа и структуры лунной поверхности стало возможным только после мягкой посадки на Луну научной станции «Луна-9» и других космических аппаратов.

В заключение настоящего раздела хочется подчеркнуть, что пример исследования Луны, особенно ее обратной стороны, вселяет в нас уверенность в непрерывно растущем могуществе человека и в возможности все более полного и успешного овладения внеземными природными богатствами.

●

.



Исследование Луны с помощью космической техники явилось необычайно эффективным, качественно новым дополнением к традиционным оптическим и радиолокационным методам изучения. И если до запуска космических аппаратов удалось получить некоторое количество информации о свойствах и строении поверхности, о структуре наружных слоев видимой стороны нашего спутника, то неизмеримо большие возможности появились с доставкой научной аппаратуры непосредственно к Луне и на Луну.

Достаточно отметить, что по сравнению с лучшими современными телескопами, различающими объекты размерами

ФИЗИКО- ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛУНЫ

лишь крупнее 800 метров, аппараты типа «Рейнджер» оказались в 1000 раз более зоркими, а научные станции «Луна-9», «Луна-13» и «Луна-17» передали изображения, на которых различимы детали лунной поверхности размерами порядка одного миллиметра.

Кроме того, после посадки автоматических станций на поверхность Луны, создания лунных спутников и возвращения космических аппаратов с Луны на Землю стало возможным определение химического состава, прочности, тонкой структуры, плотности, радиоактивности лунных пород, а также ряда других характеристик Луны.

СТРУКТУРА И СТРОЕНИЕ ЛУННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Представление о строении поверхности Луны в целом было впервые получено в октябре 1959 года после фотографирования невидимой с Земли стороны Луны автоматической научной станцией «Луна-3». Последующие съемки лунной поверхности космическими аппаратами «Зонд-3», «Зонд-6», «Зонд-7», «Зонд-8», Луна-12» и «Лунар Орбитер» позволили достаточно полно понять основные глобальные особенности лунного рельефа и строения всей поверхности Луны.

Обратная сторона Луны характерна резким преобладанием материковых районов (доля «морей» составляет лишь 3 процента общей площади поверхности Луны) в отличие от видимой стороны, на которой лунные моря занимают около 30 процентов всей лунной поверхности. Это обстоятельство определяет заметную асимметрию лунного шара, так как «морские» районы (области затопления лавой) отличаются от материковых сравнительно ровной поверхностью, небольшим количеством кратеров и меньшим коэффициентом отражения видимого света.

На обратной стороне Луны обнаружены образования нового типа, названные талассоидами (мореподобными), имеющие размеры, близкие к размерам лунных морей. Однако в отличие от морских районов дно талассоидов не имеет темного тона и представляет собой по своему характеру типичную материковую поверхность.

Маломасштабная структура лунной поверхности — лишь первый объект в изучении Луны; более глубокое ее исследование могло быть продолжено с доставкой науч-

ной аппаратуры непосредственно на наш естественный спутник.

Мягкая посадка на поверхность Луны в морском районе первого космического аппарата — автоматической научной станции «Луна-9» — разрешила многолетние сомнения о характере тонкой структуры наружных слоев лунной поверхности. Что они представляют собой: мощный пласт пыли или пемзообразное вещество? Достаточно ли их прочность, чтобы выдержать вес автоматической станции?

Успешная посадка и надежное функционирование автоматических станций «Луна-9», «Луна-13», «Луна-16», «Луна-17», «Луна-20», аппаратов типа «Сервейер» и кораблей «Аполлон» подтвердили самые оптимистические предположения: поверхностные слои Луны обладают достаточной прочностью; полученные материалы позволяют составить представление о микроструктуре наружных лунных пород.

Крупномасштабные панорамные изображения лунного ландшафта были получены впервые 4 февраля 1966 года с помощью телевизионной системы автоматической станции «Луна-9».

Телевизионная камера (рис. 47) была установлена в верхней части научной лунной станции; нижняя часть камеры размещалась в герметическом корпусе станции; выступающая поверхность камеры позолочена для обеспечения необходимого теплового режима; сверху камера прикрыта теплоизолирующим экраном, защищающим ее от нагрева Солнцем.

Для передачи лунных панорам была выбрана сканирующая оптико-механическая система, которая, хоть и не может передавать динамические изображения (практически отсутствующие на Луне), выгодно отличается от электронных телесистем высокой надежностью и небольшими габаритами, незначительной массой, малым энергопотреблением. Принцип работы телевизионной камеры виден из ее схемы, приведенной на рис. 48.

Передача изображения на светоприемник осуществляется устройством из зеркала, кулачка, объектива и диафрагмы: зеркало совершает качание по вертикали (строчная развертка) и вращение по горизонтали (кадровая развертка).

Вертикальный угол обзора камеры составляет 29 градусов, что с учетом предусмотренного конструкцией станции наклона на 16 градусов к плоскости посадки обеспечивает получение как изображения микрорельефа вблизи станции, так и общего ландшафта до лунного горизонта.

Для получения качественных изображений в широком диапазоне освещенности лунной поверхности — от 80 до 150 000 люксов — телекамера оборудована системой автоматической регулировки чувствительности камеры.

Автоматической станцией «Луна-9» было передано (при высоте Солнца над лунным горизонтом в 7, 14 и 27 градусов) три полных панорамных изображения и два фрагмента лунной поверхности вокруг станции на расстояниях от телекамеры в пределах от 1,5 метра и до горизонта; на рис. 49 приведен один из фрагментов третьей панорамы. После получения второй панорамы наклон

станции изменился с 16 градусов 30 минут до 22 градусов 40 минут; при этом удалось получить стереоскопические пары снимков и точнее понять рельеф поверхности.

Станция «Луна-9» совершила посадку на западной окраине Океана Бурь в районе кра-

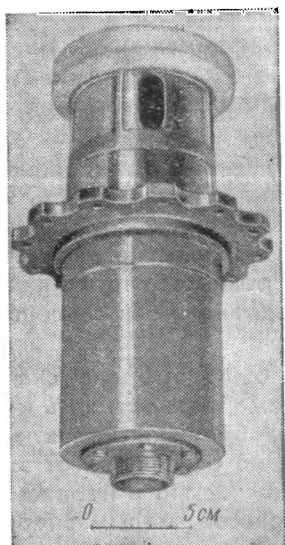


Рис. 47. Телевизионная камера автоматической станции «Луна-9»

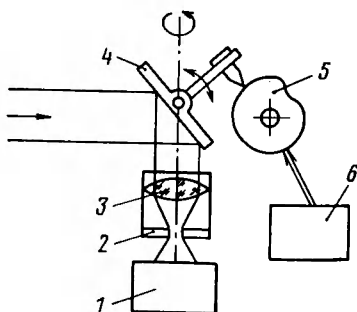


Рис. 48. Схема телевизионной камеры автоматической станции «Луна-9»:

1 — светоприемник; 2 — диафрагма; 3 — объектив; 4 — зеркало; 5 — кулачок; 6 — двигатель



Рис. 49. Фрагмент третьей панорамы лунной поверхности, полученной станцией «Луна-9»

теров Кавальери и Гевелий; место посадки представляет собой область, промежуточную между «материковой» и «морской».

По характеру горизонталей, построенных на основании полученных панорам, можно предположить, что станция находится на склоне кратера диаметром около 15 метров и глубиной не более одного метра.

Поверхность в районе посадки станции достаточно ровная и плавная; поверхностный слой имеет губкообразную структуру; пылевого или сыпучего грунта не обнаружено.

На основании изучения изображений, переданных станцией «Луна-9», можно отметить три характерных типа мелких деталей строения лунной поверхности; лунки (кратеры), камни и линейные структуры. На одном квадратном метре поверхности находится в среднем по три камня размерами 2—25 сантиметров и по четыре лунки диаметром от 5 до 25 сантиметров; чем крупнее камень или лунка, тем их меньше. Элементы линейных структур располагаются по линиям, близким к прямым, и создают лучистые и другие образования в результате их пересечения.

Автоматическая станция «Луна-13» совершила мягкую посадку на Луну в районе Океана Бурь на расстоянии около 400 километров от станции «Луна-9»; однако в отличие от последней станция «Луна-13» опустилась на равнину характерно «морского» типа.

Переданные станцией «Луна-13» круговые панорамные изображения лунной поверхности вокруг места прилунения показывают, что структура лунного грунта близка к структуре грунта в районе посадки автоматических станций «Луна-9» и «Сервейер-1» (расположенном вблизи кратера Флемстид).

В обследованном районе подтвердилось предположение об отсутствии сколько-нибудь существенного пылевого слоя, но были зафиксированы сильная микроизрытость поверхности, наличие многочисленных образований кратерного типа и значительного количества камней. Так, например, на площади 14,8 квадратного метра в районе посадки станции «Луна-13» обнаружено 320 камней (размерами от 20 до 200 миллиметров).

Снимки лунной поверхности (рис. 49 и 50), полученные автоматическими станциями «Луна-9» и «Сервей-

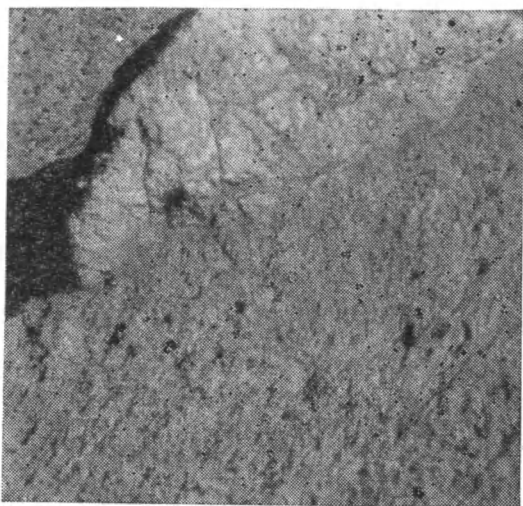


Рис. 50. Снимок лунной поверхности, полученный аппаратом «Сервейер-1»

ер», с примерно одинаковой разрешающей способностью позволили сделать выводы о некоторых общих свойствах лунного рельефа, типичных образованиях мелких деталей и микроструктуре поверхностного слоя для морских районов. В частности, они показали, что рельеф лунной поверхности (за исключением отдельных горных районов) более плавный, чем представлялся нам ранее по данным телескопических наблюдений.

Интересной особенностью лунного рельефа является отмечаемое почти на всех изображениях, переданных с Луны, чрезмерное возвышение отдельных камней и некоторых элементов лунного грунта над поверхностью. Создается впечатление, что вокруг их основания более податливое вещество было убрано чьей-то аккуратной рукой. Как показывают расчеты, такой «рукой» могут являться микрометеориты, при ударе которых наблюдается отрицательный баланс массы. А именно, масса вещества, выбрасываемая с Луны (при взрыве метеорита от удара) со скоростями, достаточными для преодоления лунного притяжения, превышает массу упавшего метеорита. Уносятся преимущественно наиболее мягкие породы; более

твердые начинают обнажаться и выступать над поверхностью.

Обширный материал для понимания структуры лунного грунта и строения лунной поверхности дали также полеты на Луну пилотируемых кораблей «Аполлон» и автоматических научных станций «Луна-16» и «Луна-17». Были подтверждены мелкозернистый характер поверхностных лунных пород, некоторое увеличение их прочности и уменьшение пористости с углублением в грунт, изменение структуры в зависимости от рельефа. Так, например, экипаж корабля «Аполлон-11» отметил различную глубину погружения ног в поверхностный слой грунта: на горизонтальных площадках — в пределах 0,6—1,2 сантиметра; на краях кратеров 5—10 сантиметров; на склонах кратеров 15—18 сантиметров.

Колонка лунного грунта до глубины 35 сантиметров (по данным изучения образцов, доставленных на Землю станцией «Луна-16») представляет собой разнотоннозернистый материал темного цвета. Структура грунта, тонкозернистая у поверхности, с глубиной, в нижней части колонки, становится крупнозернистой; средняя величина частиц размерами менее 1 миллиметра соответственно составляет 70 и 120 микрон. Ниже колонки в месте взятия образцов идет твердая горная порода.

Классификацию лунных пород, доставленных станцией «Луна-16», академик А. П. Виноградов предложил провести по следующим типам.

Базальтовые породы двух видов (определяемых условиями застывания базальтового расплава) — мелкозернистые и крупнокристаллические, составляющие четвертую часть всех крупнозернистых фракций.

Брекчии — сцементированные породы, образовавшиеся в результате уплотнения мелкораздробленного материала; многие брекчии намагничены; составляют до 40 процентов от общего числа частиц.

Спеки — спекшиеся частицы, образующие агрегаты сложной ветвистой структуры; их содержание в лунном грунте доходит до 20 процентов.

Стекла, остеклованные и ошлакованные частицы — пузыристое или гладкое остекловывание темных тонов (происходящее при очень быстром нагреве холодных частиц); остекловано (полностью или частично) до половины лунных частиц.

Полевошпатные породы — белые поликристаллические зерна, содержащиеся в лунном грунте в незначительном количестве; застывшие капли различного цвета и формы, часто пустотелые (отмечено увеличение их содержания в мелких фракциях). Их образование происходит при температурах, превышающих температуру плавления горных пород и метеоритов.

Частицы металлического железа — изредка в виде отдельных осколков (очевидно, железных метеоритов) и мелких включений в брекчии и спеки.

Лунный грунт, доставленный на Землю станцией «Луна-20», в отличие от грунта в месте посадки станции «Луна-16» имеет более светлые и крупные частицы, в нем преобладают кристаллические породы с четкими гранями скола и сравнительно мало ошлакованных брекчий и сфероидов.

Качественно новым этапом в изучении строения и структуры лунной поверхности явились исследования подвижной комплексной научной лаборатории «Луноход-1» станции «Луна-17», которые дали громадный объем новой научной информации о различных участках целого района Луны в Море Дождей.

Создание самоходной лаборатории позволило сделать следующий шаг в изучении Луны — перейти к долговременному и детальному обследованию больших площадей лунной поверхности, характеристик лунных пород и окололунного пространства, а также использовать Луну как базу для астрономических наблюдений окружающего мира. Этот этап закономерно подготовлен исследованиями всех предыдущих автоматических лунных станций, которые позволили понять основные глобальные характеристики Луны и детальные параметры лунного грунта в отдельных точках.

Самоходный аппарат «Луноход-1» (наряду с другими исследованиями) провел изучение рельефа, строения и структуры наружного покрова Луны на значительной площади.

За период своего функционирования на Луне луноход прошел в общей сложности 10 540 метров пути, при этом им было преодолено несколько десятков кратеров разных по размерам и рельефу.

На всем пути следования луноход систематически передавал на Землю панорамы лунной поверхности, даю-

щие картину ее строения; колея лунохода позволяет оценить и структуру грунта Луны (рис. 51) — по характеру деформации внешних слоев породы.

Во время передвижения лунохода непрерывно замерялись его крен и дифферент. Наибольшие наклоны лунной поверхности на склонах кратеров, преодолеваемые луноходом, достигали 25 градусов; кратеры с большими углами склонов луноход обходил.

По трассе движения лунохода неоднократно встречались россыпи камней размером до 15 сантиметров и более; их максимальная концентрация наблюдалась вокруг кратеров — очевидно выбросом из кратеров и определяется существование большинства скоплений камней.

Обнаружен новый тип лунных образований — террасы, возвышающиеся небольшими уступами над поверхностью; возможно, что эти сложные по профилю складки образовались при застывании излившейся из недр лавы.

Величина и рельеф района, обследованного луноходом за первые три лунных дня, хорошо иллюстрируются топографической схемой его движения (рис. 52). На схеме показаны характерные лунные образования по пути следования лунохода и пункты, в которых производился химический анализ грунта; топографическая съемка охватывает полосу шириной до 150 метров и протяженностью 3600 метров.

Вообще структура поверхности планет и их крупных спутников, лишенных плотной атмосферы, по мнению некоторых ученых, должна иметь много общего. Эта общность определяется тем обстоятельством, что основными формирующими рельеф факторами являются космические и эндогенные факторы, роль воды, а также эрозии — минимальна (в отличие от формирования рельефа на Земле). Такая точка зрения получила подтверждение после фотографирования Марса космическим аппаратом «Маринер-4»: поверхность Марса оказалась изрытой многочисленными кратерами и образованиями типа лунных морей.

Таким образом, изучение нашей ближайшей небесной соседки Луны может пролить свет на строение и структуру поверхности Меркурия и Марса, а также таких спутников некоторых планет Солнечной системы как Ганимед, Каллиосто, Ио, Европа, Тритон, Титан.

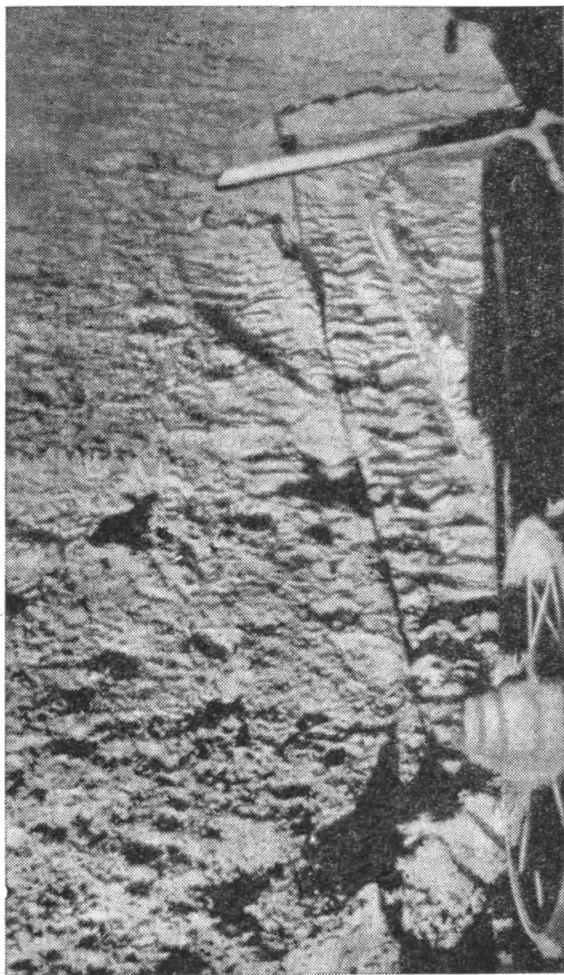


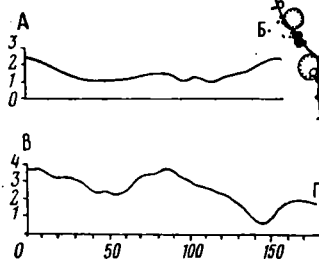
Рис. 51. Часть панорамы лунной поверхности, полученной самоходным аппаратом «Луноход-1»; видна колея, проложенная им при движении по лунной поверхности

М а с ш т а б



Условные обозначения

- ▲ — место посадки станции „Луна-17“
- == — трасса движения „Лунохода-1“
- — — — — исследование химического состава лунного грунта
- — отдельные камни
- — россыпи камней
- ⊙ — кратеры и лунки
- ⊛ — центральные горки
- — направление движения



Высоты даны от условного
начального уровня

Естественно, что наибольший интерес представляют спутники Юпитера и Сатурна, так как изучение этих планет пилотируемыми аппаратами будет, очевидно, включать в себя посадку на их спутники. Посадка на эти планеты затруднена значительной силой тяжести у их поверхности (на Юпитере она в 2,5 раза превышает земную), а может быть и вообще неосуществима — если Юпитер и Сатурн не имеют твердой поверхности.

ПЛОТНОСТЬ, СОСТАВ И РАДИАЦИОННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОРОД ЛУНЫ

Непосредственное определение плотности и механической прочности наружного слоя лунного грунта было впервые произведено приборами, доставленными на поверхность Луны автоматической станцией «Луна-13».

В состав научной аппаратуры станции, в частности, входили: радиационный плотномер, механический штамп-грунтомер и динамограф, регистрирующий величину и длительность динамической перегрузки (действующей на станцию в момент прилунения).

После посадки станции и открытия лепестковых антенн специальные механизмы, выполненные в виде разворачивающихся многозвенников, выносят приборы в различные стороны на расстояние около 1,5 метра от станции (рис. 53). Кинематика механизмов построена таким образом, что чувствительная часть аппаратуры достаточно плотно прилегает к поверхности лунного грунта.

Плотность наружного слоя лунных пород (толщиной порядка 15 сантиметров) определялась с помощью радиационного гамма-плотномера, датчик которого располагался на выносной части, а электронный блок, обрабатывающий информацию от датчика, — в корпусе станции.

Конструкция выносной части радиационного плотмера показана на рис. 54; его датчик представляет собой плоский корпус размерами $25,8 \times 4,8 \times 1$ сантиметр с

←

Рис. 52. Схема передвижения «Лунохода-1» по лунной поверхности за первые 65 суток его функционирования на Луне

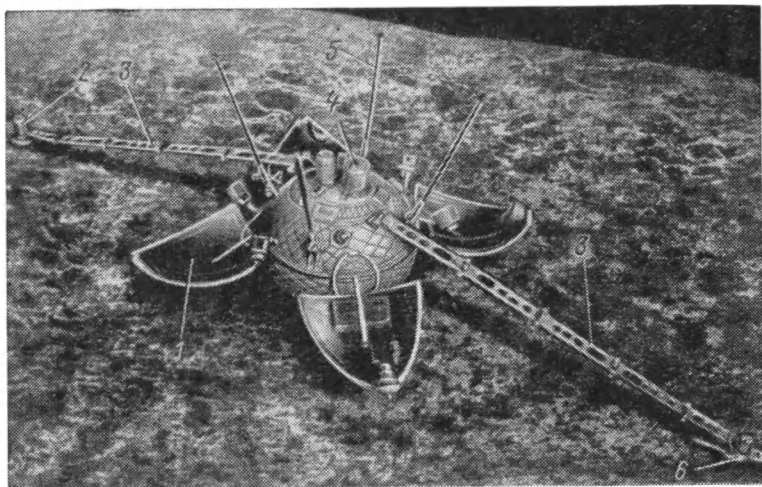


Рис. 53. Автоматическая станция «Луна-13» в рабочем положении:

1 — лепестковые антенны; 2 — грунтомер-пенетrometer; 3 — механизм выноса приборов; 4 — телевизионная камера; 5 — штыревые антенны; 6 — радиационный плотномер

боковыми сегментами, обеспечивающими его ориентацию на лунной поверхности.

В корпусе датчика размещен радиоактивный изотоп цезия, излучающий гамма-кванты; в результате поглощения и рассеивания гамма-квантов веществом лунных пород часть их возвращается к поверхности грунта и регистрируется счетчиками. В целях уменьшения погрешности, связанной с неровностью лунной поверхности, для обработки используются осредненные значения измерений, выполненных тремя независимыми счетчиками датчика.

Для исключения прямого попадания гамма-квантов от изотопа к счетчикам между ними установлен свинцовый экран.

Достаточно полная независимость определения плотности лунных пород от их химического состава была достигнута следующим образом. При облучении вещества гамма-квантами происходят три физических процесса: фотоэффект, образование пар электрон — позитрон (при которых наблюдается полное исчезновение гамма-квантов) и комптон-эффект, сопровождающийся рассеянием

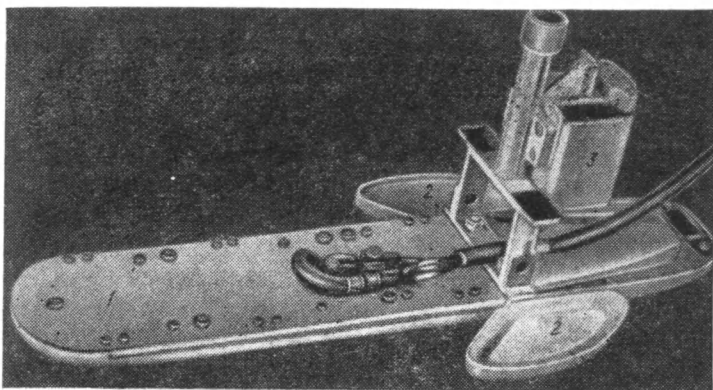


Рис. 54. Датчик радиационного плотнoмера:

1 — корпус датчика; 2 — боковые сегменты; 3 — надстройка для крепления к выносному механизму

гамма-квантов и изменением направления их движения. Используя гамма-кванты с энергией 0,5—3 мегаэлектрон-вольт, приводящей в основном к комптон-эффекту, сечение которого пропорционально атомному номеру и обратно пропорционально массе элемента, получают зависимость плотности исследуемого вещества от зарегистрированной интенсивности рассеянного излучения; так как упомянутое отношение практически неизменно для большинства элементов горных пород и грунтов, близких к лунным, то результаты измерений плотности имеют высокую достоверность.

Величина плотности лунного грунта определялась совместно с привлечением результатов измерений механическим грунтомером станции «Луна-13» (см. ниже).

Механическая прочность поверхностного слоя лунного грунта замерялась (станцией «Луна-13») с помощью грунтомера-пенетromетра, общий вид которого показан на рис. 55.

Нижний конец пластмассового корпуса грунтомера имеет кольцевой штамп (диаметром 12 сантиметров), который опирается на лунную поверхность; в центральной части штампа размещен титановый индентор диаметром 3,5 сантиметра, переходящий в заостренный конус. Индентор, совмещенный с корпусом реактивного порохово-

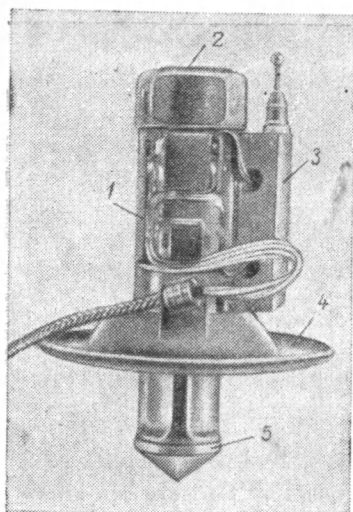


Рис. 55. Грантомер-пенетро-метр:

1 — корпус; 2 — крышка корпуса; 3 — потенциометр; 4 — кольцевой штамп; 5 — индентор (в крайнем нижнем положении)

го двигателя со средней силой тяги около 6,5 килограмма, служит основной рабочей частью грантомера.

Непосредственно после срабатывания выносного механизма и отсчета нулевого положения индентора включается реактивный двигатель, и индентор углубляется в грунт до 5 сантиметров в зависимости от его механической прочности. При перемещении индентора относительно корпуса прибора и закрепленного на нем потенциометра меняется соотношение плеч потенциометра и соответственно напряжение на его выходных контактах. Измерительная система конструкции грантомера обеспечивает изме-

рение перемещения индентора с точностью до 0,3 миллиметра.

Обработка материалов телеметрии показала, что после срабатывания порохового двигателя индентор выдвинулся на величину 4,5 сантиметра и примерно в течение суток сохранял это положение, после чего указанное расстояние уменьшилось на несколько миллиметров — очевидно в результате температурных деформаций выносного механизма.

Наземная тарировка грантомера-пенетрометра и радиационного плотнометра станции «Луна-13» производилась главным образом на пористых и рыхлых образцах малого удельного веса.

Для оценки степени точности и достоверности измерений плотности и механической прочности лунного грунта аппаратурой автоматической станции «Луна-13» предварительно, в наземных условиях, был произведен учет воздействия различных физических факторов. К этим факторам относились: отличие (от земных значений) ускорения силы тяжести, величины разреженности атмос-

феры, статических и динамических нагрузок, неровностей лунной поверхности и др.

В связи с этим были особо обработаны материалы панорамных съемок станции «Луна-9»; соответственно тарировки приборов станции «Луна-13» производились на ровной и неровной поверхностях образцов, при атмосферном давлении и в вакууме, при наземном значении силы тяжести и ее величине для лунной поверхности (на самолетах с участками движения по специальной траектории). В тарировке радиационного плотномера был учтен также фон радиации лунной поверхности, замеренный аппаратурой станции «Луна-13».

В итоге совместного рассмотрения материалов измерений, полученных грунтомером-пенетрометром и радиационным плотномером, можно утверждать, что в месте посадки автоматической станции «Луна-13» поверхностный слой представляет собой пористый зернистый минеральный материал, слабо связанный в местах контакта зерен; объемная плотность лунного грунта у поверхности составляет (с вероятностью 70—80 процентов) около 0,8 грамма в кубическом сантиметре, т. е. несколько меньше чем у воды.

Ближние параметры микроструктуры поверхностного слоя получены и аппаратами «Сервейер» (прямые измерения плотности не производились).

Несущая способность лунного грунта, по данным станции «Луна-13», в месте ее посадки оказалась равной 0,68 килограмма силы на квадратный сантиметр, удельное сцепление — 0,005 грамма силы на кубический сантиметр и угол внутреннего трения составил 33 градуса.

Физические свойства поверхностных лунных пород исследовались также пятью аппаратами типа «Сервейер» с помощью механического манипулятора, магнитов и по динамике соударения опор аппарата с лунным грунтом; кроме того, было передано большое количество отдельных телевизионных изображений с поверхности Луны.

На рис. 56 показан лунный грунт, высыпанный манипулятором аппарата «Сервейер-3» на его опорную подушку; на снимке хорошо видна зернистая структура и некоторая связанность грунта (траншейки, вырытые манипулятором, имеют четко прослеживаемые вертикальные стенки); сходная картина наблюдается и на снимках колес «Лунохода-1».

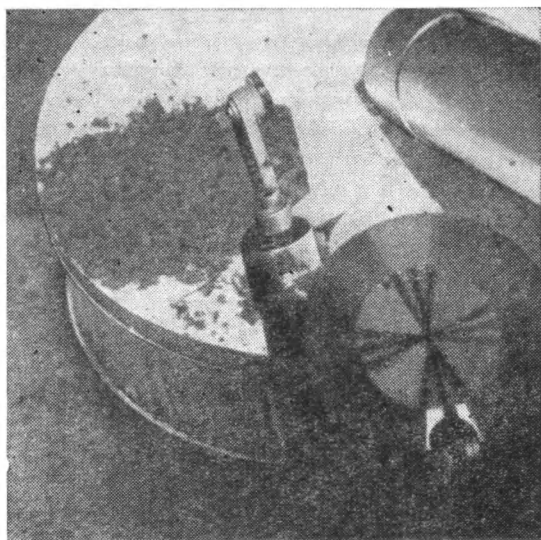


Рис. 56. Лунный грунт, насыпанный механическим манипулятором на верхнюю поверхность опорной подушки «Сервейера-3»

Величина зерен — составляющих «кирпичики» поверхностных лунных пород — оказалась примерно в 10 раз меньше, чем у песка на Земле, где они имеют средние размеры около 0,5 миллиметра.

По данным аппарата «Сервейер-6», рыхлый слой лунного грунта простирается на глубину не более 5 сантиметров и состоит из пылевидных частиц и базальтовой гальки.

Полученные материалы позволяют составить представление о несущей способности «морских» областей грунта Луны: ее величина находится в пределах 0,2—0,7 килограмма силы на квадратный сантиметр (для всех районов посадок аппаратов «Сервейер», кроме «Сервейера-7», прилунившегося в характерно гористой местности).

Согласно материалам фотометрических наблюдений Луны группа советских астрономов во главе с Н. П. Барабашовым пришла к выводу, что вещество наружного покрова восточной краевой зоны (включая районы посадки станций «Луна-9» и «Луна-13») менее пористое, т. е.

более плотное в сравнении с фотометрически средней лунной поверхностью и особенно в сравнении с западной краевой зоной. Этот результат подтверждается данными, полученными аппаратами «Сервейер» (прилунившимися западнее станции «Луна-13»), согласно которым несущая способность поверхностных слоев Луны несколько меньше, чем по измерениям станции «Луна-13».

Можно предполагать, что близкие значения прочности лунного грунта, полученные автоматическими станциями в местах посадки «Луны-9», «Луны-13» и «Сервейеров», не являются случайными, а типичны для всего наружного покрова морских областей Луны (что было подтверждено также для участков прилунения «Аполлона-11», «Аполлона-12», «Луны-16», «Луны-17», а также «Луноходом-1» по трассе его движения).

Таким образом, несущая способность поверхностного слоя нашей небесной соседки вполне достаточна для нормальной посадки и функционирования космических аппаратов, а также для передвижения космонавтов на поверхности Луны.

Насколько быстро возрастают плотность и прочность, а также как изменяются физико-механические параметры лунных пород с глубиной, предстояло определить последующими исследованиями.

Первые шаги в этом направлении были сделаны космическими кораблями «Аполлон-11», «Аполлон-12», научной станцией «Луна-16» и самоходной лабораторией «Луноход-1», оснащенной конусно-лопастным штампом, периодически внедряющимся в грунт в различных районах Луны по мере передвижения.

В отличие от первого, третьего, пятого и шестого «Сервейеров» (запуски второго и четвертого были неудачными), которые обследовали лунную поверхность в равнинных областях экваториальной зоны — предполагаемых местах посадки кораблей с человеком, — аппарат «Сервейер-7» был посажен в районе полюса, примерно в 30 километрах севернее кратера Тихо, в типичной гористой местности.

Последняя (седьмая) станция «Сервейер» по сравнению с предыдущими аппаратами такого же типа была наиболее полно оснащена научным оборудованием. Ковш-захват (рис. 57) шириной 5 сантиметров имеет вынос до

1,5 метра с глубиной захвата грунта до 0,45 метра (реализуемой лишь в случае не очень прочного грунта); на ковше расположены магнит и альфа-анализатор для химического анализа лунных пород.

Результаты обработки материалов, переданных с места посадки станции «Сервейер-7», показали, что отражающая способность материковых районов почти на 20 процентов превышает отражающую способность поверхности «морей»; прочность и плотность лунного грунта «материков» существенно больше, чем «морских» областей; плотность составляет приблизительно 2,5 грамма на кубический сантиметр, т. е. близка к плотности земного грунта.

Изучение химического состава и радиационных характеристик поверхностных пород Луны производилось автоматическими научными станциями «Луна-10», «Луна-12», «Луна-16», «Луна-17», «Луна-20» и тремя аппаратами «Сервейер», а также пилотируемыми кораблями типа «Аполлон».

Впервые исследование состава и типа лунных пород было выполнено первым искусственным спутником Луны — станцией «Луна-10». На станции был установлен сцинтилляционный гамма-спектрометр, позволяющий получать информацию о характере лунного грунта (до глубины 25 сантиметров) и радиационной обстановке на Луне. Гамма-спектроскопия, использованная лунным спутником, позволила провести изучение лунных пород «материков» и «морей» на весьма большой части поверхности Луны, включая и ее обратную сторону.

Внешний вид гамма-спектрометра показан на рис. 58; прибор состоит из двух основных частей: сцинтилляционного датчика и многоканального амплитудного анализатора.

Для исключения фона от заряженных частиц в датчике спектрометра была применена электронная схема, использующая различное время высвечивания кристалла слоистого фосфора и пластмассового сцинтиллятора.

Тороидальный амплитудный анализатор (с внешним диаметром примерно 37 сантиметров), представляющий собой особую цифровую вычислительную машину, обеспечивал измерение дифференциального спектра в

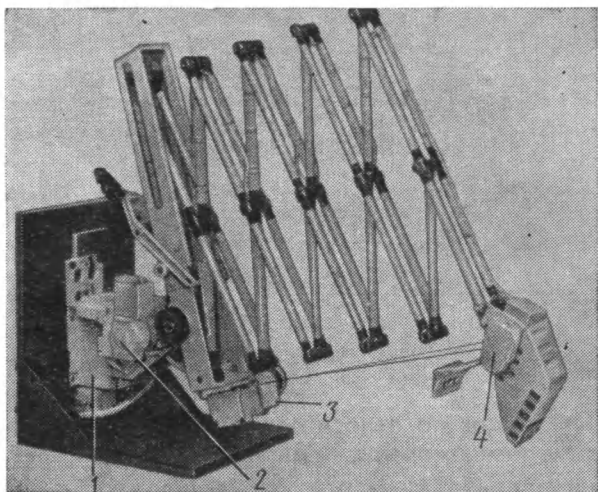


Рис. 57. Общий вид ковша-захвата («землечерпалки») станции «Сервейер» с выносным устройством:

1 — азимутальный двигатель; 2 — угломерный двигатель; 3 — двигатель обратного хода; 4 — двигатель ковша-захвата

достаточно широком диапазоне энергий, что позволяло производить количественное определение как естественной, так и наведенной активности исследуемой части по поверхности Луны.

Обработка измерений показала, что интенсивность общего гамма-излучения на поверхности Луны равна 20—30 микрорентгенам в час (существенного различия между «морями» и «материками» не отмечено); 90 процентов излучения обусловлено взаимодействием космических лучей с лунным веществом и 10 процентов — распадом радиоактивных элементов — калия, тория и урана, содержащихся в поверхностных слоях лунных пород.

На рис. 59 представлены спектры гамма-излучения лунных пород, зафиксированные на орбите спутника Луны, по измерениям автоматической станцией «Луна-10».

Спектры гамма-излучения, которые должны получаться на орбите спутника Луны от естественных радиоактивных элементов лунного грунта — калия, тория и урана,

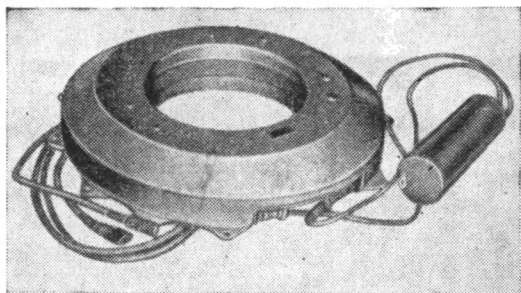


Рис. 58. Общий вид гамма-спектрометра

соответствующих по относительному содержанию главным типам земных пород,— даны на рис. 60.

Сопоставление спектров, приведенных на рис. 59 (кривая 3) и рис. 60, показывает, что лунный грунт близок по типу к базальтам (основные породы); возможно существование метеоритного (ультраосновного) вещества в поверхностных слоях Луны; наличие же гранитов (кислых пород) и пород с рудными концентрациями радиоактивных элементов — практически исключено, что подтверждено также исследованиями станциями «Сервейер» и «Луноход-1».

Небольшое различие в интенсивности гамма-излучения над лунными «морями» и «материками», по мнению академика А. П. Виноградова, может получить объяснение, приводящее к важным выводам. А именно: средняя интенсивность гамма-излучения естественных радиоактивных элементов над лунными «морями» соответствует базальтам, над «материками» — ультраосновным породам (каменным метеоритам); если полагать, что Луна формировалась аналогично Земле, как тело с поверхностным слоем типа каменных метеоритов, и в результате радиогенного разогрева из ее недр выплавились «моря», то лунные «моря» соответствуют земной коре. Однако на Земле аналогичный процесс протекал гораздо энергичнее; базальты и граниты, слагающие земную кору, покрывают мощным слоем всю поверхность Земли и, в отличие от лунных «материков», на Земле ультраосновные породы не выходят на поверхность планеты, а располагаются в ее недрах, под земной корой.

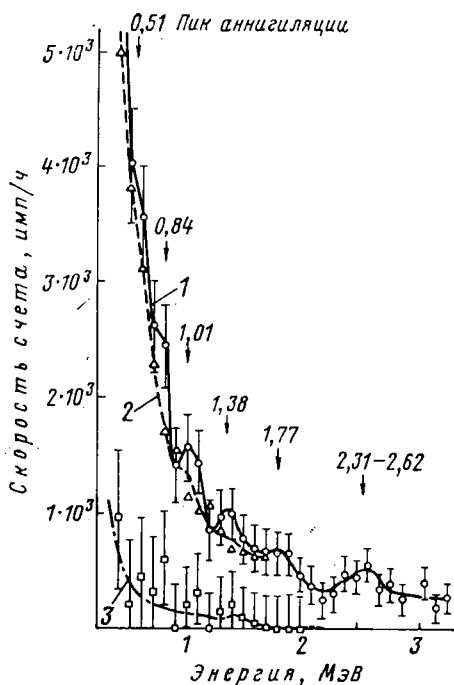


Рис. 59. Спектры гамма-излучения лунных пород на орбите спутника Луны, по измерениям автоматической станции «Луна-10»:

1 — спектр гамма-излучения лунных пород после вычитания фона; 2 — спектр гамма-излучения, связанного с процессами взаимодействия космических лучей с лунными породами (мгновенное гамма-излучение и распад изотопов космического происхождения); 3 — спектр гамма-излучения, связанного с распадом естественных радиоактивных элементов — калия, тория и урана, содержащихся в лунном грунте

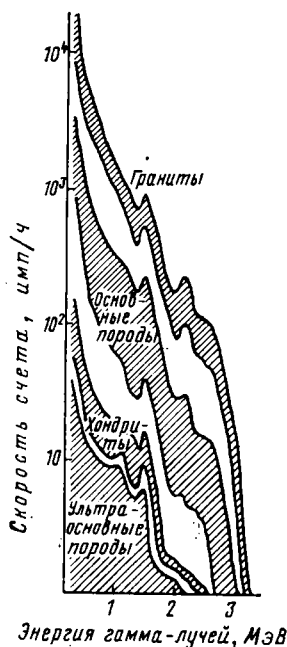


Рис. 60. Спектры гамма-излучения, которые должны получиться на орбите спутника Луны от естественной радиоактивности элементов лунного грунта — калия, тория, урана, соответствующих по относительному содержанию главным типам земных пород

Для определения химического состава лунного грунта на аппаратах типа «Сервейер» применялся альфа-анализатор, использующий поток альфа-частиц от лунных пород при облучении их нейтронами.

В приведенной ниже таблице даны сводные результаты анализа химического состава лунного грунта, полученные с помощью автоматических станций «Сервейер-5» и «Сервейер-7» (совершивших посадку соответственно в Море Спокойствия и в районе кратера Тихо).

Химические элементы, имеющиеся в лунном грунте	Процент содержания атомов	
	(„Сервейер-5“)	(„Сервейер-7“)
Углерод	<3	<2
Кислород	57±5	58±5
Натрий	<2	<3
Магний	3±3	4±3
Алюминий	6,5±2	9±3
Кремний	19±3	18±4
Группа кальция (атомный вес от 30 до 47)	13±3	6±2
Группа железа (атомный вес от 47 до 65)		2±1

Химический состав поверхностных лунных пород «морей» и «материков» весьма сходен, однако в горной области зарегистрировано «Сервейером-7» заметно меньшее содержание железа.

Большой интерес представляют химические анализы образцов лунного грунта, доставленных из различных районов Луны в земные лаборатории пилотируемыми кораблями «Аполлон» и автоматическими научными станциями «Луна-16» и «Луна-20», а также химический анализ грунта, выполненный «Луноходом-1» непосредственно на Луне.

Оказалось, что в наружных лунных породах содержится значительное количество таких редких на Земле элементов, как хром, титан, цирконий; сравнительно мало легкоплавких элементов — свинца, висмута, натрия, калия, в ничтожном количестве имеются золото и серебро. Кислород составляет около половины весового состава грунта Луны; вода обнаружена в очень незначительном количестве лишь в двух образцах (доставленных экипажем «Аполлона-11»).

Содержание металлов (находящих широкое промышленное применение), например, в месте посадки корабля «Аполлон-11», следующее (в весовых процентах): железа — 12—16, титана — 4,2—7,5, алюминия — 4,1—6,9, магния — 3,9—5,7; концентрация радиоактивных элементов составляет: урана — $0,6 \cdot 10^{-6}$ граммов на грамм, то-

рия — $2,5 \cdot 10^{-6}$ граммов на грамм, изотопа калия K^{40} (в пересчете по относительному содержанию в земных породах) — $2,4 \cdot 10^{-7}$ граммов на грамм.

Обнаружено несколько новых минералов, не имеющих на Земле; один из них (arnalcolite) содержит повышенное количество железа, магния, титана; другой имеет урана больше, чем земные минералы, и более высокий процент содержания железа, титана, циркония и кремния.

Возраст образцов лунного грунта оказался весьма значительным: у самого древнего образца он достигает 4,6 миллиарда лет (на Земле пока что обнаружены породы, возраст которых не превышает 4,5 миллиарда лет).

Химический состав наружных слоев лунных пород, доставленных из трех различных районов Луны, характеризуется нижеследующей таблицей (содержание окислов дано в весовых процентах).

Окислы	Тонкая фракция			Базальтовая порода	
	(„Луна-16“)	(„Аполлон-11“)	(„Аполлон-12“)	(„Луна-16“)	(„Аполлон-12“)
SiO_2	41,7	43	42	43,8	40
TiO_2	3,39	7	3,1	4,9	3,7
Al_2O_3	15,32	13	14	13,65	11,2
FeO	16,8	16	17	19,35	21,3
MgO	8,73	8	12	7,05	11,7
CaO	12,2	12	19	10,4	10,7
Na_2O_3	0,37	0,54	0,40	0,33	0,45
K_2O	0,10	0,12	0,18	0,15	0,065
MnO	0,21	0,23	0,25	0,2	0,26
Cr_2O_3	0,31	0,37	0,41	0,28	0,55
ZrO_2	0,015	0,05	0,09	0,04	0,023

Измерения удельной теплоемкости и теплопроводности лунного грунта (проведенные на образцах, привезенных станцией «Луна-16») показали, что теплоемкость

лунного грунта не зависит от плотности засыпки и в среднем близка к удельной теплоемкости пород Земли, а теплопроводность крайне мала; лунный грунт имеет высокую способность к электризации.

Исследование химического состава лунного грунта в различных участках лунной поверхности было с высокой эффективностью продолжено самоходным аппаратом «Луноход-1». Химический анализ образцов лунного грунта, привезенного станцией «Луна-20», позволил определить содержание в нем более семидесяти элементов; в сравнении с грунтом «морских» районов отмечено меньшее содержание железа, ванадия, марганца, титана и большее — алюминия и кальция.

При передвижении по лунной поверхности осуществляется непрерывный контроль характера местности с помощью телевизионных камер и физико-механических характеристик лунного грунта посредством конусно-лопастного штампа. Это дает возможность выбирать для химического анализа и передачи панорам лунного рельефа как разнородные по характеру и строению участки Луны, так и необычные по виду лунные образования.

В состав научного оборудования «Лунохода-1» входит специальный прибор РИФМА (для осуществления рентгеновского изотопного флуоресцентного метода анализа). Прибор имеет возможность автоматически проводить определение химического состава лунного грунта в сложных температурных условиях и при воздействии космических факторов.

Прибор работает следующим образом. Источник рентгеновского облучения вызывает ионизацию различных элементов, входящих в состав лунного грунта. Возникающее при этом (вторичное) ответное излучение соответствует определенным химическим элементам: измеряя энергию этого излучения, можно найти содержание различных элементов в исследуемой лунной породе. Регистрация вторичного излучения (ответных рентгеновских квантов) производится пропорциональными счетчиками, которые оборудованы характеристическими фильтрами, дающими возможность оценить также и концентрацию элементов в лунном грунте.

За период своего многомесячного функционирования на Луне прибор РИФМА исследовал химический состав лунных пород на участках молодых (сотни миллионов лет)

и старых (миллиарды лет) кратеров, а также на участках лунной поверхности, нарушенных и ненарушенных разворотом лунохода. Особый интерес представляет тот факт, что лунные породы в Море дождей (место посадки станции «Луна-17») находятся в области одного из самых больших масконов, т. е. на участке с повышенной плотностью глубинных пород. Здесь обнаружены железо, титан, магний, кремний, алюминий и другие элементы.

Громадный экспериментальный материал, полученный комплексной самоходной лабораторией «Луноход-1» для различных участков лунной поверхности, обрабатывается и сопоставляется с данными других космических аппаратов и результатами исследований посредством наземных методов. Однако уже теперь ясно, что подтвержден вывод, сделанный на основе измерений научной станцией «Луна-10», о базальтовом характере поверхностных лунных пород и о заметной неоднородности концентрации химических элементов в разных районах Луны.

Рентгеновское излучение наружных лунных пород впервые исследовалось автоматическими станциями «Луна-10» и «Луна-12»; в результате измерений определялись как отраженное лунным грунтом солнечное рентгеновское излучение, так и вызванное последним мягкое рентгеновское излучение поверхностных слоев Луны.

В аппаратуре научной станции «Луна-12» (с повышенной чувствительностью по сравнению с аппаратурой станции «Луна-10») в качестве приемников рентгеновского излучения использовались четыре гейгеровских счетчика.

Спутник «Луна-12» провел серию измерений потоков рентгеновского излучения Луны (флуоресцентной природы), обусловленных внешним облучением. Абсолютная величина замеренного рентген-флуоресцентного излучения лунной поверхности подтверждает заключение о базальтовом типе лунных пород.

Главную часть рентгеновского излучения Луны составляет рентгеновская флуоресценция лунных пород в характеристических линиях кремния, алюминия и магния.

Значение отраженной доли излучения Луны согласно данным станции «Луна-12» составляет примерно 8 про-

центов; однако в этом случае регистрировалась лишь мягкая составляющая отраженных космических лучей. По материалам измерений автоматической станцией «Луна-10», интенсивность отраженного излучения лунной поверхности находится в пределах 13—26 процентов от интенсивности космических лучей.

Исследование рентгеновского излучения, выполненное самоходным аппаратом «Луноход-1», требует длительной обработки и анализа.

ФОРМА, МАССА И ХАРАКТЕРИСТИКА ДВИЖЕНИЯ ЛУНЫ, ЕЕ ГРАВИТАЦИОННОЕ ПОЛЕ

На протяжении многих веков масса, форма и движение Луны изучались средствами главным образом астрономии и небесной механики. В настоящее время развитие науки и практической космонавтики потребовало еще и выяснения гравитационного поля Луны, причем к решению указанных вопросов привлечены также космические аппараты, в первую очередь лунные спутники.

Определение массы Луны (точнее — отношения массы Луны к массе Земли) производилось обычно исследованием движения проходящего близко небесного тела, не связанного с движением системы Земля — Луна, что позволяло найти положение центра массы системы Земля — Луна.

Согласно прежним определениям этот центр (вокруг которого обращается Земля с месячным периодом) расположен внутри нашей планеты примерно на расстоянии 4700 километров от ее центра (напомним, что радиус Земли равен 6378 километрам); отношение массы Луны к массе Земли принималось равным $1 : 81,56$. Тщательные наблюдения астероида Эрос при его приближении к Земле на протяжении 1930—1931 годов дали для этого отношения довольно близкое значение, равное $1 : 81,27$.

После запусков искусственных спутников Земли появилась возможность дальнейшего уточнения соотношения масс Луны и Земли; изучение возмущений в движении ИСЗ позволило определить его с точностью до одной шестнадцатитысячной — как значение, равное $1 : 81,3$, — которое и было принято в качестве одной из астрономических постоянных Международным астрономическим союзом в 1964 году. Величина массы Луны, безусловно,

будет определена еще более точно после обработки измерений движения искусственных спутников Луны.

Исследование движения Луны в пространстве является наиболее тонкой проблемой в небесной механике, и ее приходится решать на основе только теории тяготения с привлечением сложнейших математических методов расчета. Хотя используемые исходные данные (основные параметры Луны, Земли, Солнца, несимметричность формы Земли и т. д.) имеют определенную погрешность, все же положение Луны, которое она будет занимать на небесной сфере, вычислено на много десятилетий вперед с точностью около одной секунды угловой дуги, т. е. двух километров лунной орбиты.

В соответствии с малой погрешностью в прогнозировании движения Луны (и Земли) удастся обеспечить и малую погрешность в предсказании времени наступления солнечных и лунных затмений; можно подсчитать время их наступления на столетие вперед с ошибкой во времени всего лишь в несколько секунд.

Однако с появлением новых научных и практических проблем даже столь высокие точности расчета движения Луны перестают нас удовлетворять; дальнейшее исследование Луны с помощью космической техники — это средство, которое позволит продвинуться дальше и в этой области знания.

Уточнение формы Луны (как, впрочем, и Земли) — это нескончаемо длительный процесс, зависящий от очень многих факторов и требующий участия самых различных наук, а также различных методических подходов.

Оптические наблюдения были первым средством поиска отклонений формы Луны от шаровой; однако профиль видимого края Луны осложняется своеобразным рельефом лунной поверхности (горы и «моря»), а также тем обстоятельством, что полностью освещенным обычно виден или восточный или западный край. Полное одновременное освещение всего лунного края практически было получено при полутеневом затмении (Пулковская обсерватория, 27 сентября 1958 года) и при кольцеобразном солнечном затмении (американская экспедиция, 31 июля 1962 года и 25 января 1963 года).

Выяснилось, что профиль лунного края хорошо аппроксимируется эллипсом со сжатием около одной ты-

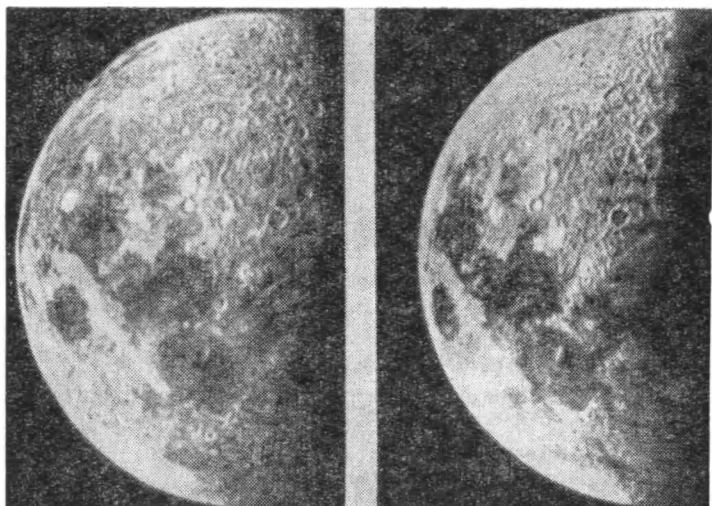


Рис. 61. Снимки Луны при двух различных фазах либрации

сячной, большая полуось которого имеет с полярной осью Луны угол в 35 градусов; при этом разность полуосей этого эллипса составляет 1,5—2 километра. Но здесь следует иметь в виду, что вследствие либрации Луны и различий микрорельефа лунной поверхности при наблюдении других затмений можно получить и отличающиеся результаты. Различия в очертаниях края лунного диска при двух разных фазах либрации можно видеть на рис. 61. Согласно данным американского ученого Болдуина, Луна имеет выступ размером до 2 километров в направлении к Земле, который охватывает как континентальные, так и «морские» районы.

Попытка построить фигуру Луны как тела, гидростатически равновесного ко времени затвердевания Луны, пока не привела к успеху.

Кроме изучения геометрической фигуры Луны по данным наблюдательной астрономии, исследуется также теоретически механическая фигура Луны применением динамических методов. Основной базой этих методов является использование соотношений между главными моментами инерции Луны и материалов обработки движения лунных спутников.

Момент инерции Луны относительно оси, направленной на Землю, является минимальным (что и требуется устойчивостью вращательного движения Луны) и обозначается буквой A .

Наибольшим оказался момент инерции C относительно полярной оси; промежуточный по величине момент инерции B принят относительно оси, перпендикулярной двум названным.

Отношение $\frac{C-A}{C} = 0,00063$ определено из наблюдений наклона лунного экватора к плоскости эклиптики; значение $\frac{B-A}{C} = 0,0002$ получено из наблюдений физической либрации Луны.

В отличие от оптической либрации Луны физическая либрация — вызываемая притяжением Земли в связи с наличием оптической либрации и несимметричным распределением масс в Луне, а именно, ее вытянутостью в направлении к нашей планете — имеет небольшую величину.

Амплитуда вынужденной физической либрации, зависящая от механической эллиптичности Луны, определяется параметром $f = \frac{B(C-B)}{A(C-A)}$; значения f , определенные с помощью наблюдений, дают две группы значений этого параметра: 0,73 и 0,60. Соответственно таким величинам f — разность радиусов Луны, направленного к Земле, и полярного — лежит между 1100 метрами и 650 метрами, а полярный радиус короче на 140—280 метров экваториального, перпендикулярного лучу зрения.

Существует еще один подход в определении фигуры Луны, предложенный в 1964 году советским ученым Б. Ю. Левиным, который считает, что сплюснутость Луны можно объяснить имеющимся убыванием температуры поверхностного слоя от экватора к полюсам: известно, что на глубине около одного метра от поверхности Луны — независимо от суточных колебаний — температура постоянна и равна приблизительно минус 30° С для экватора, а для районов полюсов — минус 170° С, т. е. существенно ниже. Если предположить, что такой же характер распределения температур распространяется и в глубь Луны, а ее недра находятся в полурасплавленном состоянии, то можно сделать заключение, что в районе полю-

сов имеется более толстый и тяжелый твердый слой (вызывающий его проседание), чем в экваториальной зоне. Расчеты такой двухслойной модели, выполненные В. С. Сафроновым, привели к выводу, что экваториальный радиус превосходит полярный на 1—1,5 километра.

Изучение формы Луны с помощью американских спутников «Лунар Орбитер» дало следующие результаты: Луна имеет грушевидную форму — она примерно на 100 метров сплюснута у южного лунного полюса и на столько же выпучена у северного; южное полушарие полнее, а диаметр Луны в плоскости экватора несколько меньше, чем это наблюдалось бы при сферической форме Луны.

Определение гравитационного поля Луны и распределения масс в ней производилось с помощью искусственных спутников «Луна-10», «Луна-11», «Луна-12», «Луна-14», «Луна-19» и аппаратов «Лунар Орбитер».

Если основной целью запуска первых трех советских спутников Луны было исследование ее поверхности и окололунного пространства, то научная станция «Луна-14» (запущенная 7 апреля 1968 года) и станция «Луна-19» главной задачей имели: уточнение отношения масс Луны и Земли, гравитационного поля Луны и ее формы методом систематических, длительных наблюдений за изменениями параметров орбиты спутника Луны; получение дополнительной информации для построения более точной теории движения Луны.

К настоящему времени опубликованы лишь результаты обработки материалов, полученных станциями «Луна-10» и частично «Лунар Орбитер», которые дают возможность построить в первом приближении гравитационное поле Луны, вызванное несимметричностью расположения масс и центра тяжести нашей естественной спутницы.

Спутник «Луна-10» функционировал в течение двух лунных месяцев (с 3 апреля по 30 мая 1966 года), что дало возможность проанализировать его движение на протяжении 460 оборотов вокруг Луны.

Изменение орбиты лунного спутника вызывается в основном воздействием Земли, Солнца и нецентральностью поля тяготения Луны. Обработка траекторных измерений позволила — при известных возмущениях со стороны

Земли и Солнца — построить гравитационное поле Луны.

Изменение основных параметров орбиты спутника «Луна-10» вследствие несимметричности поля тяготения Луны превосходит в 5—6 раз соответствующие возмущения, обусловленные воздействием Солнца и Земли. Так, например, нецентральность лунного поля тяготения вызывает в течение одного оборота спутника «Луны-10» изменение в координатах его орбиты, примерно равное 0,75 километра, а влияние Солнца и Земли приводит к изменению координат орбиты не более чем на 0,11 километра за один оборот.

Выявлена несимметричность поля тяготения видимого и невидимого полушарий Луны и тенденция грушевидного распределения масс (по данным измерений «Лунар Орбитер» центр массы Луны сдвинут в сторону Земли).

Для иллюстрации гравитационного потенциала Луны, определенного с помощью спутника «Луна-10», на рис. 62 приведены сечения поверхности уровня гравитационного потенциала Луны тремя взаимно перпендикулярными плоскостями (радиус окружности сравнения был взят равным 1738 километрам). Оси координат выбраны следующим образом: ось $\bar{X}$ направлена к Земле, ось Z — к северному полюсу Луны, ось Y дополняет оси $\bar{X}$, Z до правой прямоугольной системы.

Траекторные измерения пяти спутников «Лунар Орбитер» также использовались для определения гравитационного поля Луны и распределения масс по ее объему; удачным дополнением к обычным траекторным методам регистрации движения аппарата «Лунар Орбитер-5» яви-

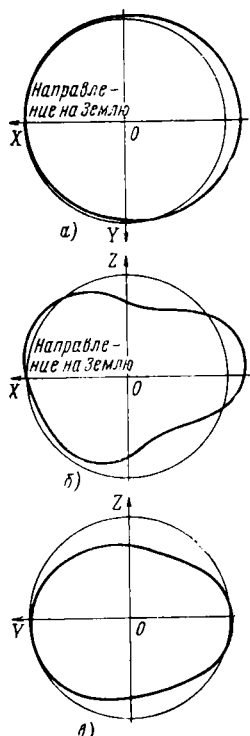


Рис. 62. Сечения поверхности уровня гравитационного потенциала Луны экваториальной (а) и меридиональными (б, в) плоскостями, по материалам спутника «Луна-10»; радиальное отклонение от окружности увеличено для наглядности в 1000 раз

лось его фотографирование на орбите с помощью телескопа.

Оригинальные данные о плотности лунных пород под поверхностью всех пяти кольцеобразных «морей» Луны сообщило Национальное управление по авиации и исследованию космического пространства США (НАСА) на основании изучения полета аппарата «Лунар Орбiter-5» по низкой селеноцентрической орбите.

Оказалось, что в районе лунных морей — Дождей, Ясности, Кризисов, Нектара, Влажности и других — скорость движения спутника возрастала; аналогичное явление было отмечено при полете «Лунар Орбiter-5» над центром видимого диска Луны — между Центральным и Восточным заливами (возможно, что эта область ранее была «морем» округлой формы).

Изучение полученных материалов позволяет утверждать, что под поверхностью лунных «морей», на глубине примерно 50 километров, расположены породы с большой плотностью. Очевидно в процессе образования «морей» Луны при извержении лавы формировались породы повышенной плотности, что, возможно, объясняется (как и кольцеобразная форма «морей») падением на Луну небесных тел типа астероидов.

Районы Луны с местным увеличением гравитационного воздействия названы «масконами» (концентрация массы).

Анализ движения различных аппаратов «Лунар Орбiter», пролетавших над одинаковыми областями Луны на различных высотах, дает следующие физические характеристики масконов: глубина залегания возмущающих масс под лунной поверхностью — от 25 до 125 километров; протяженность масконов — от 50 до 200 километров; маскон в Море Дождей имеет массу, равную $20 \cdot 10^{-6}$ от массы Луны. Районы концентрации масс на Луне (по данным американских ученых Мюллера и Сьергена, открывших масконы) приведены в следующей таблице.

Рассмотрение материалов, полученных по результатам полета всех лунных спутников, дает возможность прийти к выводу о том, что вещество Луны более однородно по плотности, чем это предполагалось ранее. Плотность глубинных слоев Луны оказалась почти постоянной вдоль радиуса, т. е. мало увеличивающейся с приближе-

Район	Широта в градусах (+ к северу)	Долгота в градусах (+ к востоку)	Изменение ускорения (сантиметры в секунду)
Море Дождей	38	—18	0,17
Море Ясности	28	18	0,17
Море Кризисов	16	58	0,1
Море Нектара	—16	34	0,09
Залив Зноя	10	—8	0,06
Море Влажности	—25	—40	0,05
Море Гумбольдта	57	82	0,04
Море Восточное	—20	—95	0,04
Море Смита	—4	85	0,04
Кратер Гримальди	—6	—68	0,02
Залив Радуги	45	—31	—0,07

нием к центру Луны, в отличие от Земли, имеющей весьма плотное центральное ядро по сравнению с вышележащими оболочками. Отношение плотности центрального ядра к средней плотности наружных пород составляет для Земли около 5, а для Луны, по-видимому, — не превосходит 2.

Исследование Луны посредством анализа движения ее спутников позволило получить многие количественные гравитационные характеристики; однако их уточнение должно быть проведено с использованием специально оборудованных лунных спутников.

Лазерная локация Луны явилась новым эффективным методом изучения ряда глобальных параметров Луны и Земли, позволяющим произвести их уточнение в десятки раз. Ее применение позволило решить следующие задачи: измерение расстояния Земля — Луна с погрешностью менее 1 метра; уточнение движения Луны в пространстве и вокруг ее оси, ее физическую либрацию; проверку гипотезы о дрейфе земных континентов и о медленном уменьшении силы тяготения (расстояние до Луны при этом увеличивается); уточнение прогноза землетрясений по наблюдениям колебаний Земли относительно ее оси вращения.

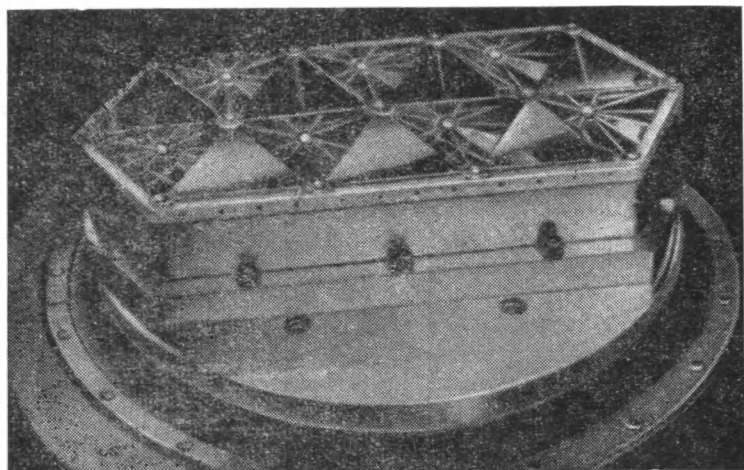


Рис. 63. Лазерный отражатель (разработанный французскими специалистами), доставленный на Луну советской автоматической станцией «Луна-17»

Впервые эксперименты лазерной локации лунной поверхности (с длительностью импульса порядка одной тысячной секунды) были проведены американскими и советскими учеными в 1962 и 1963 годах; удалось замерить расстояние Земля — Луна с ошибкой до 150 километров.

Усовершенствованное лазерное устройство (с длительностью импульса около одной стомиллионной секунды) позволило измерить расстояние до дна лунного кратера Фламарион уже с точностью в несколько сотен метров.

Ошибку измерений можно было снизить еще примерно в 100 раз размещением на Луне специального отражателя, определенным образом ориентированного на Землю.

Такого рода измерения стали возможными с доставкой на Луну кораблем «Аполлон-11» и станцией «Луна-17» светоотражателей, служащих точечными мишенями.

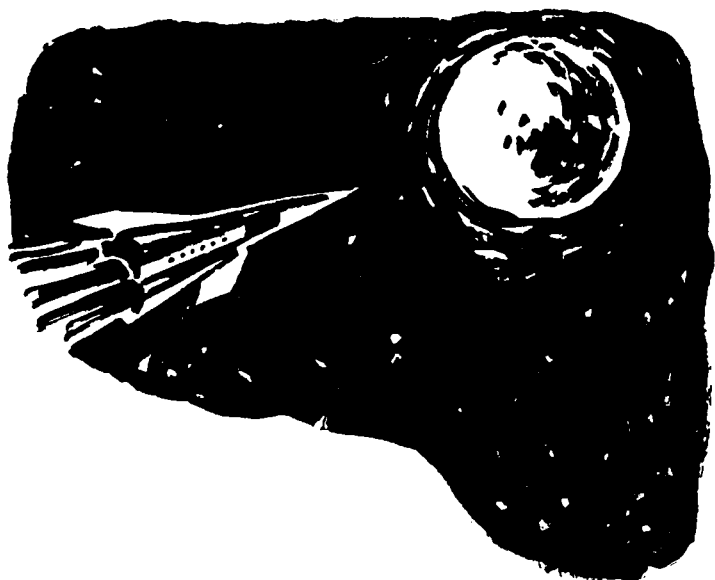
Отражатель лазерного излучения, разработанный французскими специалистами, был доставлен на Луну научной станцией «Луна-17» (рис. 63). Он состоит из панели (с теплоизоляцией), на которой укреплены 14 четырехгранных призм из специального однородного стекла

с очень малым коэффициентом температурного расширения; три прямых угла призмы выполнены с точностью до десятой доли угловой секунды. Световой лазерный пучок, посланный на Луну, после трехкратного преломления в призме возвращается в ту же точку Земли, откуда он был отправлен.

Для обеспечения лазерной локации Луны служит наземный комплекс, установленный на телескопе и состоящий из оптического передатчика на рубиновом лазере, узкополосного фотоприемника с системой регистрации отраженного сигнала, измерителя времени распространения сигнала в оба конца, блоков автоматики и управления всей аппаратурой.

Систематические и длительные измерения методом лазерной локации, начатые с отражателями, установленными на Луне («Аполлон-11» с 1 августа 1969 года, «Луна-17» с 5 декабря 1970 года), помогут решить ряд сформулированных выше фундаментальных задач, связанных с исследованием основных параметров Луны и Земли.





Использование Луны неразрывно связано с общим ходом освоения Солнечной системы. Некоторые задачи, решаемые человеком на Луне, были рассмотрены выше; здесь будет рассказано о перспективах овладения космосом и о том значении, которое имеет на этом пути, в частности, Луна.

Впервые все основные стороны проблемы неограниченного возрастающего использования внеземных ресурсов природы (и соответственно непрерывного прогресса человечества) были поняты и сформулированы К. Э. Циолковским. Наиболее полно план освоения космоса изложен в его работе «Исследование мировых пространств

**ИССЛЕДОВАНИЕ
ЛУНЫ —
ВАЖНЫЙ ЭТАП
НА ПУТИ
ОСВОЕНИЯ
КОСМОСА**

реактивными приборами» издания 1926 года. К сожалению, работы К. Э. Циолковского до сих пор остаются единственной попыткой такого рода в мировой научной литературе.

Последовательные этапы (ступени) указанного плана перечислены К. Э. Циолковским в следующих шестнадцати пунктах:

«Вот грубые ступени развития и преобразования аэропланного дела для достижения высших целей.

1. Устраивается ракетный самолет с крыльями и обыкновенными органами управления. Но бензиновый мотор заменен взрывной трубой, куда слабосильным двигателем накачиваются взрывчатые вещества. Воздушного винта нет . (...) Количество взрывчатых веществ и силу взрывания надо понемногу увеличивать, также максимальную скорость, дальность, а главное — высоту полета (...) Цель этих опытов — уметь управлять аэропланом (при значительной скорости движения), взрывной трубой и планированием.

2. Крылья последующих самолетов надо понемногу уменьшать, силу мотора и скорость — увеличивать. Придется прибегнуть к получению предварительной, до взрывания, скорости с помощью описанных ранее средств.

3. Корпус дальнейших аэропланов следует делать непроницаемым для газов и наполненным кислородом, с приборами, поглощающими углекислый газ, аммиак и другие продукты выделения человека. Цель — достигать любого разрежения воздуха. (...)»

4. Применяются описанные мною рули, действующие отлично в пустоте и в очень разреженном воздухе, куда залетает ракета. Пускается в ход бескрылый аэроплан, сдвоенный или строенный, надутый кислородом, герметически закрытый, хорошо планирующий. Он требует для поднятия на воздух большой предварительной скорости и, стало быть, усовершенствования приспособлений для разбега. Прибавочная скорость даст ему возможность подниматься все выше и выше. Центробежная сила может уже проявить свое действие и уменьшить работу движения.

5. Скорость достигает 8 км/сек, центробежная сила вполне уничтожает тяжесть и ракета впервые заходит за

пределы атмосферы. Полетав там, насколько хватает кислорода и пищи, она спирально возвращается на Землю, тормозя себя воздухом и планируя без взрывания.

6. После этого можно употреблять корпус простой, несдвоенный. Полеты за атмосферу повторяются. Реактивные приборы все более и более удаляются от воздушной оболочки Земли и пребывают в эфире все дольше и дольше. Все же они возвращаются, так как имеют ограниченный запас пищи и кислорода.

7. Делаются попытки избавиться от углекислого газа и других человеческих выделений с помощью подобранных мелкорослых растений, дающих в то же время питательные вещества. Над этим много, много работают — и медленно, но все же достигают успеха.

8. Устраиваются эфирные скафандры (одежды) для безопасного выхода из ракеты в эфир.

9. Для получения кислорода, пищи и очищения ракетного воздуха придумывают особые помещения для растений. Все это в сложенном виде уносится ракетами в эфир и там раскладывается и соединяется. Человек достигает большей независимости от Земли, так как добывает средства жизни самостоятельно.

10. Вокруг Земли устраиваются обширные поселения.

11. Используют солнечную энергию не только для питания и удобств жизни (комфорта), но и для перемещения по всей солнечной системе.

12. Основывают колонии в поясе астероидов и других местах солнечной системы, где только находят небольшие небесные тела.

13. Развивается промышленность и размножаются невообразимо колонии.

14. Достигается индивидуальное (личности отдельного человека) и общественное (социалистическое) совершенство.

15. Население солнечной системы делается в сто тысяч миллионов раз больше теперешнего земного. Достигается предел, после которого неизбежно расселение по всему Млечному Пути.

16. Начинается угасание Солнца. Оставшееся население солнечной системы удаляется от нее к другим солнцам, к ранее улетевшим братьям».

После ознакомления с этими «ступенями развития» сразу же хочется отметить два обстоятельства.

Во-первых, к настоящему времени мы выполнили в основном первые восемь пунктов плана (убедившись еще раз в удивительной научной прозорливости Циолковского!) и у нас не вызывает сомнений закономерность последующих пунктов.

Во-вторых, современный этап практической космонавтики — научное исследование мирового пространства, Луны, планет и других небесных тел — не содержится явно в плане Циолковского, очередные «ступени» которого требуют организации обширных поселений сначала на околоземных орбитах (с использованием ресурсов Земли), а позже и в поясе астероидов (на базе их сырьевых ресурсов и солнечной энергии).

Таким образом, говоря формально, согласно плану полагалось бы сосредоточить усилия не на изучении и освоении планет, а на создании околоземных и околосолнечных обитаемых спутников.

И мы считаем, что наша деятельность в космосе в настоящее время по своему существу отвечает основному направлению плана К. Э. Циолковского, ибо в ближайшие годы планируется дальнейшее развитие обитаемых станций на ИСЗ (в том числе и долговременных), а рациональные формы утилизации ресурсов планет и меньших небесных тел будут выявляться, конечно, с учетом и работ К. Э. Циолковского. Конечно К. Э. Циолковский предполагал непрерывное научное исследование внеземной природы (об этом он говорит во многих своих трудах), но его план носит утилитарный характер, отражая конечную цель — практическую отдачу выхода в космос.

Однако некоторые особенности развития науки и техники середины XX века предопределили весьма существенную роль научных исследований в космосе, которые составляют своеобразный и самостоятельный этап нашей внеземной деятельности.

Ниже будет показана правомерность нынешнего (в определенном смысле дополнительного к плану К. Э. Циолковского) этапа развития космонавтики, как неизбежного шага к овладению всеми богатствами Солнечной системы, а также специфическая роль Луны на этом пути.

К. Э. Циолковский предполагал, что уже со времени запуска первых спутников Земли космические аппараты будут пилотируемыми (см. его план начиная с пятого пункта).

Тогда — после создания серии спутников Земли, на которых отработан круговорот веществ, — вполне логичен полет к астероидам. Освоение астероидов, включая утилизацию сырьевых ресурсов, неизмеримо легче, чем освоение планет, ввиду их сравнительно малой массы, что весьма существенно облегчает посадку и взлет космических кораблей.

Однако необычайно бурный прогресс целого ряда новых научно-технических направлений (которого не мог предвидеть Циолковский) привел к тому, что в настоящее время освоение космоса идет по более благоприятному и эффективному пути, чем это представлялось несколько десятилетий тому назад. А именно, уже после кончины К. Э. Циолковского вошли в жизнь: телевидение, автоматика, счетно-решающие электронные машины, совершенные передающие и принимающие радиоустройства.

Все это (конечно, вместе с другой современной ракетной и космической техникой) сделало возможным создание автоматических космических аппаратов. Трудно переоценить это выдающееся достижение последователей К. Э. Циолковского, в первых рядах которых идут наши советские ученые и инженеры.

Автоматические межпланетные станции и спутники Земли взяли на себя роль разведчиков космоса, избавив тем самым человека от очень многих трудностей и жертв.

Прежде чем в космос вышел человек — с помощью автоматических устройств, — были отработаны все системы космических аппаратов, определено влияние космических факторов при внеземных полетах и получен колоссальный объем новой научной информации о Солнечной системе — в первую очередь об околоземном космосе.

В последующем развитии космонавтики роль автоматических устройств будет также велика, так как, кроме исследования небесных тел и мирового пространства, они будут широко использоваться при создании и функционировании внеземных баз человека.

Следует, конечно, отметить и недостатки автоматических аппаратов в сравнении с пилотируемыми кораблями. Главным образом, это — более узкая информация о внешних условиях и меньшая вероятность правильных выводов и действий в сложной (неожиданной) обстановке.

Возможно, что в будущем — с появлением совершенных самообучающихся машин — удастся поручать автоматам гораздо более сложные задачи, чем ныне, но едва ли роботы смогут заменить уникальный комплекс чувств и разума человека.

Однако полеты человека на межпланетные расстояния по неизведанным путям требуют сооружения больших и сложных кораблей — поэтому в самом ближайшем будущем, очевидно, основную работу в космосе будут выполнять все-таки автоматы.

Главным содержанием космической деятельности человека в настоящее время является научное исследование окружающего нас мира (включая нашу планету) и его закономерностей, а также использование космических аппаратов для практических нужд населения Земли (связь, метеорология и др.); материальной основой этого процесса служат искусственные спутники и автоматические межпланетные станции с последующим включением и человека.

Дальнейшие этапы развития космонавтики будут охватывать все большие области изучения и освоения внеземных процессов и ресурсов.

Целью настоящего раздела книги не является анализ всего плана К. Э. Циолковского или обоснование рациональных путей и форм освоения космоса — решение этой задачи требует целого ряда обстоятельных трудов. Здесь будут отмечены лишь некоторые тенденции современного прогресса человечества, связанные с выходом в космос, и рассмотрено значение Луны в деле овладения богатствами Солнечной системы.

По мере увеличения масштабов проникновения человека в космос будет расти значение научных исследований, а также новых научно-технических направлений, ибо, как показывает практика, роль науки, становящейся непосредственной производительной силой, непрерывно возрастает.

Более того, наша повседневная «земная» деятельность начинает приобретать «космический» характер. Этот своеобразный процесс получил название **космизации**, что означает не только появление новых чисто космических наук, но и все большее привлечение космических факторов и явлений как в научных исследованиях, так и в производстве.

В настоящее время процесс космизации охватывает все более широкие области нашей жизни, отражая вполне естественную взаимосвязь нашей планеты и человечества с другими частями Вселенной.

Можно отметить, например, появление ряда новых наук (космической медицины и биологии, космохимии, астродинамики и др.), постановку измерений и экспериментов непосредственно в космосе, использование космических факторов и космической техники (вакуумное производство, радиационное воздействие, электронное оборудование высокой надежности, аппаратура медицинского контроля и т. д.).

Использование спутников Земли для межконтинентальной связи, навигации, прогнозирования погоды — это лишь первые практические плоды космической эры.

Освоение космоса началось как нельзя более своевременно, так как прогресс нашей цивилизации (включая количественный рост человечества) в перспективе с неизбежностью обуславливает возрастающее использование энергетических, сырьевых и пространственных внеземных ресурсов.

И всесторонняя деятельность человека в космосе не за горами, ибо темпы научно-технического и социального развития непрерывно увеличиваются. Ведь только за последние 100 лет человечество начало применять паровые машины и электричество, механизированный транспорт и радио, широко использовать полезные ископаемые, развивать атомную энергетику и ракетно-космическую технику. Уже треть населения Земли стала на путь социализма; человечество ставит перед собой все более грандиозные задачи.

Таким образом, изучение внеземных объектов и явлений — это не преходящая ступень освоения космоса, а постоянно действующий фактор, определяющий успешность овладения все большими богатствами природы.

Какими же путями пойдет дальнейшее проникновение человека в космос в связи с современным состоянием и направлением развития космонавтики? Какова роль Луны на этом пути?

Как видно из вышеизложенного, последующее овладение внеземными ресурсами должно включать в себя все большее использование солнечной энергии, около-солнечного пространства и вещества астероидов, планет

и их спутников, т. е. в основном должен быть претворен в жизнь план, предсказанный К. Э. Циолковским.

И если отработка круговорота веществ в обитаемых станциях и рост количества последних (девятый и десятый пункты плана) могут быть вполне успешно осуществлены на околоземных орбитах, то освоению астероидов, планет и меньших тел (одиннадцатый пункт плана), по-видимому, должна предшествовать сложная работа по налаживанию технологии переработки внеземного сырья с использованием солнечной энергии на более доступном небесном теле. Таким небесным телом может явиться Луна и в этом состоит ее специфическая роль в овладении космосом, особенно важная на первых порах активной деятельности людей в Солнечной системе.

Эта особая роль принадлежит Луне главным образом по следующим причинам.

1. Луна является наиболее доступным для нас крупным небесным телом. Минимальное расстояние от Земли до пояса астероидов или ближайших к нам планет Венеры и Марса более чем в 100 раз превышает расстояние от Земли до Луны. Соответственно время перелета до нашей естественной спутницы составляет около половины недели, а полет с Земли до ближайших планет или к астероидам длится примерно полгода.

Насколько велика при этом разница в потребных космических кораблях, можно видеть из сравнения необходимого полезного груза хотя бы только для жизнеобеспечения космонавтов. В сутки человеку в космическом полете нужно иметь: пищевых продуктов — около 1 килограмма, воды — до 8 килограммов, кислорода для дыхания — свыше 1 килограмма.

Разительное отличие в длительности и стоимости полетов, определяющее темпы освоения небесного тела, усугубляется еще и тем, что периодичность благоприятных дат пуска (по энергетическим затратам, времени перелета и другим причинам) составляет для Луны один месяц, для Венеры — 1,5 года, для Марса (и астероидов) — 2 года.

Что касается астероидов, то полеты к ним осложняются тем обстоятельством, что точность наведения автоматических межпланетных станций пока еще не обеспечивает уверенного попадания на какой-либо из них (не говоря уже о повышенной метеоритной опасности).

2. Луна имеет приемлемые условия по силе тяжести, наличной энергетике, тепловому и световому режимам. Ускорение силы тяжести у лунной поверхности в 6 раз меньше, чем у Земли — это существенно облегчает транспортные работы, упрощает конструкцию лунных сооружений и, по-видимому, не будет иметь заметного отличия от ускорений, создаваемых на крупных обитаемых искусственных спутниках.

Вопросы жизнеобеспечения человека на Луне были рассмотрены во второй главе; там же было показано, что сырьевые и энергетические лунные ресурсы достаточны для выполнения поистине грандиозных работ.

3. Согласно опубликованным планам стран, ведущих исследования в космосе (например, США), на Луне будут созданы обитаемые базы существенно раньше, чем на других небесных телах.

Таким образом, по причинам, указанным выше, Луна — уже в ближайшие десять лет — позволит развернуть разнообразные работы по ее изучению и освоению.

Что же это даст в плане перспективного овладения космосом?

Изучение строения и состава Луны (при сопоставлении с данными о Земле и других небесных телах) позволит понять общие геолого-астрономические закономерности развития планет (включая малые) и возможное распределение в них металлов, кислорода, воды, неорганического топлива, строительных материалов и т. д.

Луна явится первым небесным телом, на котором начнется промышленное использование внеземных сырьевых и энергетических ресурсов. Именно на ней впервые будут отработаны различные методы и технология получения из местного сырья исходных материалов для космической индустрии и внеземных поселений.

На Луне — в процессе эксплуатации — могут быть поняты преимущества и недостатки помещений разных конструкций и типов: жилищно-бытовых, производственных и научных; расположенных на поверхности и в грунте; при освещении Солнцем и без него (но, конечно, с учетом отличий от лунных условий). Найдут свое решение также вопросы обеспечения длительной жизнедеятельности человека и растений в условиях внешнего вакуума, ослабленной тяжести, воздействия радиации и микрометеоритов, отсутствия существенного магнитного поля.

Естественным завершением первого этапа всех этих усилий будут образцы промышленных и жилищно-бытовых комплексов, которые могут найти применение и на других небесных телах, на новых внеземных базах человека. Кроме того, на Луне могут быть изготовлены и отправлены на соответствующие околосолнечные орбиты первые «эфирные» города (на базе круговорота веществ), созданные вне Земли.

Большое значение использования вещества Луны для деятельности людей на околосолнечных орбитах становится особенно понятным с учетом того факта, что масса Луны превышает массу самого крупного астероида почти в 100 раз и массу всех известных астероидов Солнечной системы — более чем в 10 раз. Таким образом, в перспективе Луна призвана сыграть весьма важную роль на пути овладения всеми ресурсами Солнечной системы.

Если обратиться к использованию Луны не в столь отдаленном будущем, то она, очевидно, еще долго будет сохранять свое значение как основная научная лаборатория человека в космосе.

Следует ожидать, что будут проведены крупные мероприятия, призванные улучшить условия жизни и работы человека на Луне. Например, одним из таких мероприятий можно было бы мыслить уменьшение суток Луны до 25 часов. Это позволило бы иметь привычные нам (и оранжерейным растениям) тепловой и световой режимы, близкие к оптимальным, без существенных дополнительных энергетических затрат. Кроме того, это облегчило бы эксплуатацию поверхностных лунных пород, колебания температуры которых уменьшились бы в несколько раз.

Указанное убыстрение вращения Луны может быть принципиально достигнуто выбросом реактивных струй на экваторе вдоль линейных скоростей движения соответствующих его участков. Отсутствие атмосферы на Луне и сравнительно небольшая вторая космическая скорость для нее (меньше 2,4 километра в секунду) весьма благоприятны для использования такой формы «раскручивания» нашего спутника.

Определим работу, которую необходимо совершить, чтобы увеличить нынешнюю угловую скорость вращения Луны до одного оборота за 25 часов, т. е. значение $\omega_0 = 0,24 \cdot 10^{-5}$ 1/секунда довести до $\omega = 7 \cdot 10^{-5}$ 1/секунда.

Как известно, соответствующая работа определяется выражением $A = \frac{J}{2}(\omega^2 - \omega_0^2)$, где J — момент инерции Луны относительно ее оси вращения.

Момент инерции шарового тела определяется формулой $J_{ш} = kMr^2$ (здесь M — масса тела, r — его радиус, k — коэффициент, характеризующий распределение плотности вдоль радиуса). В частности, для однородного шара $k=0,4$; но это значение превышает значения k для небесных тел, так как плотность их вещества растет с глубиной; для Земли, например, $k=0,334$; Луна является телом, весьма близким к однородному, в соответствии с этим коэффициент k для нее равен 0,39.

Следовательно, $J = 0,39 \cdot 7,35 \cdot 10^{25} (1,738 \cdot 10^8)^2$; $J = 8,67 \cdot 10^{41}$ грамм-силы на квадратный сантиметр.

Таким образом, возвращаясь к выражению $A = \frac{J}{2} \times (\omega^2 - \omega_0^2)$, мы получаем возможность подсчитать работу, которую нужно затратить, чтобы сократить сутки Луны до 25 часов; она составляет внушительную величину, равную $A = 2,17 \cdot 10^{33}$ эргов.

К поверхности Луны подходит лучистый поток от Солнца, несущий ежегодно $4 \cdot 10^{30}$ эргов энергии.

Если для целей увеличения скорости вращения Луны задаться достаточно полным использованием этого вида энергии, то и тогда длительность лунных суток можно приблизить к земной за период порядка тысячи лет.

Но, вероятно, в перспективе столетий в распоряжении у человека окажутся существенно более эффективные формы энергии, чем современные (например, термоядерная, аннигиляционная), и поставленная задача не покажется столь уж безнадежной.

В этом смысле, по мере овладения внеземными ресурсами и увеличения могущества человечества в космосе, будут решены и более сложные проблемы — такие, как изменение орбит планет, создание систем связи с другими цивилизациями, широкое использование материальных внеземных ресурсов, полеты в области соседних звезд и т. д.

На этом пути овладение Луной является одним из первых и скромных, но необходимых этапов.



«Луна-4»	2 апреля 1963 г.	—	стоянии 725 км и вышел на гелио-центрическую орбиту Получен важный материал для решения технических проблем освоения Луны
«Рейнджер-6»	30 января 1964 г.	Селенографические координаты точки падения: 9°24' с. ш. и 21°30' в. д.	Аппарат предназначался для передачи телевизионных изображений поверхности Луны непосредственно перед падением. Достиг Луны, но изображения не передал
«Рейнджер-7»	28 июля 1964 г.	Селенографические координаты точки падения: 10°34' ю. ш. и 20°35' з. д.	Аппарат достиг Луны и передал 4308 изображений ее поверхности непосредственно перед падением
«Рейнджер-8»	17 февраля 1965 г.	Селенографические координаты точки падения: 2°36' с. ш. и 24°48' в. д.	Аппарат достиг Луны и передал 7137 изображений ее поверхности
«Рейнджер-9»	21 марта 1965 г.	Селенографические координаты точки падения: 12°55' ю. ш. и 2°23' з. д.	Аппарат достиг Луны и передал 5814 изображений ее поверхности
«Луна-5»	9 мая 1965 г.	Селенографические координаты точки посадки: 8°10' с. ш. и 23°26' з. д.	12 мая станция достигла поверхности Луны. Получены первые опытные данные о работе систем, обеспечивающих мягкую посадку
«Луна-6»	8 июня 1965 г.	—	Станция прошла на расстоянии 1627 км от поверхности Луны
«Зонд-3»	18 июля 1965 г.	Гелиоцентрическая орбита съемки производилась на расстоянии 11570—9960 км от лунной поверхности	20 июля в течение 1 ч 8 мин станция фотографировала 1/3 поверхности обратной стороны Луны, оставшаяся вне поля зрения станции «Луна-3». На фотографиях получены также изображения части видимой стороны Луны

Наименование лунных автоматических аппаратов	Дата запуска	Параметры орбиты или координаты точки посадки (падения)	Особенности полета
«Луна-7»	4 октября 1965 г.	Селенографические координаты прилунения: 03°54' с. ш., 48°11' з. д.	8 октября станция достигла поверхности Луны. Сделан дальнейший шаг к осуществлению мягкой посадки
«Луна-8»	3 декабря 1965 г.	Селенографические координаты прилунения: 09°11' с. ш., 63°17' з. д.	7 декабря станция достигла поверхности Луны. Получены необходимые данные для осуществления мягкой посадки
«Луна-9»	31 января 1966 г.	Селенографические координаты точки посадки: 7°8' с. ш. и 64°22' з. д.	Первая мягкая посадка автоматической межпланетной станции на Луну (3 февраля). Передано три панорамы и два фрагмента лунной поверхности
«Луна-10»	31 марта 1966 г.	Параметры окололунной орбиты: апоселений 1017 км, периселений — 350 км, период обращения — 2 ч 58 мин	Первый искусственный спутник Луны. Выведен на селеноцентрическую орбиту 3 апреля. Активно существовал 56 суток (до 30 мая)
«Сервейер-1»	30 мая 1966 г.	Селенографические координаты точки посадки: 2°39' ю. ш., 43°20' з. д.	Аппарат совершил мягкую посадку на Луну и передал 11 237 изображений
«Лунар Орбитер-1»	10 августа 1966 г.	Периселений — 189 км (40,5 км), апоселений — 1867 км (1817 км), период обращения — 3 ч 37,5 мин	Аппарат был выведен на окололунную орбиту, передал снимки девяти участков поверхности Луны — всего 212 пар снимков. 29 октября аппарат был заторможен и упал на невидимую сторону Луны
«Луна-11»	24 августа 1966 г.	Периселений — 163,5 км, апоселений — 1193,6 км, период обращения — 2 ч 57,7 мин	Спутник был выведен на окололунную орбиту 27 августа. Активно существовал 38 суток (до 1 октября)

«Сервейер-2»	20 сентября 1966 г.	Селенографические координаты точки падения: 0°33' с. ш., 0°50' з. д.	Аппарат предназначался для мягкой посадки на Луну и передачи с ее поверхности телевизионных изображений. Потерял управление и упал на Луну
«Луна-12»	22 октября 1966 г.	Периселений — 100 км, апоиселений — 1740 км, период обращения — 3 ч 25 мин	Спутник был выведен на окололунную орбиту 25 октября, передал крупномасштабные изображения фрагментов лунной поверхности. Активно существовал 85 суток (до 19 января 1967 года)
«Лунар Орбитер-2»	6 ноября 1966 г.	Периселений — 196 км (39 км), апоиселений — 1870 км (1860 км), период обращения — 3 ч 28 мин	Получено 211 пар снимков, из них на Землю передано 97%. 11 октября был уничтожен (аналогично «Лунар Орбитер-1»)
«Луна-13»	21 декабря 1966 г.	Селенографические координаты точки прилунения: 18°52' с. ш., 62°03' з. д.	Вторая мягкая посадка (24 декабря) советской автоматической межпланетной станции на Луну. Передано пять панорам лунной поверхности. Первые непосредственные исследования лунного грунта
«Лунар Орбитер-3»	5 февраля 1967 г.	Периселений — 215 км (54,7 км), апоиселений — 1790 км (1844 км), период обращения — 3 ч 35 мин (3 ч 29 мин)	Получены 211 пар снимков 12 участков поверхности Луны, на Землю передано только 187 пар снимков. 9 октября по команде с Земли аппарат был уничтожен
«Сервейер-3»	7 апреля 1967 г.	Селенографические координаты места посадки: 2°59' ю. ш., 23°24' з. д.	Передано 6319 снимков поверхности Луны. Определены механические характеристики грунта
«Лунар Орбитер-4»	4 мая 1967 г.	Периселений — 2705 км, апоиселений — 6034 км, период обращения — 12 ч 01 мин	Сфотографировано 99% площади видимой стороны Луны. Впервые по-

Наименование лунных автоматических аппаратов	Дата запуска	Параметры орбиты или координаты точки посадки (падения)	Особенности полета
«Сервейер-4»	14 июля 1967 г.	—	лучены снимки полярных районов Луны. С аппаратом потеряна связь
«Лунар Орбитер-5»	1 августа 1967 г.	Периселений — 196 км (100 км), апоселений — 6050 км (1530 км), период обращения 8 ч (3 ч)	Перед посадкой на Луну (17 июля) связь потеряна
«Сервейер-5»	8 сентября 1967 г.	Селенографические координаты места посадки: $1^{\circ}48'$ с. ш., $23^{\circ}23'$ в. д.	Получены все 212 запланированных снимков лунной поверхности
«Сервейер-6»	7 ноября 1967 г.	Селенографические координаты места посадки: $0^{\circ}47'$ с. ш., $1^{\circ}48'$ з. д.	Передано 18 006 снимков лунной поверхности. Определен химический состав грунта
«Сервейер-7»	7 января 1968 г.	Селенографические координаты места посадки: 41° ю. ш., $11^{\circ}43'$ з. д.	Передано более 30 000 снимков лунной поверхности. Определен химический состав грунта
«Луна-14»	7 апреля 1968 г.	Периселений — 160 км, апоселений — 270 км, период обращения — 2 ч 40 мин	Передано 21 000 снимков лунной поверхности. Определен химический состав и механические характеристики грунта
«Зонд-5»	15 сентября 1968 г.	Облет Луны (на высоте $H \geq 1950$ км) с возвращением на Землю (21 сентября)	10 апреля спутник выведен на окололунную орбиту. Проведены гравиметрические и другие научные исследования Впервые осуществлена мягкая посадка на поверхность Земли при входе в ее атмосферу со второй космической скоростью. Исследование окололунного пространства

«Зонд-6»	10 ноября 1968 г.	Облет Луны (на высоте $H \geq 3300$ км) с возвращением на Землю (17 ноября)	Впервые произведена мягкая посадка на поверхность Земли с использованием аэродинамического качества при входе в атмосферу со второй космической скоростью. Фотографирование Луны и Земли За время полета по орбите проведен ряд научных исследований и получены важные данные о работе конструкции и новых бортовых систем. 21 июля станция сошла с орбиты и достигла поверхности Луны Исследование окололунного пространства, фотографирование на цветную пленку Луны и Земли Впервые автоматический аппарат взял образцы лунного грунта и доставил их на Землю. Старт с Луны — 21 сентября, приземление — 24 сентября. Баллистический вход в земную атмосферу со второй космической скоростью Фотографирование лунной поверхности на цветную и черно-белую пленку Впервые доставлена на Луну комплексная научная лаборатория — самодостаточный аппарат «Луноход-1». Переданы изображения различных участков лунной поверхности; доставлено на Луну отражающее лазерное устройство, созданное французскими
«Луна-15»	13 июля 1969 г.	Периселений — 95 км (16 км), аполсений — 221 км (110 км), период обращения — 2 ч 35 мин (1 ч 54 мин), координаты посадки: 12° с. ш., 60° в. д.	
«Зонд-7»	8 августа 1969 г.	Облет Луны с возвращением на Землю (14 августа)	
«Луна-16»	12 сентября 1970 г.	Параметры орбиты после маневрирования: периселений — 15 км, аполсений — 106 км; селенографические координаты посадки (20 сентября): $0^\circ 41'$ ю. ш., $56^\circ 18'$ в. д.	
«Зонд-8»	20 октября 1970 г.	Облет Луны (на высоте $H \geq 1120$ км) с возвращением на Землю (27 октября)	
«Луна-17»	10 ноября 1970 г.	Параметры орбиты после маневрирования: периселений — 19 км, аполсений — 85 км; селенографические координаты места посадки: $38^\circ 17'$ с. ш., 35° з. д. Передвижение лунохода в районе Моря Дождей	

Наименование лунных автоматических аппаратов	Дата запуска	Параметры орбиты или координаты точки посадки (падения)	Особенности полета
«Луна-18»	2 сентября 1971 г	Параметры селеноцентрической орбиты: высота над поверхностью Луны — 100 км; период обращения — 1 ч 59 мин; селенографические координаты места прилу- нения: 3°34' с. ш., 56°30' в. д.	специалистами; проведены длительные научные исследования лунного грунта и внегалактического рентгеновского излучения Проведена отработка методов автоматической окололунной навигации и обеспечения посадки на поверхность Луны. Получены новые опытные данные о работе конструкции и бортовых систем станции
«Луна-19»	28 сентября 1971	Параметры селеноцентрических орбит, полученных в результате последовательно проведенных маневров торможения и двух кор- рекций (3 и 6 октября; 26 и 28 но- ября): периселений — 140, 127, 77 км, апоселений — 140, 135, 385 км; период обращения — 2 ч 1 мин 45 сек, 2 ч 1 мин, 2 ч 11 мин	Систематические многомесячные научные исследования Луны и около- лунного пространства. Сопоставление соответствующих измерений, прово- димых одновременно вблизи плане- ты Марс станциями «Марс-2» и «Марс-3».
«Луна-20»	14 февраля 1972	Параметры селеноцентрической орбиты после маневров тормо- жения и коррекций: минималь- ная высота — 100 и 21 км, мак- симальная высота — 100 км. Се- ленографические координаты ме- ста посадки: 3°32' с. ш., 56°33' в. д.	Автоматический аппарат доставил на Землю образцы грунта из труд- нодоступного района Луны. Старт с Луны — 23 февраля, приземление — 25 февраля

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аким Э. Л. Определение поля тяготения Луны по движению искусственного спутника Луны «Луна-10». — «Космические исследования», 1966, вып. 6.
2. Атлас обратной стороны Луны, ч. II, М., «Наука», 1967.
3. Бондаренко Л. Н., Лейкин Г. А. Исследования физических свойств лунной поверхности в СССР. — «Астрономический вестник», 1970, № 3 и 4.
4. Виноградов А. П. Предварительные данные о лунном грунте, доставленном автоматической станцией «Луна-16». — «Геохимия», 1971, № 3.
5. Виноградов А. П. и др. Предварительные результаты измерений гамма-излучения лунной поверхности на космической станции «Луна-10». — «Космические исследования», 1966, вып. 6.
6. Графов В. Е. и др. Первый эксперимент по бурению на Луне. — «Космические исследования», 1971, вып. 4.
7. Губарев В. Человек, Земля, Вселенная. М., «Московский рабочий», 1963.
8. Жарков В. Н., Берикашвили В. Ш. Проблемы сейсмических исследований на Луне. — «Земля и вселенная», 1965, № 6.
9. Зонды исследуют лунную трассу. М., «Машиностроение», 1969.
10. Изучение Луны и планет — важная проблема современной науки. — «Авиация и космонавтика», 1967, № 11.
11. Кокурин Ю. Л. и др. Лазерная локация светоотражателя, установленного на «Луноходе-1». — «Космические исследования», 1971, вып. 6.
12. Кондратьев К. Я. и др. Лунная метеорологическая обсерватория для наблюдений Земли. — «Космические исследования», 1966, вып. 3.
13. Левин Б. Ю. Луна: ее геофизика, геохимия, геология. — «Наука и жизнь», 1967, № 8.
14. Липский Ю. Н. Некоторые итоги глобального обследования поверхности Луны. — «Вестник АН СССР», 1968, № 6.
15. Назарова Т. Н., Рыбаков А. К., Комиссаров Г. Д. Предварительные результаты исследования твердого межпланетного вещества в окрестности Луны. — «Космические исследования», 1966, вып. 6.
16. Николаев Г. Н., Рождественский М. К., Шкирина В. И. Второе поколение советских автоматических посадочных лунных станций. — «Вестник АН СССР», 1971, № 6.

17. Первые панорамы лунной поверхности. М. «Наука», 1966.
18. Сытинская Н. Н. Природа Луны. М., Физматгиз, 1959.
19. Троицкий В. С. Некоторые результаты исследования Луны радиофизическими методами. — «Астрономический журнал», 1964, вып. I, т. 41.
20. Урсул А. Д. Освоение космоса. М., «Мысль», 1967.
21. Успехи СССР в исследовании космического пространства. М., «Наука», 1967.
22. Циолковский К. Э. Избранные труды. М., Изд-во АН СССР, 1962.
23. Черкасов И. И., Кемурджиан А. Л., Михайлов Л. Н. и др. Определение плотности и механической прочности поверхностного слоя лунного грунта в месте посадки автоматической лунной станции «Луна-13». — «Космические исследования», 1967, вып. 5.
24. Шкловский И. С. Вселенная, жизнь, разум. М., «Наука», 1965.



СОДЕРЖАНИЕ

	<i>Стр.</i>
Введение	5
Что известно о Луне!	9
Движение Луны	9
Некоторые числовые параметры Луны	14
Физические особенности нашего спутника	17
Методы исследования Луны	21
Научное и практическое значение освоения Луны	24
Вводные замечания	24
Роль и возможности автоматических станций и обитаемых баз в изучении и освоении Луны	31
Астрономические и физические исследования	33
Геологи и геохимики получают ценную базу	43
Проблемы биологии	46
Службы Солнца и Земли на лунных базах	47
Решение некоторых проблем практической космонавтики	53
Полеты автоматических станций для исследования Луны	58
Летопись запусков	58
Первые полеты к Луне («Луна-1» и «Луна-2»)	79
Облет и фотографирование обратной стороны Луны («Луна-3» и «Зонд-3»)	87
Автоматические станции на Луне («Луна-9» и «Луна-13»)	97
Искусственные спутники Луны («Луна-10», «Луна-11», «Луна-12», «Луна-14» и «Луна-19»)	106
Облет Луны с возвращением автоматических станций на Землю («Зонд-5», «Зонд-6», «Зонд-7» и «Зонд-8»)	113
Комплексные исследования Луны («Луна-15», «Луна-16», «Луна-17», «Луна-20»)	118
Американские космические аппараты для исследования Луны («Рейнджер», «Сервейер», «Лунар Орбитер»)	129
Исследование окололунного пространства	139
О магнитном поле Луны	141
Исследование плазмы и космических лучей вблизи Луны	145

Измерение космического рентгеновского излучения с лунной поверхности	154
Распределение частиц твердого вещества в межпланетном пространстве и в районе Луны	156
Картографирование лунной поверхности	165
Фотографирование обратной стороны Луны	167
Снимки отдельных участков видимого полушария Луны в различных масштабах	175
Лунные спутники — фотографии	178
Физико-химические свойства Луны	185
Структура и строение лунной поверхности	186
Плотность, состав и радиационные характеристики поверхностных пород Луны	197
Форма, масса и характеристика движения Луны, ее гравитационное поле	212
Исследование Луны — важный этап на пути освоения космоса	222
Приложение. Основные данные о полетах лунных автоматических аппаратов	234
Список литературы	241



Самарий Наумович Минчин

и Аркадий Тигранович Улубеков

ЗЕМЛЯ — КОСМОС — ЛУНА

Редактор издательства Ф. Г. Тубянская Технический редактор Т. С. Старых
Художник Н. С. Лаврентьев Корректор Е. П. Карнаух

Сдано в набор 11/IV-1972 г. Подписано в печать 6/X-1972 г. Т-14383
Формат 70×108¹/₃₂. Бумага № 1. Печ. л. 7,88 в т. ч. 1 вкл. (Усл. печ. л. 13,23)
Уч. изд. л. 12,5 Бум. л. 3,94 Тираж 43000 экз. Изд. зак. № 2671
Цена 46 коп. БЗ' № 28—72 п. 23

Издательство «Машиностроение», Москва, Б-78, 1-й Басманный пер., 3.

Московская типография № 8 Главполиграфпрома
Государственного Комитета Совета Министров СССР
по делам издательств, полиграфии и книжной торговли,
Хохловский пер., 7. Тип. зак. 1182

