ИЗДАТЕЛЬСТВО
«НАУКА»
ВЫШЛА ИЗ ПЕЧАТИ
КНИГА:

КОСМОДЕМЬЯНСКИЙ А. А. Константин Эдуардович Циолковский. 1857—1935. 14,7 л. 93 к.

Книга представляет собой научную биографию К. Э. Циолковского. В ней приведены интересные сведения о работах Циолковского по аэронавтике, ракетной технике, космонавтике, дана характеристика творческого стиля ученого.

Издание рассчитано на широкий круг читателей — ученых и историков науки, преподавателей и студентов, учащихся старших классов и всех, кто интересуется развитием отечественной науки.

Для получения книги почтой заказы просим направлять по адресу:

117464 МОСКВА, В-464, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига»;
197110 ЛЕНИНГРАД, П-110, Петрозаводская ул., 7, магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига» или в ближайшие магазины «Академкнига».

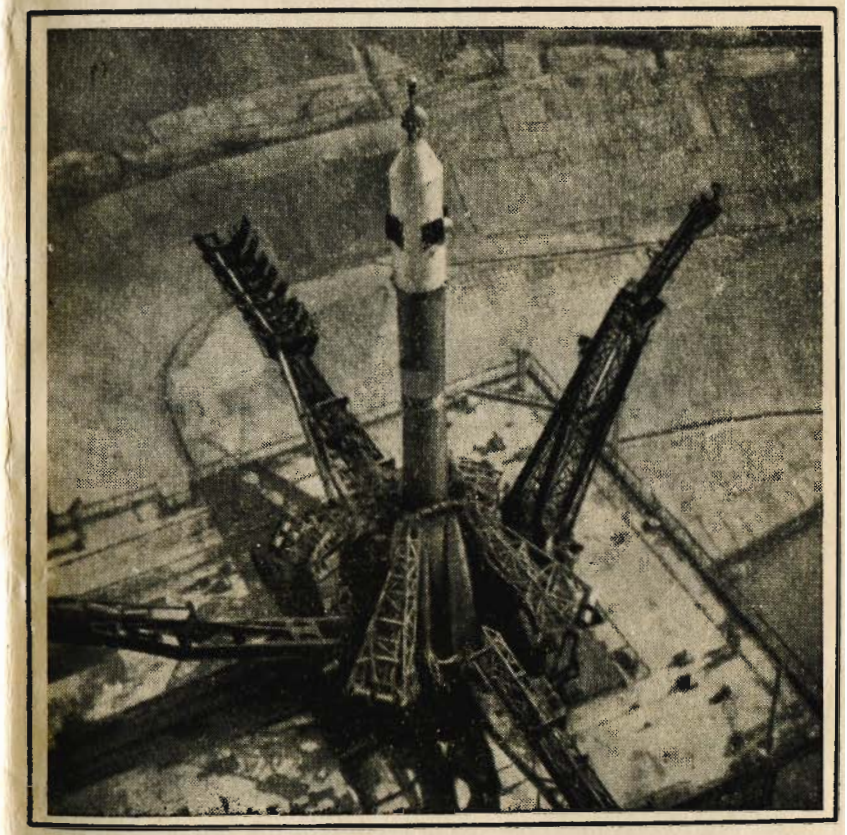
Адреса магазинов «Академкнига»:

480391 **Алма-Ата**, ул. Фурманова, 91/97. 370005 **Баку**, ул. Джапаридзе, 13. 320005 **Днепропетровск**, проспект Гагарина, 24. 734001 **Душанбе**, проспект Ленина, 95. 664033 **Иркутск**, 33, ул. Лермонтова, 289. 252030 **Киев**, ул. Ленина, 42. 277012 **Кишинев**, ул. Пушкина, 31. 433900 **Краматорск**, ул. Марата, 1. 443002 **Куйбышев**, проспект Ленина, 2. 192104 **Ленинград**, Д-120, Литейный проспект, 57. 199164 **Ленинград**, Университетская наб., 5. 199004 **Ленинград**, 9 линия, 16. 103009 **Москва**, ул. Горького, 8. 117312 **Москва**, ул. Вавилова, 55/7. 630090 **Новосибирск**, Академгородок, Морской проспект, 22. 630076 **Новосибирск**, 91, Красный проспект, 51. 620151 **Свердловск**, ул. Мамина-Сибиряка, 137. 700029 **Ташкент**, ул. 50 лет Узбекистана, 11. 700029 **Ташкент**, Л-29, ул. Ленина, 73. 700100 **Ташкент**, ул. Шота Руставели, 43. 634050 **Томск**, наб. реки Ушайки, 18. 450075 **Уфа**, Коммунистическая ул., 49. 450075 **Уфа**, проспект Октября, 129, 720001 **Фрунзе**, бульвар Дзержинского, 42. 310003 **Харьков**, Уфимский пер., 4/6.

ИЗДАТЕЛЬСТВО·НАУКА·

М. И. ШТЕРН

# КОСМОС — ЗЕМЛЕ



ИЗДАТЕЛЬСТВО·НАУКА·

АКАДЕМИЯ НАУК СССР

Серия «Проблемы науки
и технического прогресса»

М. И. ШТЕРН

# КОСМОС — ЗЕМЛЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

Москва 1976

Книга знакомит читателей с важнейшими результатами научных исследований, осуществляемых в космосе, с конструкцией и назначением различных космических аппаратов, с использованием космической техники для нужд навигации, метеорологии, геодезии, разведки природных ресурсов. Она включает краткий очерк, посвященный перспективам развития космической науки и техники.

Ответственный редактор

академик Г. И. ПЕТРОВ

Ш $\frac{31906-049}{054(02)-76}$ 26—76НП

© Издательство «Наука», 1976 г.

Глава 1

# НАЧАЛО КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

4 октября 1957 г. в Советском Союзе был запущен первый в мире искусственный спутник Земли. Значение этого события трудно переоценить. История науки знает много открытий и крупных достижений, давших толчок к дальнейшим научным разработкам. Но лишь немногие из них означали поворотные моменты в развитии науки и техники.

Запуск первого искусственного спутника Земли стал таким поворотным этапом. Он ознаменовал первый, самый трудный шаг на пути человека к звездам. «Искусственные спутники Земли проложат дорогу к межпланетным путешествиям, и, по-видимому, нашим современникам суждено быть свидетелями того, как освобожденный и созидательный труд людей нового, социалистического общества делает реальностью самые дерзновенные мечты человечества»,— так заканчивалось официальное сообщение о запуске первого ИСЗ.

История исследования и освоения космоса будет знать еще много новых смелых решений, блестящих открытий. Но мир никогда не забудет подвига советских людей — ученых, инженеров, техников, рабочих, создавших первый спутник и ракету, поднявшую его на орбиту.

Уже первые искусственные спутники Земли дали ценнейшую информацию о процессах в верхних слоях атмосферы, в околоземном космическом пространстве. От запуска к запуску все новые спутники, космические аппараты и пилотируемые корабли, оснащенные сложнейшей аппаратурой, увеличивали объем информации, которая обогащала разнообразные отрасли науки и находила практическое применение.

Так космос, раскрывая свои секреты, стал служить Земле, принося людям все более ощутимую пользу.

Как известно, движение спутника происходит в поле тяготения Земли. Оно определяется распределением масс внутри планеты и в ее коре. Изучая движение спутника, ученые получают возможность уточнить наши знания о поле земного тяготения и сделать отсюда выводы о строении нашей планеты. Правда, вокруг Земли обращается и естественный спутник — Луна, но изучение ее движения дает сведения лишь о тех частях поля земного тяготения, которые сравнительно далеки от поверхности Земли. На этих расстояниях поле земного тяготения значительно меньше зависит от распределения масс планеты. Поэтому изучение движения Луны дает лишь весьма скудные сведения по этому вопросу. Искусственные же спутники, запускаемые на удобные для выполнения измерений высóты, представляют в этом отношении гораздо больше возможностей.

Программы научных измерений на искусственных спутниках Земли охватывают также многие проблемы физики верхних слоев атмосферы: давление, плотность и ее состав, состояние ионосферы и ее химической структуры. Спутники помогают проводить магнитные измерения, изучать природу корпускулярного излучения Солнца, первичный состав и вариации космических лучей, ультрафиолетовый и рентгеновский участки спектра Солнца.

Верхние слои атмосферы играют, как известно, огромную роль в жизни нашей планеты. Они представляют собой надежный экран, защищающий живой мир Земли от вредного воздействия некоторых видов солнечного излучения, космических лучей и метеоритов, непрерывным потоком вторгающихся в атмосферу из мирового пространства.

Но роль верхних слоев атмосферы этим не ограничивается. Через них Солнце воздействует на процессы, протекающие в нижних слоях атмосферы — тропосфере. Изменения солнечной радиации отражаются на состоянии тропосферы, влияют на развитие циклонов и антициклонов, на колебания уровня воды в морях и океанах, вызывают ряд других явлений в физике нашей планеты.

Изучение явлений, протекающих в верхних ионизированных слоях атмосферы — в ионосфере, несомненно, обогатит науку и практику. Так, новые данные об ионосфере помогают ученым и инженерам совершенствовать систему радиосвязи.

На высоте нескольких сот километров над поверхностью Земли ее атмосфера очень разрежена. Но сопротивление воздуха все же сказывается на движении спутника. Поэтому, наблюдая за изменением параметров его орбиты, мы получаем данные о строении верхних слоев атмосферы. Эта задача может быть решена даже и тогда, когда на борту спутника нет никакой аппаратуры, в этом случае требуется лишь точное определение меняющихся координат спутника. Само собой разумеется, однако, что установленная на спутнике какая-либо передающая радиоаппаратура значительно облегчает определение его координат.

При изучении небесных тел и космического пространства астрономы встречают большие трудности в связи с тем, что обсерватории и научные станции расположены на дне окружающего Землю воздушного океана. Этот океан — земная атмосфера — пропускает к нам только отдельные узкие участки спектра излучений, испускаемых Солнцем, звездами и другими небесными светилами. С борта же искусственного спутника Земли можно беспрепятственно наблюдать, например, ультрафиолетовое и рентгеновское излучение Солнца, радиоизлучение с длиной волны в несколько десятков или сотен метров, а также заряженные частицы, испускаемые Солнцем, особенно в периоды его бурной деятельности.

Космические лучи, пронизывающие околоземное пространство, при входе в атмосферу испытывают ряд превращений, поэтому наблюдателям, находящимся на Земле, трудно судить о природе первичных космических лучей. Между тем аппаратура, установленная на спутнике, дает возможность исследовать именно первичные лучи, получить данные о наличии в составе первичного космического излучения ядер различных химических элементов. Устанавливаемая на спутниках аппаратура позволяет также изучать вариации полного потока космических лучей и прежде всего их связи с явлениями на Солнце.

Особенно важное значение имеет исследование ультрафиолетового участка спектра излучения Солнца и заряженных частиц, испускаемых Солнцем. Те и другие оказывают мощное воздействие на состояние верхних слоев земной атмосферы, а именно ионосферы, обусловливают ее ионизацию, определяющую основные свойства ионосферы, связанные, в частности, с отражением и прохождением радиоволн. Но интенсивность этих излучений Солн-

ца подвержена сильным изменениям. Поэтому состояние ионосферы и ее свойства все время меняются. Для выяснения закономерностей этих изменений необходимы точные и прямые данные об излучениях Солнца, в том числе и тех, которые недоступны для наблюдений с поверхности Земли.

Установка радиопередатчиков на искусственных спутниках позволяет производить непосредственное изучение ионосферы, ибо прием сигналов на многочисленных приемных станциях, расположенных на Земле, определение интенсивности этих сигналов позволяют как бы насквозь прощупывать ионосферу, т. е. ту среду, через которую проходят сигналы.

Наряду с коротковолновой радиацией огромную роль в процессах, происходящих в верхних слоях атмосферы, играет корпускулярное излучение Солнца. Очень важно выяснить природу корпускулярного излучения, его интенсивность, энергетический спектр частиц, выбрасываемых Солнцем, и выяснить роль корпускулярного излучения в образовании полярных сияний. Эти вопросы также могут быть решены с помощью аппаратуры, устанавливаемой на искусственных спутниках Земли.

Наконец, данные о межпланетной среде до запуска спутников могли быть получены только путем наблюдений «издалека», т. е. с расположенных на земной поверхности обсерваторий. Космический же аппарат входит в непосредственное соприкосновение с этой средой и, таким образом, данные о межпланетном пространстве могут быть получены путем прямых, непосредственных измерений.

Ко времени запуска первого спутника исследования атмосферы были проведены до высот порядка 30 км и выше с помощью радиозондов. Путем наблюдения метеоров, свечения ночного неба, полярных сияний и распространения акустических волн от сверхмощных взрывов получены некоторые представления о строении верхней атмосферы. Путем зондирования импульсами различной длительности исследовалась нижняя ионосфера. Однако полученные результаты не охватывали всего диапазона высот и не всегда были вполне достоверными.

Длительное время исследования атмосферы проводились с помощью ракет. Это было большим достижением науки и техники и дало многое для уточнения наших



знаний о воздушной оболочке Земли. Но и ракетам свойственны существенные недостатки и прежде всего очень малое число получаемых данных. Дело в том, что каждый пуск ракеты, представляющий собой весьма дорогое и сложное предприятие, приносит сведения, зафиксированные лишь в течение нескольких минут в одной точке земного шара. Это не дает возможности систематически вести наблюдения явлений в верхних слоях атмосферы. Тем более невозможны с помощью ракет глобальные наблюдения. Вот почему было важно создать искусственный спутник Земли как автоматическую лабораторию длительного действия, удобную «платформу» для проведения дистанционных наблюдений и исследований за пределами плотных слоев атмосферы и в масштабе всей планеты.

Следует отметить, что первый спутник был запущен в период тщательно подготовленного грандиозного научного мероприятия — Международного геофизического года, в котором участвовали 64 страны, включая Советский Союз и Соединенные Штаты Америки. Именно эти две страны, учитывая актуальность и важность проведения спутниковых исследований в сочетании с наземными наблюдениями, и предложили по программе МГГ запустить искусственные спутники Земли.

### Самые первые

Запуск ИСЗ позволил получить первые достоверные представления о физических условиях в верхней атмосфере и внутри движущегося по орбите космического аппарата. Помимо самостоятельного научного значения, это было крайне важно для подготовки последующих этапов космических исследований, включая и подготовку к космическому полету человека.

Одной из основных задач, стоявших при запуске первого спутника, было, как уже говорилось, определение параметров верхней атмосферы. Спутник имел сферическую форму, поэтому по наблюдению за изменением параметров его орбиты, происходящим вследствие торможения, было сравнительно легко вычислить плотность верхних слоев атмосферы в области перигея орбиты. Кстати сказать, аналогичный эксперимент проводили и путем наблюдения за торможением ракеты-носителя первого спутника.

Другим не менее важным экспериментом было исследование ионосферы. Эта задача решалась путем наблюдений за распространением радиоволн, излучаемых спутником. Для этой цели на его борту были установлены радиопередатчики, работавшие на частотах 20,005 и 40,002 МГц.

Отметим, что исследования, которые выполняются с помощью космических аппаратов, носят интернациональный характер. Уже в первом запуске ИСЗ наблюдение за движением спутника и его ракеты-носителя, прием и регистрацию радиосигналов могли вести в любой стране. В этом смысле запуск первого и последующих спутников явился международным экспериментом, где физические данные о свойствах верхней атмосферы и ионосферы могли быть получены зарубежными учеными не только от советских коллег, но и путем собственных наблюдений.

Сигналы, излучаемые радиопередатчиками спутников, использовались как для ионосферных исследований, так и для передачи на Землю результатов измерений, проводившихся на спутнике. На первом спутнике исследовался, в частности, температурный режим внутри его герметичного объема. Величина температуры регистрировалась путем измерения с помощью чувствительных элементов изменений частоты телеграфных посылок и соотношения между паузами и длительностью этих посылок.

Спутник в виде шара диаметром 58 см весил 83,6 кг. Герметичный корпус спутника был изготовлен из алюминиевых сплавов. Поверхность его полировалась и подвергалась специальной обработке. В корпусе размещалась вся аппаратура спутника вместе с источниками энергопитания.

Перед запуском спутник заполнялся газообразным азотом.

На внешней поверхности корпуса были установлены антенны в виде четырех стержней длиной от 2,4 до 2,9 м. При выведении спутника на орбиту стержни антенн прижимались к корпусу ракеты. После отделения спутника от ракеты-носителя антенны поворачивались относительно своих шарниров и занимали рабочее положение.

Необходимый температурный режим внутри первого спутника обеспечивался тем, что его поверхность обладала способностью излучать и поглощать солнечную радиацию в определенных пределах, а также путем передачи тепла между оболочкой и аппаратурой в ходе принудительной циркуляции азота внутри спутника.



Изучение температурного режима в условиях космического полета на первом спутнике было крайне необходимо для обеспечения требуемых тепловых условий работы аппаратуры при последующих экспериментах и проверки эффективности систем терморегулирования. Не меньшее значение оно имело и для подготовки биологического эксперимента с собакой Лайкой, запланированного для проведения на втором спутнике, запущенном 3 ноября 1957 г.

Медико-биологические эксперименты на высотных и геофизических ракетах уже дали к концу 1957 г. необходимые сведения о способности живых существ удовлетворительно переносить действие значительных перегрузок, возникающих на активном участке полета, и невесомости — на участке пассивного полета. При этом отрабатывалась и техника спуска животных с больших высот на парашюте.

Выбор собак для космических экспериментов был не случайным. Эти высокоорганизованные животные широко использовались советскими физиологами в опытах при исследовании ряда научных проблем. К высотным полетам собаки проходили специальную подготовку. Опыты с животными ставились и в США. Но там в ракеты помещались мыши и обезьяны, причем последние находились под наркозом. Это, конечно, сильно искажало действительную картину влияния условий полета на животных.

Наблюдения показали, что кратковременные полеты на ракете в верхних слоях атмосферы никакого вреда животным не приносят. Однако длительность полета в невесомости в этих опытах была недостаточной, чтобы выяснить, как животные перенесут орбитальный полет. Эксперимент с Лайкой на спутнике дал замечательную возможность исследовать состояние живого организма в условиях невесомости в течение нескольких суток.

Второй советский искусственный спутник Земли, в отличие от первого, после выведения на орбиту не был отделен от последней ступени ракеты-носителя: на ней размещалась вся научная и измерительная аппаратура. Такое решение существенно упростило задачу определения координат спутника с помощью оптических средств наблюдения, поскольку, как показал опыт первого спутника, наблюдения за ракетой-носителем оказалось проводить значительно проще, чем за самим спутником, так как

яркость ракеты-носителя превосходит яркость спутника на несколько звездных величин. Общий вес аппаратуры, подопытного животного и источников энергопитания на втором искусственном спутнике составлял 508,3 кг.

Герметичная кабина с подопытным животным располагалась в передней части последней ступени ракеты на специальной раме. Там же был установлен прибор для исследования излучения Солнца в ультрафиолетовой и рентгеновской областях спектра, сферический контейнер с радиопередатчиками и другой аппаратурой. Аппаратура для изучения космических лучей располагалась на корпусе ракеты. Установленные на раме приборы и контейнеры защищались от аэродинамических и тепловых воздействий, возникающих при полете ракеты в плотных слоях атмосферы, специальным защитным конусом. После выведения последней ступени на орбиту защитный конус был сброшен.

Радиопередатчики, находящиеся в сферическом контейнере, работали на частотах 40,002 и 20,005 МГц. Источники их электропитания, система терморегулирования, а также чувствительные элементы, регистрировавшие изменения температуры и другие параметры, также размещались в этом контейнере. По своей конструкции сферический контейнер был подобен первому искусственному спутнику Земли.

Сигналы радиопередатчика, работавшего на частоте 20,005 МГц, имели вид телеграфных посылок. Длительность их, так же как и длительность пауз между ними, составляла в среднем около 0,3 с. При изменении некоторых параметров (температуры и давления) внутри сферического контейнера длительность этих посылок и пауз между ними изменялась в определенных пределах.

Радиопередатчик на частоте 40,002 МГц работал в режиме непрерывного излучения. Установка двух радиопередатчиков на указанных частотах обеспечивала проведение исследований по распространению радиоволн, излучаемых со спутника, и измерение параметров его орбиты. При этом обеспечивался прием радиосигналов со спутника при любом состоянии ионосферы. Выбор длин волн, а также достаточная мощность радиопередатчиков позволили осуществлять радионаблюдения за спутником наряду со специальными станциями радиолюбителям.

Герметичная кабина, в которой помещалось подопытное животное, имела цилиндрическую форму. С целью создания условий, необходимых для нормального существования животного, в ней был размещен запас пищи, а также система кондиционирования воздуха, состоящая из регенерационной установки и системы терморегулирования. Помимо этого в кабине размещалась аппаратура для регистрации пульса, дыхания, кровяного давления, аппаратура для снятия электрокардиограмм, а также чувствительные элементы для измерения параметров, характеризующих условия в кабине (температура, давление).

Системы терморегулирования, установленные в сферическом контейнере и в кабине животного, поддерживали в них температуру в заданных пределах, отводя тепло к оболочке путем принудительной циркуляции газа.

Кроме перечисленной аппаратуры на корпусе последней ступени ракеты были установлены: радиотелеметрическая система, аппаратура для измерения температуры, источники электроэнергии, обеспечивающие питание научной и измерительной аппаратуры. Температура на внешней поверхности и внутри кабины животного, а также температура отдельных приборов и элементов конструкции определялась с помощью установленных на них температурных датчиков. Радиотелеметрическая аппаратура обеспечивала передачу на Землю данных всех измерений, осуществляемых на спутнике. Включение ее для передачи результатов измерений производилось периодически по специальной программе.

Наиболее уникальным экспериментом на втором искусственном спутнике Земли была проверка возможности выживания животного организма в условиях космического полета.

Расшифровка данных показала, что сразу после старта частота сердечных сокращений у Лайки возросла по сравнению с исходной примерно в 3 раза. В дальнейшем, когда действие ускорений не только продолжалось, но и нарастало, частота сердцебиений уменьшалась. Анализ записей биотоков сердца (электрокардиограмма) не обнаружил каких-либо болезненных признаков. Отмечалась типичная картина учащения сердцебиения.

По мере кажущегося увеличения веса тела животного дыхание его становилось более поверхностным и частым. В максимуме действия ускорения частота дыхания в 3—4 раза превышала исходную.

Анализ и сопоставление полученных данных с результатами предшествующих лабораторных опытов и экспериментов на высотных ракетах позволили прийти к выводу, что полет от старта до выхода на орбиту животное перенесло вполне удовлетворительно.

При дальнейшем движении по орбите животное находилось в состоянии динамической невесомости. Частота дыхания понижалась, частота сердечных сокращений продолжала последовательно уменьшаться и приближаться к исходной величине.

Анализ зарегистрированных в это время электрокардиограмм выявил некоторые изменения конфигурации их элементов и продолжительности отдельных интервалов. Картина электрокардиограмм отражала преходящие нервно-рефлекторные сдвиги в регуляции сердечной деятельности. Несмотря на необычное состояние невесомости, двигательная активность животного была умеренной. Нормализация функциональных показателей кровообращения и дыхания в период невесомости свидетельствовала о том, что этот своеобразный фактор сам по себе не вызывал каких-либо существенных и стойких изменений состояния физиологических функций.

Можно сказать, что не только период запуска и выхода спутника на орбиту, но и условия орбитального полета животное перенесло удовлетворительно.

Так, Лайка на языке телеметрических передач «рассказала» о своем самочувствии, и этот «рассказ» позволил ученым прийти к заключению, что организм животных может переносить условия длительного космического полета, длительное пребывание в невесомости.

Результаты исследований на втором спутнике по изучению влияния на животный организм солнечной и космической радиации явились новым шагом в разработке способов защиты будущих космонавтов от опасного воздействия излучений, не встречающихся в земной атмосфере.

Физические эксперименты, выполнявшиеся на борту второго спутника, были в известной степени аналогичны тем, которые выполнялись на первом спутнике: определение плотности атмосферы по торможению, изучение характеристик ионосферы по наблюдению за распространением радиоволн и регистрация изменений температуры внутри приборного контейнера.



Одним из наиболее существенных результатов, полученных в ходе физических экспериментов на втором спутнике, является обнаружение возрастания интенсивности потока заряженных частиц больших энергий с увеличением высоты полета и геомагнитной широты точки, над которой в данный момент пролетал спутник. Впоследствии это было объяснено вхождением спутника в полярные области внешней зоны радиационного пояса и явилось первым указанием на существование вокруг Земли зоны заряженных частиц больших энергий, захваченных и удерживаемых геомагнитным полем.

### В космосе — лаборатория

Третий советский спутник в полном смысле слова явился автоматической научной лабораторией в космосе. По своим техническим данным, по количеству проводившихся экспериментов он намного превосходил своих предшественников. Вес его составлял 1327 кг, в том числе вес научной и измерительной аппаратуры вместе с источниками питания — 968 кг.

При конструировании спутника был учтен ряд специфических требований, связанных с проведением на нем различных научных экспериментов и размещением большого количества научной и измерительной аппаратуры. Возможность взаимовлияния отдельных научных приборов потребовала тщательной проработки компоновки научной аппаратуры.

Основная часть приборов для научных исследований вместе с источниками питания размещалась внутри спутника на приборной раме, находящейся в передней его части. Размещение чувствительных элементов (датчиков) аппаратуры определялось их назначением. Так, магнитометр располагался в передней части спутника, чтобы максимально отдалить его от остальной аппаратуры. Счетчики космических лучей устанавливались внутри спутника. Все другие датчики помещались вне герметичного корпуса. Так, фотоумножители, служащие для регистрации корпускулярного излучения Солнца, закреплялись на передней части корпуса. В цилиндрических стаканах, вваренных в оболочку опять же передней части спутника, устанавливались один магнитный и два ионизационных

манометра, измерявших давление в верхних слоях атмосферы. Вблизи них располагалась остальная аппаратура.

Стабильный температурный режим внутри спутника обеспечивался системой терморегулирования, которая была значительно усовершенствована по сравнению с той, что применялась на первых спутниках. Регулирование теплового режима осуществлялось путем изменения принудительной циркуляции газообразного азота, а также изменением коэффициента собственного излучения его поверхности. Для этого на боковой поверхности спутника были установлены регулируемые жалюзи, состоящие из 16 отдельных секций. Открытие и закрытие их осуществлялось электроприводами, управляемыми аппаратурой системы терморегулирования.

Применение в качестве источников питания солнечных батарей позволило получать научную информацию в течение длительного времени. Солнечная полупроводниковая батарея размещалась в виде отдельных секций на поверхности корпуса. Четыре малые секции устанавливались на переднем днище, четыре — на боковой поверхности и одна — на заднем днище. Такое размещение секций солнечной батареи обеспечивало ее нормальную работу, независимо от ориентации спутника относительно Солнца.

Многоканальная радиотелеметрическая система третьего спутника отличалась высокой разрешающей способностью. Она могла передавать на Землю большой объем информации о результатах научных измерений.

Для регистрации частиц высоких энергий использовался люминесцентный счетчик, состоящий из кристалла йодистого натрия и фотоумножителя с фотокатодом.

Результаты измерений показали, что во всех без исключения случаях при попадании спутника в полосу широт 55—65° как в Северном, так и Южном полушарии наблюдалось резкое возрастание тормозного рентгеновского излучения, обусловленного бомбардировкой корпуса электронами с энергией порядка 100 кэВ. Было установлено также, что интенсивность излучения увеличивается с высотой. И то и другое было следствием вхождения спутника в зону интенсивной радиации, которая вскоре получила название внешней зоны радиационного пояса.

С помощью фотоумножителей, предназначенных для регистрации корпускулярного излучения Солнца, впервые



были непосредственно обнаружены электроны с энергией порядка 10 кэВ. Поток этих электронов регистрировался на высотах от 470 до 1880 км. Их интенсивность в дневное время была больше, чем в ночное, причем она непрерывно изменялась с увеличением высоты и геомагнитной широты. Поскольку положение (ориентация) спутника было известно, то удалось определить направление движения частиц, связанных с потоками электронов. Оказалось, что они, как правило, движутся перпендикулярно направлению магнитной силовой линии. Скорость их движения намного превышала скорость солнечных корпускул, измеренную по наблюдениям полярных сияний.

Определение плотности верхней атмосферы на этот раз проводилось путем наблюдения за изменением параметров орбиты спутника за счет торможения и регистрации давления с помощью ионизационных и магнитных манометров.

Исследование параметров ионосферы велось также различными методами: наблюдением за распространением радиоволн, излучаемых мощным радиопередатчиком спутника, и с помощью установленной на нем аппаратуры, так называемых ионных ловушек, для непосредственного замера концентрации положительных ионов вдоль орбиты спутника. Кроме того, с помощью радиочастотного масс-спектрометра изучался состав положительных ионов.

Для измерения магнитного поля Земли на больших высотах был установлен самоориентирующийся магнитометр, измерявший полную интенсивность магнитного поля на высоте орбиты спутника.

На третьем спутнике проводилась также регистрация интенсивности первичных космических лучей, ставились опыты по определению количества тяжелых ядер в космическом излучении. Несколько датчиков регистрировали удары микрометеорных частиц.

Запуск третьего искусственного спутника, просуществовавшего около двух лет и сделавшего свыше 10 тыс. оборотов вокруг Земли, позволил советским ученым провести исследования по всем пунктам соответствующего раздела программы Международного геофизического года.

Глава 2

# ТРАССЫ ПРОКЛАДЫВАЮТ АВТОМАТЫ

## Корабли-разведчики

Изучение околоземного космического пространства с помощью ракет и спутников по программе МГГ позволило получить первые сведения о параметрах верхней атмосферы и околоземного космического пространства, о протекающих там физических процессах. Тщательная обработка экспериментального материала, полученного первыми разведчиками космоса, расширила и в ряде случаев значительно изменила существовавшие представления о ближнем окружении Земли. Результаты экспериментов подтвердили правильность основных направлений космических исследований, последовательно проводившихся в Советском Союзе. Однако это были только первые шаги на пути познания Вселенной с использованием средств ракетно-космической техники. Многие факторы требовали перепроверки и подтверждения. Исследования на первых трех спутниках проводились в период максимума активности в 11-летнем цикле деятельности Солнца. Изучение зависимости параметров верхней атмосферы и межпланетной среды от солнечной активности, накопление необходимого для статистической обработки материала в период спада и минимума деятельности Солнца требовали систематического запуска спутников, чтобы оперативно наблюдать за явлениями, протекающими в околоземном и межпланетном пространстве.

К тому же после успешного решения первых задач возникла необходимость в проведении специализированных комплексных экспериментов, направленных на подготовку к решению более сложных проблем и осуществлению новых этапов на пути проникновения человека в космос.

С 15 мая 1960 г. по март 1961 г. в СССР было запущено пять тяжелых кораблей-спутников. Основной целью этих запусков была отработка всех систем космического



корабля, изучение трассы предстоящего полета человека и проведение дальнейших медико-биологических исследований, связанных с подготовкой этого полета. На кораблях-спутниках выполнялся также ряд физических экспериментов по изучению космических лучей, регистрации величины космической радиации, исследованию ультрафиолетового и рентгеновского излучения Солнца, имевших целью определить реальную радиационную опасность для полетов человека в космос.

Второй космический корабль был первым из возвращенных на Землю. Это обстоятельство позволило среди других физических экспериментов осуществить исследование космических лучей с помощью ядерных фотоэмульсий. Пролетая сквозь эти эмульсии, частицы космических лучей сталкиваются с ядрами атомов. В результате не только разрушаются ядра, но и рождаются новые частицы, которые в свою очередь испытывают ряд превращений. Происходят акты взаимодействия вторичных частиц с атомными ядрами вещества. Рассматривая фотоэмульсии в микроскоп, можно восстановить картину процессов, протекавших в течение миллиардных долей секунды.

На втором космическом корабле было размещено несколько блоков из толстослойных ядерных фотоэмульсий, при этом в одном из них предусматривалось непосредственное проявление фотоэмульсий на борту корабля. Это позволило более надежно выделить следы отдельных ядер на общем фоне космического излучения.

Для регистрации доз космической радиации и определения нижней границы радиационного пояса на борту кораблей-спутников устанавливалась дозиметрическая аппаратура — радиометр, состоящий из двух газоразрядных и двух сцинтилляционных счетчиков, что позволяло иметь информацию как о числе частиц, так и о суммарной дозе радиации, создаваемой прошедшими частицами.

Полученные данные показали, что оболочка кабины обеспечивает достаточную защиту от частиц радиационного пояса на высотах полета корабля-спутника.

Проведенные на космических кораблях эксперименты показали эффективность ряда систем, обеспечивающих условия жизнедеятельности на борту корабля, позволили исследовать действие факторов полета на комплекс физиологических и биологических показателей, апробировать методы исследований и выбрать биологические объ-

екты, наиболее полно отвечающие решению соответствующих теоретических и практических задач.

Следует заметить, что при оценке возможности космического полета человека необходимо было иметь в виду две стороны этого вопроса — техническую и биологическую. С точки зрения технической полет человека мог быть осуществлен уже в августе 1960 г. при запуске второго космического корабля. Однако необходимо было еще решить множество чрезвычайно сложных биологических проблем. И космические корабли-спутники в полной мере ответили на поставленные учеными-медиками вопросы. Подготовка и осуществление полетов различных живых организмов на космических кораблях и искусственных спутниках Земли, начиная от Лайки, представляли собой непрерывную серию биологических исследований, направленных на решение именно таких задач.

Космический корабль-спутник состоял из двух основных частей — кабины и приборного отсека.

В кабине располагались: аппаратура обеспечения жизнедеятельности животных в полете, оборудование для биологических экспериментов, часть аппаратуры для научных исследований, часть аппаратуры системы ориентации, аппаратура для регистрации поведения кабины во время спуска (датчики угловых скоростей, перегрузок, температур, шумов и т. д.), автоматические системы, обеспечивающие приземление корабля, аппаратура для автономной регистрации данных о работе приборов, а также состояния подопытных животных на участке спуска, катапультируемый контейнер с животными.

В приборном отсеке размещались: радиотелеметрическая аппаратура, аппаратура управления полетом корабля, часть аппаратуры для научных исследований, аппаратура терморегулирования, тормозная двигательная установка.

На наружной поверхности кабины корабля располагались рулевые сопла и баллоны с запасом сжатого газа для систем ориентации, датчики научной аппаратуры, антенны радиосистем, солнечные батареи, а также система термоизоляции для предотвращения сгорания кабины на участке спуска. В стенках кабины проделывались жаропрочные иллюминаторы и быстрооткрывающиеся герметичные люки.

Газовый состав, влажность и температура воздуха в



кабине корабля, необходимые для нормальной жизнедеятельности подопытных животных, обеспечивались системами регенерации и терморегулирования.

Передача на наземные измерительные пункты информации о состоянии подопытных животных, физических условиях в кабине и в приборном отсеке, о работе бортовой аппаратуры, а также результатов измерений осуществлялась с помощью радиотелеметрических систем. Они работали в двух режимах: непосредственной передачи на наземные измерительные пункты в моменты пролета корабля над ними и запоминания (накапливания) информации с последующим воспроизведением и передачей этой информации по команде с Земли.

Для передачи изображений подопытных животных на борту была установлена специальная телевизионная система. Управление кораблем осуществлялось автоматически, а также путем подачи команд с Земли.

### Часовые науки

16 марта 1962 г. был запущен первый спутник серии «Космос» и с каждым годом масштабы исследований, проводимых с их помощью, неизменно расширялись. Если в 1962—1963 гг. было запущено только 24 «Космоса», то в 1964 г.— их было уже 27, в 1965 г.— 52, в 1968 г.— 64. Рекордное число запусков — 85 — было выполнено в 1973 и в 1975 гг. Все более разнообразными становились и трассы их полета. Максимальная высота над поверхностью Земли первых «Космосов» не превышала 1600 км. Сейчас максимальная высота (апогей) орбиты некоторых спутников этой серии достигает нескольких десятков тысяч километров. Широкий диапазон наклонений орбит позволяет доставлять научную аппаратуру в новые, ранее недосягаемые районы околоземного космоса, в том числе и в приполярные области. В некоторых запусках сразу несколько спутников выводилось на орбиту одновременно одной ракетой-носителем.

Научная программа спутников серии «Космос» предусматривает изучение: распределения и образования облачных систем в атмосфере Земли, верхних слоев атмосферы, концентрации заряженных частиц в ионосфере с целью исследования распространения радиоволн; корпускулярных потоков и частиц малых энергий, энергетиче-

ского состава радиационных поясов Земли с оценкой радиационной опасности для космонавтов при длительных космических полетах; магнитного поля Земли, коротковолнового излучения Солнца и других космических тел; метеорного вещества в окрестностях Земли и его воздействия на элементы конструкции космических объектов.

Помимо многочисленных научных задач спутники «Космос» позволили решить ряд технических проблем, связанных, например, с входом кабины корабля в атмосферу Земли, отработкой систем ориентации, приземлением в заданном районе, защитой корабля от излучений, изучением степени надежности отдельных узлов систем жизнеобеспечения.

При разработке программы «Космос» перед конструкторами была поставлена задача создать унифицированный космический аппарат, позволяющий организовать серийное производство спутников и тем самым значительно удешевить космические исследования. Но на пути к этому возникла серьезная трудность. Дело в том, что, когда появилась возможность послать приборы в космос, у представителей почти всех естественных и технических наук нашлись проблемы, решение которых требует исследований на спутниках. Это и понятно, ведь физика, химия, астрономия, биология и многие другие науки, от развития которых в значительной степени зависит рост производительных сил общества, все в большей и большей степени нуждаются в сведениях, которые можно получить только в «природной лаборатории» Вселенной. Но каждому ученому нужен на спутнике вполне определенный комплекс приборов, как правило совсем не тот, который нужен ученому, занимающемуся другой, пусть даже весьма сходной проблемой. Научная же аппаратура определяет, каким должен быть спутник: необходимо ли его возвращение на Землю или по окончании эксперимента он может сгореть в плотных слоях атмосферы, будет ли нужна система ориентации или можно обойтись без нее. В зависимости от поставленных задач различными будут и источники электроэнергии. В одном случае — это химические аккумуляторы, если время, необходимое для проведения запланированных исследований, непродолжительно, в другом — солнечные батареи, способные в течение многих месяцев и даже лет питать электроэнергией научную аппаратуру и бортовые системы.



Таким образом, выяснилось, что разработка единого универсального космического аппарата, который удовлетворил бы всех, кто заинтересован в космических исследованиях, практически невозможна. Он окажется очень громоздким и тяжелым. Вместе с тем оказалось вполне допустимым создание нескольких модификаций унифицированного спутника, которые позволяли бы решать ту или иную группу однородных или, по крайней мере, близких по характеру научно-исследовательских задач. При этом при переходе от одной модификации к другой сохраняется максимальная преемственность конструкции, а обслуживающие системы и схемы управления не зависят от конкретной задачи, решаемой спутником.

С тех пор как начал свой полет «Космос-1», получены существенные научные результаты. Значительно изменились и расширились наши представления о верхних слоях атмосферы. По характеру торможения спутников за счет сил аэродинамического сопротивления оценена, например, плотность атмосферы на различных высотах и ее вариации в зависимости от широты, времени суток, сезона и состояния солнечной активности.

Выполнен большой цикл исследований ионосферы с помощью когерентных радиостанций «Маяк», устанавливаемых на спутниках. На больших высотах обнаружены различные неоднородности ионизации. Получены детальные данные об углах рефракции радиоволн в ионосфере.

Прямые ионосферные исследования выполнялись при помощи различного типа ловушек заряженных частиц. С их помощью измерялись концентрация и температура ионов и электронов в ионосфере. Были получены данные о концентрации заряженных частиц в области ионосферы до высот порядка 1000 км.

Одна из задач, которая возлагалась на спутники серии «Космос»,— контроль за радиационной безопасностью для космических полетов человека. Благодаря длительным измерениям подробно изучены трассы полетов космических кораблей, определены величина доз радиации внутри спутников и в окружающем пространстве в зависимости от солнечной активности и геомагнитных возмущений, а также составлена радиационная карта для определенных высот.

Эксперименты по изучению электронов с энергиями около 10 кэВ, начатые на третьем спутнике, позволили

впервые обнаружить на высотах 1000—1800 км мощные потоки мягких электронов и подтвердить исходное предположение о важной роли корпускулярной радиации для основных процессов в верхней атмосфере. Задачей дальнейших исследований, проведенных по программе «Космос», было детальное изучение энергетического спектра электронов, получение сведений о потоках ионов, о распределении геоактивной корпускулярной радиации в пространстве и о ее связи с различными геофизическими процессами: с геомагнитными возмущениями, полярными сияниями, с более жесткими частицами космических лучей и радиационных поясов, свечением верхней атмосферы и солнечной активностью.

Исследования космических лучей позволили получить ценные данные об их природе, интенсивности, энергетическом спектре, составе и т. д. Значительный интерес представляют сведения о вариациях потоков первичного излучения, обусловленных конкретными процессами на Солнце, в окрестностях Земли, в межпланетной среде и Галактике.

Изучение внезапных возрастаний интенсивности и пространственно-временны́х распределений солнечных космических лучей во время вспышек на Солнце расширило представления ученых не только о природе этих лучей, но и о радиационной обстановке в космическом пространстве, что имеет важное практическое значение.

Данные о земном магнетизме и, в частности, о магнитном склонении широко используются для ориентирования на местности, разведки полезных ископаемых, в судовождении, авиации, в геодезической практике. Измерения магнитного поля — задача исключительно трудоемкая. Искусственные спутники позволяют производить магнитную съемку гораздо быстрее и над значительно большей частью поверхности Земли, чем это доступно наземной съемке. Обширная программа магнитных измерений осуществлена на «Космосах», оснащенных протонными магнитометрами. Запуск спутников с цезиевыми магнитометрами на борту на полярные орбиты позволил выполнить глобальную магнитную съемку Земли.

С помощью спутников «Космос» советские ученые впервые получили возможность вынести оптический телескоп за пределы земной атмосферы и вести там наблюдения.



На «Космосах» впервые были установлены приборы и антенные системы, во многом аналогичные наземным радиотелескопам, только предназначались они для изучения не каких-то удаленных небесных объектов, а нашей планеты. Такие автоматические радиоастрономические обсерватории с приемниками инфракрасного излучения открывают большие возможности для определения физических параметров атмосферы и температуры поверхности Земли. Регистрируя, например, тепловое радиоизлучение, удается очень надежно определять содержание капельной воды в облаках, обнаруживать скрытые ими очаги интенсивных осадков.

Из других исследований можно упомянуть запуск спутников для изучения коротковолнового излучения Солнца, полет «космической стрелы» — спутника, предназначенного для измерения оптических характеристик земной поверхности и атмосферы, комплексные эксперименты по изучению полярных сияний и сопровождающих их геофизических явлений, исследование работы сверхпроводящих устройств, установленных на борту космического аппарата, и др.

С помощью «Космосов» испытаны методы автоматической стыковки на орбите. Эти важные эксперименты дали возможность подойти вплотную к созданию орбитальных научных станций с длительным временем существования.

На ряде спутников «Космос» проводились биологические эксперименты.

### Космическая система «Электрон»

Одним из наиболее ярких достижений в изучении околоземного космического пространства на первом этапе исследований стало открытие радиационных поясов Земли. Они оказались очень сложным образованием как по своей природе, так и по своему строению. Большой комплекс сложных физических процессов, которым они обязаны своим существованием, требовал постановки новых опытов, особенность которых состояла в том, что было необходимо одновременно выполнять измерения в различных точках околоземного космического пространства. Такая постановка задачи потребовала создания специальной си-

стемы, состоящей из нескольких спутников, выводимых на различные орбиты.

Первой такой системой стала космическая система «Электрон». 30 января 1964 г. мощной ракетой-носителем были выведены на орбиту научная станция «Электрон-1» с апогеем в 7 тыс. км и станция «Электрон-2» с апогеем около 70 тыс. км. На этих станциях осуществлялись по единой программе одновременные исследования радиационных поясов Земли и связанных с ними физических явлений. Программа предусматривала исследование частиц малых и больших энергий, входящих в радиационные пояса Земли, магнитного поля, космических лучей, химического состава частиц околоземного космического пространства, коротковолнового излучения Солнца и радиоизлучения Галактик, микрометеоритов. Проведение этих экспериментов в период Международного года спокойного Солнца, который начался 1 января 1964 г., придавало им еще большее значение.

Орбиты космических станций «Электрон-1» и «Электрон-2» выбирались, исходя из необходимости одновременного исследования верхних слоев атмосферы, радиационных поясов Земли и околоземного космического пространства. При этом учитывались и такие факторы, как условия радиосвязи во время сеансов передачи информации с борта станций на наземные пункты, длительность существования станций на орбите, освещенность станций Солнцем.

В результате рассмотрения ряда возможных вариантов были выбраны две эллиптические орбиты с большим эксцентриситетом. Это обеспечивало проведение научных исследований во всем интересующем ученых диапазоне высот — от верхних слоев атмосферы до космического пространства за пределами радиационных поясов. Первая орбита лежала в наиболее интересных областях внутреннего радиационного пояса, частично пересекала внешний пояс и захватывала область пространства с нерегулярным магнитным полем. Вторая орбита частично проходила во внутреннем поясе, областях внешнего радиационного пояса и пересекала лежащую за внешним поясом область с нестационарными потоками электронов малых энергий. Высота нижней точки (перигея) обеих орбит составляла 406 и 460 км.

Весьма существенно то обстоятельство, что было выбрано различное расположение фокальных осей орбит (линий, соединяющих перигей орбит с апогеем) космических станций. Для низкой орбиты расположение фокальной оси отвечало условию наиболее благоприятного положения относительно внутреннего радиационного пояса. Для высокой орбиты положение фокальной оси в плоскости орбиты было выбрано таким образом, чтобы получить возможно большее различие высот на одинаковых геофизических широтах при полете на восходящем и нисходящем витках орбиты, что важно с точки зрения научных измерений при исследовании внешнего радиационного пояса.



Наклонение обеих орбит составляло около 61° к плоскости экватора. Следует заметить, что величина наклонения сильно влияет на изменение параметров орбиты под действием возмущений Луны и Солнца, а также из-за сплюснутости Земли. При выбранном наклонении перигеи орбит с течением времени должны были перемещаться на север и, что особенно важно, орбита космической станции «Электрон-1» при таком перемещении фокальной оси в течение года должна была пройти по всей толще внутреннего радиационного пояса. При прохождении станцией области перигея орбит объем научной информации являлся максимальным, поскольку в этой области наряду с исследованиями радиационных поясов могли выполняться важные измерения, связанные с изучением верхней атмосферы.

Как уже отмечалось, спутники, движущиеся по низким орбитам, имеют ограниченное время существования из-за заметного торможения их в верхних слоях атмосферы. При увеличении высоты перигея орбиты время существования спутника возрастает, поскольку тормозящее влияние атмосферы уменьшается. «Электроны» запускались на орбиты с высоким перигеем, поэтому тормозящее действие атмосферы на них практически можно было не учитывать. Однако с увеличением апогея орбиты до нескольких десятков тысяч километров на движение спутника начинают заметно влиять новые факторы — силы притяжения Луны и Солнца. Расчеты показали, что при некотором сочетании этих сил время существования спутника на орбите с высотой апогея 65—70 тыс. км может составить лишь несколько суток.

В связи с этим были проведены детальные исследова-

кия движения спутников на орбитах с высоким апогеем и определены моменты пуска, при которых обеспечивалось наибольшее время существования космической станции «Электрон-2» на выбранной для нее сильно вытянутой орбите.

Наиболее целесообразным способом создания космической системы на орбитах, о которых здесь говорилось, было одновременное выведение двух космических станций одной ракетой-носителем. Наличие в Советском Союзе мощных космических ракет позволило решить задачу именно таким образом. Однако практическое решение этой задачи представляло значительные технические трудности.

Для выведения космических станций «Электрон-1» и «Электрон-2» на заданные орбиты надо было осуществить отделение первой из них на активном участке полета последней ступени ракеты-носителя во время работы ее двигателя. При этом отделение не должно было сопровождаться возмущающими моментами, влияющими на работу систем управления последней ступени и на точность выведения станции «Электрон-2». Кроме того, станция «Электрон-1» при отделении не должна была попасть в зону действия реактивной струи двигателя последней ступени.

Эти трудности были успешно преодолены благодаря применению специальной системы. Отделение происходило практически без всяких воздействий на дальнейшее движение последней ступени ракеты-носителя.

На внешней поверхности космических аппаратов «Электрон-1» и «Электрон-2» размещались солнечные батареи, антенные системы, часть приборов для научных исследований и датчики солнечной ориентации. На цилиндрической части корпуса располагались вращающиеся жалюзи системы терморегулирования. Особенностью станции «Электрон-1» были складные антенны и панели солнечных батарей, открываемые по команде программно-временно́го устройства после отделения станции от ракеты-носителя. На станции «Электрон-2» панели солнечных батарей закреплялись жестко.

Для изучения внутреннего и внешнего радиационных поясов Земли и связанных с ними физических явлений на борту обеих станций устанавливалась идентичная аппаратура, регистрирующая электроны и протоны различных энергий. Эти измерения необходимы для определения состава излучений в радиационных поясах одновременно в двух точках околоземного космического пространства. Наличие идентичной аппаратуры на обоих аппаратах позволяло выявить картину пространственного расположения радиационных поясов и связать измерения, выполненные на разных расстояниях от Земли.

Часть аппаратуры находилась внутри герметичных контейнеров. Поскольку частицы малых энергий не могут проникать внутрь контейнера, то для их регистрации приборы устанавливались на наружной поверхности. Детекторы излучений были закрыты слоями вещества, толщина которых составляла тысячные доли миллиметра. В такие детекторы могли проникать протоны с энергией больше 1 МэВ и электроны с энергией больше 30 кэВ. Для регистрации частиц меньших энергий на станции «Электрон-2» использовался так называемый сферический анализатор. На пути поступающих в этот анализатор частиц нет никаких преград. Отклоняясь в электростатическом поле анализатора, они начинали двигаться по кругу. Затем электрическое напряжение, приложенное к сферическому анализатору, автоматически переключалось. Протоны и электроны различных энергий, начиная со 100 эВ, улавливались. Частицы малых энергий измерялись также ловушкой заряженных частиц.

На станции «Электрон-1» частицы малых энергий регистрировались специальным счетчиком в комбинации с ускорительной трубкой. Для предохранения фотокатода счетчика от света, испускаемого кристаллами, его закрывали непрозрачным материалом. Но как бы ни была тонка закрывающая кристалл фольга, она все равно препятствует попаданию в него электронов с энергией, меньшей 10 кэВ. С помощью установленной перед кристаллом ускорительной трубки электронам с небольшой энергией сообщалась дополнительная скорость, их энергия достигала 10 кэВ. С помощью этого прибора можно было регистрировать электроны с энергией от десятков тысяч электронвольт до самых малых — примерно 100 эВ. Сведения об этих частицах существенно дополняли данные, получаемые с помощью других установленных на станциях приборов, о которых говорилось выше.

На борту станции «Электрон-1» был установлен радиопередатчик «Маяк», излучавший когерентные радиовол-

ны. Наблюдая их с помощью станций, расположенных на Земле, можно было проследить за распространением радиоволн и определить концентрацию электронов на больших высотах.

Таким образом, широкий комплекс различных приборов позволял детально изучать состав излучений, определять природу и энергетический спектр частиц, входящих в состав радиационных поясов.

Сведения о радиационных поясах необходимо было дополнить данными о магнитных полях. Для этой цели на станции «Электрон-2» устанавливались два магнитометра, измерявшие величину и направление напряженности магнитного поля. Один магнитометр предназначался для регистрации слабых магнитных полей. Другой обладал меньшей чувствительностью, но вполне достаточной для измерения интенсивного магнитного поля Земли.

Поскольку в то время высказывалась мысль о существовании определенной связи между радиационными поясами и верхней атмосферой Земли, на станциях «Электрон-1» и «Электрон-2» была установлена аппаратура, позволявшая изучать некоторые характеристики верхней атмосферы. В частности, это были радиочастотные масс-спектрометры, дававшие возможность определять химический состав верхних слоев атмосферы.

На станции «Электрон-1» находились также приборы для регистрации рентгеновского излучения Солнца. Исследование солнечных рентгеновских лучей дает возможность наблюдать за состоянием солнечной активности и выяснить связь процессов, происходивших на Солнце, с процессами в радиационных поясах.

Создание автоматической лаборатории, летающей на больших расстояниях от Земли, давало возможность исследовать излучения, приходящие к нам из глубин космического пространства. Приборы для регистрации космических лучей были установлены на станции «Электрон-2». Некоторые из них позволяли не только измерять общую интенсивность космических лучей, но и определять их химический состав, т. е. выявлять, ядра каких атомов и в каком количестве находятся в составе космического излучения.

Как известно, Земля окружена ионосферой, которая отражает короткие, средние и длинные радиоволны. Благодаря этому свойству ионосферы осуществляется связь



на большие расстояния. Но по этой же причине все радиоволны с длиной волны больше 100—150 м не могут проникать к нам из космоса; они отражаются от атмосферы. Между тем эти радиоволны несут очень ценную информацию об удаленных областях Вселенной. Для того чтобы наблюдать такие радиоволны, необходимо выйти за пределы атмосферы Земли. Вот почему на станциях «Электрон» были установлены радиоприемники, которые позволяли регистрировать идущие из космоса радиоволны с длиной волны 200 и 400 м.

Для продолжения исследований, начатых с помощью первых двух «Электронов», в 1964 г. был осуществлен запуск станций «Электрон-3» и «Электрон-4». На их борту была установлена аппаратура, идентичная приборам станций «Электрон-1» и «Электрон-2» и предназначенная для решения аналогичных задач.

### Космические станции «Протон»

16 июля 1965 г. с помощью новой мощной ракеты-носителя была успешно запущена на околоземную орбиту научная космическая станция «Протон-1». Начальные параметры ее орбиты: максимальная высота 627 км, минимальная — 190 км, наклонение к плоскости экватора 63,5°. Общий вес выведенного на орбиту полезного груза — научной станции и комплекса контрольно-измерительной аппаратуры — составлял 12,2 т.

Научная программа новой космической станции посвящалась ряду фундаментальных проблем физики космических лучей сверхвысоких энергий. Установленная на станции аппаратура предусматривала изучение солнечных космических лучей и их радиационной опасности, энергетического спектра и химического состава частиц первичных космических лучей в интервале энергий до $10^{14}$ эВ, ядерного взаимодействия космических частиц сверхвысоких энергий до $10^{12}$ эВ, определение абсолютной интенсивности и энергетического спектра электронов галактического происхождения, интенсивности и энергетического спектра гамма-лучей Галактики с энергиями больше $5 \cdot 10^7$ эВ.

С запуском искусственных спутников возможности детального исследования космических лучей безгранично расширились.

Космические лучи, которые попадают на поверхность Земли и улавливаются приборами, являются вторичными. Они образовались при прохождении первичных космических лучей через толстый слой атмосферы. Непосредственно сведения о первичных лучах можно получить только с помощью приборов, поднятых за пределы атмосферы.

Приходится учитывать и то, что, вторгаясь в атмосферу Земли, первичные космические лучи интенсивно растрачивают свою энергию. Поэтому даже на высоте горных вершин энергия космических лучей столь мала, что их практически нельзя использовать для точных количественных измерений.

Что же касается ускорителей, то даже на мощнейших из них могут быть получены только частицы на много порядков менее энергичные, чем те, которые имеются в потоке космических лучей, приходящих к Земле из глубины Вселенной.

Исследования, проведенные с помощью советских спутников и автоматических межпланетных станций, позволили получить новые данные о составе потока галактических космических лучей. Было изучено влияние межпланетных магнитных полей на их интенсивность. Зарегистрированы космические лучи солнечного происхождения. Установлено, что число частиц в первичном космическом потоке резко уменьшается с ростом их энергии. Чтобы исключить влияние этих факторов и получить наиболее полные и правильные результаты, нужно проводить продолжительные измерения вблизи границы атмосферы или за ее пределами. Первый шаг в этом направлении и был сделан в Советском Союзе запуском космической станции серии «Протон-1».

На станции «Протон-1» для изучения частиц космических лучей высокой и сверхвысокой энергий был установлен ионизационный калориметр — прибор, разработанный советскими физиками.

Ионизационный калориметр состоит из большого числа стальных плит, между которыми расположены сцинтилляторы из специальной пластмассы. При попадании на ионизационный калориметр частицы высокой энергии сталкиваются с ядрами атомов железа, в результате чего появляются вторичные частицы, которые, в свою очередь, сталкиваясь с ядрами атомов железа, образуют частицы следующего поколения и т. д. В результате вся энергия



первичной частицы переходит к большому количеству вторичных частиц, которые и поглощаются в толстом блоке вещества ионизационного калориметра. Процесс поглощения энергии сопровождается появлением световой вспышки в пластических сцинтилляторах, причем интенсивность ее пропорциональна энергии, поглощенной в ионизационном калориметре, т. е. пропорциональна энергии первичной частицы (световые вспышки регистрируются фотоэлектронными умножителями — ФЭУ).

Для изучения природы космических лучей — измерения их электрического заряда — на «Протоне-1» под ионизационным калориметром располагались два специальных счетчика, в каждом из которых независимо выполнялось измерение заряда. Применение двух счетчиков существенно повышает точность измерения заряда и позволяет надежно отличать первичные протоны высоких энергий от более тяжелых частиц.

Под счетчиком находились блоки из углерода на одной половине прибора и из полиэтилена — на другой. С их помощью исследовалось взаимодействие частиц высоких энергий с веществом блоков. Под блоками помещались детекторы взаимодействий.

Полиэтилен состоит из атомов углерода и водорода. Поэтому в одной половине аппаратуры изучалось взаимодействие частиц ультравысоких энергий с ядрами атомов углерода, а в другой — с ядрами атомов углерода и водорода. Сравнение результатов измерений, выполненных обеими половинами, позволяло выделять в чистом виде данные о взаимодействии на ядрах атомов водорода, т. е. на протонах.

Под ионизационным калориметром находился сцинтилляционный счетчик, который совместно с детектором взаимодействий выделял частицы, идущие в определенном направлении.

Кроме того, на станции «Протон-1» была установлена аппаратура для изучения электронной компоненты космических лучей высокой энергии. Для измерения энергии электронов также применялся принцип ионизационного калориметра.

Среди других задач, решаемых с помощью научной аппаратуры космической станции «Протон-1», важное значение имела регистрация гамма-квантов первичного космического излучения в области энергий $10^8$—$10^9$ эВ,

измерение энергетического спектра и химического состава первичных космических лучей галактического происхождения, подверженных воздействию геомагнитного поля, изучение вариаций интенсивности космических лучей, энергетического спектра и химического состава космических лучей солнечного происхождения.

Таким образом, созданная советскими физиками научная аппаратура явилась уникальной и по своим масштабам, и по характеристикам.

Наряду с научными приборами космическая станция «Протон-1» была оснащена аппаратурой для проведения телеметрических и траекторных измерений, системой определения положения станции в пространстве, программными устройствами, системой активного демпфирования, аппаратурой командной радиолинии, источниками электропитания и системой терморегулирования.

Внутренний, герметичный корпус станции защищал ее от аэродинамического нагрева и теплового воздействия во время выведения на орбиту. Для предотвращения чрезмерного нагрева и охлаждения в орбитальном полете корпус станции с внешней стороны был закрыт высокоэффективной теплоизоляцией. Внутри герметичного корпуса поддерживались необходимая температура и нормальное давление.

Герметичный корпус станции представлял собой цилиндр с выпуклым днищем. Внутри него, занимая заднюю и центральную части, размещались научная аппаратура, аппаратура системы регистрации положения станции в пространстве, а также агрегаты системы терморегулирования.

На герметичном корпусе с внешней стороны крепились панели солнечных батарей с механизмами их раскрытия, а также чувствительные датчики системы регистрации положения станции. На заднем днище размещались агрегаты электропневмосистемы активного демпфирования с баллонами сжатого газа, газовыми соплами и управляющей аппаратурой. Здесь же находился выносной радиационный теплообменник. На корпусе станции размещались системы антенн телеметрического, радиокомандного комплекса и комплекса траекторных измерений. Между внешней силовой оболочкой и корпусом станции находились контейнеры с химическими батареями.



Наличие научной бортовой аппаратуры поставило перед разработчиками станции серьезную задачу передачи на Землю с высокой степенью точности всех измеренных данных. Этой цели служила установленная на борту станции специальная высокоинформативная телеметрическая аппаратура.

Измерения параметров орбиты обеспечивались наземным измерительным комплексом и установленным на борту станции специальным радиооборудованием.

Управление работой научной аппаратуры и всех систем станции велось с помощью бортовых программно-временны́х устройств и по радиокомандам с Земли.

Система индикации позволяла определять угловое положение станции в пространстве в каждый момент времени и, следовательно, тем самым была предоставлена возможность фиксировать направление исследуемых космических лучей. Эта система включала в себя совокупность различных чувствительных датчиков. Несколько раз в сутки при помощи гироскопических приборов замерялись угловые скорости станции.

Для успокоения станции после отделения от ракеты-носителя и придания ей некоторой небольшой угловой скорости относительно всех трех осей служила система демпфирования. Вращение станции с небольшой угловой скоростью обеспечивало нормальную работу солнечных батарей, более равномерный температурный режим и необходимый обзор для научной аппаратуры. Температурный режим внутри станции, необходимый для нормальной работы аппаратуры, обеспечивался системой терморегулирования.

Сложный комплекс аппаратуры с непрерывной работой основных систем потребовал создания на борту «Протона» мощной солнечной энергетической установки. Солнечные батареи обеспечивали электрическое питание аппаратуры на освещенной стороне орбиты и подзарядку буферной химической батареи для питания на теневой стороне, когда станция не освещалась Солнцем. Солнечные батареи располагались на специальных панелях, которые до выведения «Протона» на орбиту были сложены в виде усеченной пирамиды. На орбите панели раскрывались и фиксировались специальным устройством, образуя подобие четырехлопастного винта.

Для продолжения комплексных исследований косми-

ческих лучей в Советском Союзе были запущены 2 ноября 1965 г. научная космическая станция «Протон-2», а 6 июля 1966 г.— «Протон-3», оснащенные аппаратурой, аналогичной аппаратуре станции «Протон-1».

Перед космической станцией «Протон-4», запущенной 16 ноября 1968 г., была поставлена задача развития исследований, начатых с помощью первых трех одноименных станций. Вес «Протона-4» составлял около 17 т, из них вес научной аппаратуры — 12,5 т. Запуск этой станции дал возможность провести изучение энергетического спектра космических лучей до энергий $10^{15}$ эВ и химического состава космических лучей до энергии $10^{13}$—$10^{14}$ эВ.

### Автоматические станции «Прогноз»

Такие параметры межпланетной среды и околоземного космического пространства, как потоки плазмы, магнитное поле, частицы солнечных космических лучей и электромагнитное излучение, связаны между собой и в какой-то мере взаимно влияют друг на друга. Их вариации во времени обусловлены процессами, происходящими на Солнце. С целью комплексного изучения этих параметров и исследования солнечной активности и ее влияния на межпланетную среду и магнитосферу Земли в Советском Союзе был осуществлен ряд запусков автоматических станций «Прогноз». Эти исследования необходимы и для научного прогнозирования радиационной обстановки в космосе.

Вывод на орбиту космических аппаратов «Прогноз» велся в два этапа. Вначале они вместе с разгонным блоком были выведены на промежуточную орбиту с параметрами: максимальная высота над поверхностью Земли 505 км, минимальная — 238 км, наклонение плоскости орбиты к плоскости экватора 65°. На 68-й минуте полета по команде программно-временно́го устройства включался двигатель разгонного блока, который сообщал станции дополнительную скорость, необходимую для выведения ее на расчетную орбиту. Начальные параметры этой орбиты составляли: максимальная высота 200 тыс. км, наклонение к плоскости экватора 65°, период обращения 97 ч.

Следует отметить, что выведение искусственного спутника Земли на подобную высокоэллиптическую орбиту в



Советском Союзе было осуществлено впервые. Одной из трудностей, связанных с выведением на эту орбиту, как и в случае запуска «Электронов», было обеспечение длительного существования спутника на ней, что представляет достаточно сложную баллистическую задачу. Важным фактором ее успешного решения является выбор наиболее благоприятной даты старта с Земли. Это должно было гарантировать такую минимальную высоту орбиты в перигее, при которой обеспечивалось бы длительное существование станции.

Расчетная высокоэллиптическая орбита «Прогнозов» очень чувствительна к величине и направлению вектора скорости при отделении станции от разгонного блока. Так, отклонение скорости на 1 м/с от расчетного значения может привести к изменению максимальной высоты орбиты над поверхностью Земли до 1200 км. Поэтому выведение «Прогноза» на орбиту требовало высокой точности работы систем ее управления и исполнительных органов.

Для выполнения программы научных исследований на борту станции было установлено 15 приборов. Большинство регистрируемых выходных параметров приборов представляло собой скорость счета импульсов определенных датчиков. Естественной единицей времени при этом являлся период опроса параметров телеметрической системой. Трудность записи получаемой информации состояла, во-первых, в большом диапазоне вариаций скорости счета и, во-вторых, в ограниченной пропускной способности телеметрической системы. Необходимо было, чтобы фиксировались достаточно быстрые изменения потоков и, вместе с тем, чтобы передаваемые числа импульсов имели требуемую статистическую точность. По этим принципам использовались в основном две системы регистрации импульсов. В тех случаях, когда требования к точности измерения скорости счета были невелики, но необходимо было провести измерения в большем диапазоне, использовались логарифмические интенсиметры с динамическим диапазоном скорости счета до трех порядков. В других случаях использовались триггерные пересчетные регистры различного типа. В ряде приборов использовались линейные или логарифмические усилители, выходное напряжение которых было пропорционально величине регистрируемого тока или напряжения.

Большинство приборов было выполнено в виде нескольких блоков: блока детекторов, размещенных на внешней поверхности спутника, и блока электроники, расположенного в герметическом контейнере. Внешние и внутренние блоки соединялись через герморазъемы.

Для гарантии надежной работы научной аппаратуры на «Прогнозе», как и на других космических научных станциях, все элементы электрических схем на стадии изготовления и настройки тщательно отбирались. Полупроводниковые приборы проходили цикл ускоренного «старения» для повышения стабильности их параметров.

Приборы проходили всесторонние испытания в условиях, максимально приближенных к реальным. Проводились механические, климатические, электрические и ресурсные испытания. Так, для выявления скрытых дефектов аппаратуру выдерживали во включенном состоянии 200—300 ч. Климатические испытания включали в себя проверку безотказной работы приборов при изменениях температуры окружающей среды от —20 до +45° С для выносных блоков и от 0 до +40° С для блоков, устанавливаемых в контейнере. Проверялась работоспособность приборов в условиях относительной влажности до 85%, а также в условиях вакуума.

Глава 3

# ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЙ — ЛУНА

## Космическая лаборатория

Ближайшее к нам небесное тело, единственный естественный спутник Земли, Луну еще задолго до наступления эры космических полетов считали самым изученным телом Солнечной системы после нашей планеты. В наиболее совершенные телескопы можно было различить на поверхности Луны детали с поперечным размером в 1 км и даже меньше. С помощью фотометров и спектрографов регистрировались малейшие нюансы ее отражательной способности (альбедо), цвета и многое другое. Когда же к Луне вслед за советской автоматической станцией «Луна-1» устремились десятки других космических аппаратов, возможности ее исследования возросли необычайно.

Луна со своими кратерами и цирками, горными хребтами, «морями» и «заливами» по существу превратилась в гигантскую научную лабораторию.

Почему человек тянется к Луне? Чем объясняется интерес ученых к нашему извечному спутнику?

Отвечая на подобные вопросы, часто ссылаются на стремление человека познать окружающий мир. Это бесспорно так. Но в самом стремлении к знаниям лежит объективная необходимость дальнейшего изучения законов природы и использования их для блага людей. Разгадка тайн, которые таит мир звезд и планет, поможет решить многие, казалось бы, чисто земные задачи.

Трудно себе представить жизнь современного человека, технику сегодняшнего дня без широкого использования полезных ископаемых. На их поиски расходуются очень большие средства. Поиски новых месторождений станут более эффективными, если мы лучше узнаем устройство нашей планеты. Прежде всего надо получить подробные данные о составе и строении глубинных земных недр, а также сведения о ранних этапах существования

Земли. Как это ни парадоксально, но ответ на вопрос, как устроена Земля, можно получить в результате исследований Луны.

Согласно современным представлениям, Луна, по-видимому, представляет собой остаток твердых допланетных тел, которые не были захвачены Землей в процессе ее формирования. На протяжении своей истории Луна подвергалась меньшим геологическим изменениям, чем Земля, Марс и Венера. Процессы эволюции оставили на поверхности Луны множество следов — кратеров разных размеров. Некоторые ученые склонны считать, что в большинстве случаев кратеры образованы в результате ударов метеоритов о лунную поверхность. Можно надеяться, что на Луне сохранилось значительное количество следов эволюции, отражающих раннюю историю Солнечной системы. С этой точки зрения Луна представляет даже более значительный интерес для исследований, чем планеты.

Таким образом, исследование Луны неразрывно связано с задачами изучения Земли, ее истории и эволюции, строения и состава недр, химических и геологических процессов, протекающих в ней.

Что может дать, например, анализ образцов лунных пород, доставленных на Землю? Определив в них концентрацию различных радиоактивных элементов и продуктов их распада, специалисты устанавливают, когда они образовались. Это дает возможность выявить запасы скрытой радиоактивной энергии в недрах Луны. Общий химический анализ образцов и данные о содержании в них ряда рассеянных элементов показывают, какие процессы привели к образованию этого вещества, находилось ли оно в жидком, расплавленном состоянии или оставалось твердым, кристаллическим. Специальные исследования показывают, какие температуры и давления воздействовали на вещество и какой характер носили эти воздействия. Анализ лунного вещества поможет приоткрыть завесу над ранними этапами формирования планет.

Интересовала ученых и обратная сторона Луны, ибо даже небольшие отличия в строении видимого и обратного полушарий Луны дают возможность понять характер заключительного этапа торможения этого небесного тела — «особой точки», когда вследствие вызываемого Землей приливного трения период осевого вращения Луны сравнялся с периодом обращения ее вокруг Земли.



Огромные перспективы открывает Луна перед астрономами.

На Луне, где нет атмосферы, весь диапазон электромагнитного излучения «открыт» и доступен непосредственному наблюдению и изучению. Полученные при этом результаты позволят судить о физических условиях, содержании водорода и температуре в разных точках солнечной короны и хромосферы, о физических процессах в межпланетной среде, а также в ионосфере и атмосфере Земли.

На лунной обсерватории можно провести спектроскопическое определение химического состава планет по всему диапазону спектра, чтобы зафиксировать линии газов и элементов, недоступных наблюдению с Земли.

Луна — идеальное место для изучения первичных космических лучей вплоть до энергий в миллиарды миллиардов электрон-вольт. Такая возможность изучения частиц высоких энергий позволит ученым глубже проникнуть в тайны строения вещества, успешнее решить задачу управления термоядерными процессами. Физики получат на Луне огромнейшую лабораторию с идеальным вакуумом, низкими температурами.

Как показали искусственные спутники, значительный ряд земных проблем можно решить только в космосе. Находясь за многие тысячи километров от поверхности Земли, приборы уже обнаружили в морях и на суше некоторые ресурсы, скрытые от наблюдателей, находящихся на Земле. С Луны можно наблюдать на Земле объекты размером до нескольких десятков метров — в сотни раз меньше тех, которые можно увидеть на Луне с Земли, пользуясь теми же самыми инструментами. Это объясняется тем, что запыленная и находящаяся в непрерывном движении атмосфера Земли располагается в непосредственной близости к ее поверхности.

Наконец, не отрываясь от реальных возможностей науки, а лишь слегка вторгаясь в область фантастики, можно поставить такой вопрос: не наступит ли время, когда люди, израсходовав какие-нибудь важные полезные ископаемые в земных недрах и обнаружив их на Луне, сочтут целесообразным доставлять эти ископаемые на Землю? Правда, транспортировать их оттуда в естественном виде будет, по-видимому, нецелесообразно. Но ведь не исключена возможность превращения минераль-

ного сырья небесных тел в удобные для транспортировки виды вещества и энергии.

Как отмечал академик С. П. Королев, организация на Луне постоянной научной станции, а впоследствии и промышленного объекта позволит использовать нетронутые и еще неизвестные ресурсы этого наиболее близкого к нам небесного тела для науки и народного хозяйства.

Заметим, что объем и разнообразие научной информации о Луне, которой располагает сегодня наука благодаря космическим исследованиям, определяются прежде всего возможностями научной аппаратуры, устанавливаемой на борту космических станций. А эти возможности, в свою очередь, обусловлены весовыми и габаритными ограничениями, энергетическими ресурсами, длительностью существования станций, особенностями их движения по траектории, характером передачи информации. Задачи, выполняемые с помощью космических станций, могут быть весьма различными. Проводимые ими исследования взаимно дополняют друг друга, обогащают наши знания о Луне. И за истекшие годы космонавтика добилась в этом направлении выдающихся успехов.

### В окололунном пространстве

Одной из важных задач науки является изучение параметров окололунного пространства. Первые шаги в этом направлении были сделаны с помощью советских автоматических станций «Луна-1» и «Луна-2» в 1959 г.

Станция «Луна-1» весом 1472 кг после 34 ч полета прошла на расстоянии 5—6 тыс. км от Луны и вышла на орбиту первого искусственного спутника Солнца. В ходе полета по трассе Земля — окрестности Луны были получены материалы, позволившие сделать два основных научных вывода: впервые доказано отсутствие сильного магнитного поля вблизи Луны и зарегистрированы в межпланетном пространстве потоки плазмы — так называемого солнечного ветра.

С помощью магнитометров, установленных на борту автоматической станции «Луна-2», магнитные измерения выполнялись уже вплоть до высоты 55 км над лунной поверхностью. Но даже слабого магнитного поля обнаружено не было (в пределах погрешности магнитометра). Оказалось также, что Луна не имеет радиационных поясов.



Фотографирование лунной поверхности аппаратами «Луна-3» (1959) и «Зонд-3» (1965) позволило сделать важные выводы о физических особенностях строения всей поверхности лунного шара, его структуре и о тех процессах, которые привели к формированию лунного рельефа.

Дальнейший научный поиск потребовал более длительного пребывания научной аппаратуры вблизи Луны и охвата измерениями значительных пространств. Решение этой задачи стало возможным лишь после создания искусственных спутников Луны. Первый из них — «Луна-10» (1966) — успешно работал почти два месяца и облетел вокруг Луны 460 раз. Во время сеансов связи, общее число которых достигло 219, на Землю передан обширный объем информации.

На станции «Луна-10» была установлена научная аппаратура для исследования радиационной и метеорной обстановки, солнечной плазмы в окололунном пространстве, инфракрасного и гамма-излучения лунной поверхности, магнитного поля Луны.

Изучение эволюции орбиты станции легло в основу определения формы динамической фигуры Луны, т. е. характера ее гравитационного поля. Обработка данных орбитальных измерений показала, что поле тяготения Луны отличается от сферически симметричного, однако аномалии его невелики. Динамическая фигура Луны имеет грушевидную форму с вытянутостью на стороне, обращенной к Земле.

Принципиально новым было первое в истории определение химического состава лунных пород по характеру гамма-излучения, которое обусловливается наличием в них естественных радиоактивных изотопов калия, тория и урана. Поскольку содержание радиоактивных элементов в различных породах неодинаково, то по измерениям гамма-излучения можно определить и наличие тех или иных пород на Луне.

С первого лунного спутника было передано девять гамма-спектров поверхности. Сравнение интенсивности гамма-излучения от распада естественных радиоактивных элементов на Луне с данными наземных съемок позволило установить, что по концентрации радиоактивных элементов лунные породы наиболее близки к земным типа базальтов. С уверенностью можно было утверждать,

что в районах, где проводились измерения, исключается возможность существования пород с таким содержанием радиоактивных элементов, как, например, в земных гранитах, и тем более пород с рудными концентрациями этих элементов.

Обширные исследования были посвящены магнитометрическим измерениям, начатым первыми советскими космическими станциями серии «Луна». Измерения магнитного поля станцией «Луна-10» в период новолуния и тогда, когда Луна находилась вне магнитного шлейфа Земли, позволили установить, что вблизи Луны наблюдается регулярное магнитное поле, интенсивность которого в несколько раз превышает интенсивность поля в свободном космическом пространстве.

Сопоставление измерений в полнолуние и новолуние не позволило однозначно выявить влияние магнитного шлейфа Земли на окололунное поле. Полученные «Луной-10» данные не противоречили представлениям, что наблюдаемое поле могло быть магнитным полем межпланетной среды, деформированным или уловленным Луной, которая имеет конечную проводимость и проницаемость.

28 августа 1966 г. на окололунную орбиту вышел новый космический аппарат — «Луна-11». Он совершил 227 витков вокруг Луны и продолжил исследования, начатые «Луной-10». За 137 сеансов радиосвязи, проведенных с аппаратом, была получена информация, подтверждающая и расширяющая основные выводы, сделанные по результатам исследований на «Луне-10». Предыдущая программа была дополнена изучением длинноволнового космического радиоизлучения.

Перед третьим советским искусственным спутником Луны — «Луной-12», вышедшим на окололунную орбиту 25 октября 1966 г., помимо продолжения исследований, начатых двумя предыдущими станциями, была поставлена новая задача — фотографирование отдельных участков лунной поверхности. На полученных снимках наименьшие разрешаемые объекты достигали 15—20 м в поперечнике. Фотографии Луны, выполненные с небольших расстояний, открыли новые, ранее неизвестные особенности ее строения.

Изучение лунного гравитационного поля было основной целью запуска автоматической станции «Луна-14» (1968). Не менее важными явились наблюдения, направленные на уточнение соотношения масс Земли и Луны. Это соотношение имеет фундаментальное значение для астрономии, и его определению были посвящены многолетние наблюдения наземных обсерваторий.



Ценная астрофизическая информация была получена при изучении условий прохождения радиосигналов между Землей и космической станцией при различных положениях последней относительно лунной поверхности.

Программа исследований новой советской автоматической станции «Луна-19», стартовавшей 28 сентября 1971 г., предусматривала проведение дальнейших научных исследований Луны и окололунного пространства с орбиты искусственного спутника Луны.

## Репортаж из Океана Бурь

В своих наблюдениях с помощью астрономических, а в последние три десятилетия и радиоастрономических методов ученые стремились ответить прежде всего на один из ключевых вопросов — из чего состоит Луна, какова структура ее поверхности?

Фотографирование лунной поверхности из космоса аппаратами «Луна-3» и «Зонд-3» позволило осуществить глобальный обзор ее поверхности (не изученной осталось менее 5%), значение которого велико уже потому, что удалось сделать важные выводы о физических особенностях лунного шара, его структуре и тех процессах, которые привели к формированию лунного рельефа. Появилась возможность хотя бы в первом приближении определить место Луны среди других тел Солнечной системы.

В результате изучения снимков обратной стороны Луны, переданных с «Зонда-3», было обнаружено около 3,5 тыс. новых объектов. Но эти данные не дали, да и не могли дать ответа на очень многие спорные вопросы о микроструктуре и механических свойствах поверхностного слоя Луны, химическом и минералогическом составе ее пород, сейсмичности. Для решения этих вопросов необходима была мягкая посадка на лунную поверхность космического аппарата, оснащенного научной аппаратурой.

И вот в феврале 1966 г. первый земной аппарат мягко опустился на лунную поверхность. Это была советская

автоматическая станция «Луна-9». Она прислала первую панораму, снятую непосредственно на поверхности Луны.

Перед взором предстала рыхлая, комковатая долина с разбросанными по ней камнями различной величины. А ведь едва ли не к Галилею восходит история «лунной пыли». Высказывались мнения, что лунный покров — это «каменный мох», «пористое вещество типа пемзы», «скальные породы» и даже нечто вообще не имеющее аналогов в земной практике — инфратвердое (промежуточное между жидким и твердым) состояние вещества. За несколько минут ученые увидели неизмеримо больше, нежели за те годы и десятилетия, которые провели астрономы у окуляров телескопов, изучая Луну.

Как проходили полет и мягкая посадка станции «Луна-9»?

Вначале лунная ракета вместе с разгонной ступенью была выведена на околоземную орбиту. В заданный момент была включена разгонная ступень. Когда ракета достигла необходимой скорости, двигатель был выключен, лунная ракета отделилась от разгонной ступени. Начался участок пассивного полета к Луне. Он завершился торможением ракеты и посадкой автоматической станции на поверхность Луны.

Анализ различных вариантов торможения при посадке на Луну показал, что наиболее надежным (и поэтому предпочтительным для первого эксперимента) является вариант вертикального торможения.

При выборе траектории полета учитывалось условие благоприятной видимости Луны во время торможения и непосредственно после посадки станции из определенных пунктов, расположенных на территории Советского Союза.

Для получения наиболее благоприятных условий фотографирования лунной поверхности и для обеспечения теплового режима автоматической станции посадка планировалась в районе утреннего терминатора.

Это определяло дату старта, а следовательно, и дату полета к Луне.

Для посадки «Луны-9» был выбран район в экваториальной области, на освещенной части лунной поверхности, т. е. в месте, где Солнце только что взошло и высота его над лунным горизонтом увеличивалась примерно на 12° за земные сутки.



Такой выбор места посадки создавал благоприятные условия для получения изображения лунной поверхности. В утренние часы все предметы отбрасывают длинные тени, которые быстро укорачиваются по мере увеличения высоты Солнца над горизонтом. Благодаря этому за сравнительно короткий промежуток времени удалось получить ряд панорам с длинами теней, изменяющимися почти в геометрической прогрессии. Фактически за первые двое суток работы станции были получены предусмотренные программой панорамы при высотах Солнца 7, 14 и 27°, а еще через сутки, во время дополнительного сеанса,— при высоте Солнца 41°. Снимки с существенно различными длинами теней дали материал для определения формы как углублений, так и выступов.

Станция совершила посадку вблизи западной окраины Океана Бурь, в окрестностях точки с координатами 7° северной широты и 64,2° западной долготы. Хотя эта область и расположена в принятых в селенографии границах Океана Бурь, ее нельзя, по-видимому, считать чисто «морским» районом. Несколько западнее и южнее места посадки располагаются большие кратеры Кавальери (диаметр 64 км) и Гевелий (диаметр 118 км), окруженные хорошо развитой сетью валов и отрогов, напоминающих полузатопленные горные системы.

Расстояние от места посадки до вала кратера Кавальери сравнимо с диаметром самого кратера. Это имеет существенное значение для исследований, если учесть, что вторичные кратеры возникают обычно на расстояниях, сравнимых с диаметром первичного кратера. В самом районе посадки расположена группа холмов с пологими склонами (крутизна склонов не превышает 10—15°), возвышающихся над окружающей местностью на 500—800 м.

По-видимому, и весь район посадки несколько возвышается над прилегающей к нему с востока областью Океана Бурь.

По виду панорам трудно было определить, где находится место посадки — на «морском» участке или на материковом, так как обзором был охвачен район, небольшой по сравнению с деталями, различимыми с Земли. Однако на основе подробного исследования снимков удалось определить не только свойства микрорельефа, но и ряд микрохарактеристик места посадки.

Характерными для лунной поверхности оказались три типа деталей: кратеры-лунки или воронки, с едва намечающимися валами или вообще без валов, протяженные линейные структуры, камни.

Что касается камней, то ученые предположили, что они имеют лунное происхождение и были выброшены из-под поверхностных слоев в момент вулканического извержения или метеоритного удара. Расчеты механических усилий при падении камней позволили сделать дополнительные выводы о прочности поверхностного слоя Луны. Сила удара была такова, что грунт должен был выдерживать давление, равное не менее 2—3 кг/см² поверхности.

Изучение панорамных снимков, переданных станцией «Луна-9» на Землю, показало, что формирование лунной поверхности, бесспорно,— не одноактный процесс.

Важные сведения о физико-механических свойствах лунного грунта сообщила «Луна-13», совершившая мягкую посадку на Луну в декабре 1966 г. Помимо фототелевизионного комплекса «Луна-13» имела на борту целую лабораторию для испытания прочности и плотности лунного покрова. В числе приборов станции находились измерительный штамп-грунтомер, динамограф и радиационный плотномер. Данные, полученные с помощью штамп-грунтомера и динамографа, показали, что механические свойства поверхностного слоя лунного грунта близки к земным грунтам средней плотности. С помощью радиационного плотномера был определен удельный вес верхнего слоя лунного вещества. В месте посадки станции он не превышал 1 г/см³.

Во всех предшествующих экспериментах научная информация, будь то сведения о магнитном поле Луны или фотографии ее поверхности, поступала на Землю только по радиоканалам. Но какими бы совершенными ни были радиотелеметрические и телевизионные средства передачи информации, их возможности в какой-то мере ограничены. Неизбежны и помехи, искажающие данные при их передаче со станций на Землю.

Кроме того, не всякая информация, получаемая научной аппаратурой, может быть проанализирована на борту космического аппарата. Так, результаты воздействия космических лучей высоких энергий на исследуемое вещество и научные приборы могут быть глубже и эффективнее



изучены и оценены учеными только на Земле, после возвращения станции из космоса.

Развитие космической техники ставит перед учеными все более сложные задачи в исследованиях межпланетного пространства и планет Солнечной системы. Уже сейчас реальным стало решение таких вопросов, как изучение поверхности планет и состава образующих их химических элементов и минералов, поиски следов живых организмов.

Большой интерес представляет также получение свободных от помех искажений телеметрической передачи непосредственных снимков поверхности и спектров излучений небесных тел.

Поэтому дальнейшее развитие космонавтики поставило на повестку дня вопрос о доставке собранной в космосе информации непосредственно в лаборатории ученых. Эти задачи решались с помощью автоматических станций серии «Зонд». Первая из них — «Зонд-5» — была запущена 15 сентября 1968 г. и возвратилась на Землю после семисуточного полета по трассе Земля — Луна — Земля.

В эксперименте с автоматической станцией «Зонд-6» (ноябрь 1968 г.) при возвращении на Землю впервые был применен метод управляемого спуска с использованием аэродинамической подъемной силы (аэродинамического качества) спускаемого аппарата. В этом случае траекторией движения космического аппарата при торможении можно управлять, что позволяет осуществить приземление его в нужном районе с большой точностью и меньшими перегрузками.

Затем совершили полет станции «Зонд-7» (1969) и «Зонд-8» (1970). Одной из задач всех этих полетов было фотографирование Луны с близкого расстояния и доставка заснятой пленки на Землю. Если принять во внимание, что станция «Зонд-3» передала всего 25 кадров, а «Зонд-6» доставил их в несколько раз больше и к тому же они воспроизводили в четыре раза больше градаций яркости, чем фототелевизионные снимки, то выигрыш в информативности получался почти в 1000 раз.

Снимки, проявленные на Земле, имеют и несравненно более высокие измерительные свойства. Они позволяют, например, выполнять весьма точные стереоскопические измерения лунной поверхности.

## Лунный «геолог»

Закономерным шагом в работе советских ученых по дальнейшему изучению Луны с помощью космических аппаратов стал полет автоматической станции «Луна-16» (1970). Впервые в истории космонавтики автоматический аппарат совершил рейс Земля — Луна — Земля, доставив на Землю образцы лунной породы.

Как известно, первые образцы лунной породы были доставлены американскими астронавтами из районов Моря Спокойствия и Океана Бурь. Станция «Луна-16» прилунилась в районе Моря Изобилия, в удаленной от центра видимого диска восточной части, в 0°41′ к югу от лунного экватора, на долготе 56°18′.

Следует отметить, что «Луна-16» совершила посадку на лунную поверхность и начала выполнение своей научной программы в условиях лунной ночи. К моменту посадки — 20 сентября — Море Изобилия успело погрузиться в темноту. За 60 ч после захода Солнца температура поверхности в этом районе опустилась более чем на 100° С ниже нуля. Однако тепловой режим станции не нарушался и все приборы работали нормально.

В космическом вакууме существенно увеличиваются трение и износ материалов, могут возникнуть явления так называемой холодной сварки. Для иллюстрации можно привести результаты лабораторного опыта, когда металлические шестеренки примерно одного диаметра приводились в зацепление и вращались со скоростью 3 тыс. об/мин при давлении $10^{-11}$ атм. Через полчаса работы они превратились в валики разных диаметров. Поскольку трение в вакууме возросло, произошло схватывание металла: зубья на одной шестеренке были срезаны, а их металл заполнил впадины между зубьями другой шестеренки.

Под воздействием электромагнитной и корпускулярной радиации с поверхности космического аппарата непрерывно улетучивается материал, происходит его эрозия. В результате нарушения защитных окисных пленок, имеющих толщину, соизмеримую с длиной световых волн, существенно изменяются радиационные характеристики космического аппарата, затрудняется теплопередача между отдельными его частями и в конечном счете ухудшается тепловой режим.

Уникальный космический эксперимент — полет станции «Луна-16» — проходил в несколько этапов. Сперва станция была выведена на селеноцентрическую круговую орбиту. В результате маневрирования в окололунном пространстве она перешла на эллиптическую орбиту, с которой и совершила мягкую посадку. Успешная реализация такой схемы посадки при полете автоматической станции с дистанционным управлением с Земли в принципе дает возможность доставить измерительную аппаратуру в любую точку лунного шара.

Сложные новаторские задачи стояли перед создателями устройства для взятия проб лунного грунта. Прежде всего нельзя было с определенностью ответить на вопрос, что из себя представляет грунт в месте посадки: будет ли он сыпучим, как мелкий морской песок, или заборное устройство встретится с выходами твердых пород, таких, как базальт?

Образцы предстояло взять не только с поверхности, но и с некоторой глубины, т. е. получить керн пород. При этом конструкция грунтозаборника должна была обеспечивать отбор грунта вне зоны воздействия газов посадочного двигателя и перенос его в возвращаемый аппарат.

Сложность задачи, сотни противоречивых проблем потребовали длительной отработки конструкции грунтозаборника, тщательной проверки отдельных его узлов на Земле. Проводилось, например, «тренировочное» бурение в вакууме при высоких и низких температурах на различных аналогах лунных грунтов, комплексная отработка на специальном стенде, в итоге была обеспечена надежность всего устройства и его безотказная служба на Луне.

Выполнение автоматического старта космической ракеты «Луна-16» с поверхности Луны потребовало решить комплекс принципиально новых задач. Ведь при старте с Земли ракета-носитель устанавливается в определенном положении, допускающем отклонения от расчетного в пределах не более нескольких угловых минут, и тем не менее во время полета к Луне приходится делать один, а то и несколько корректирующих маневров для исправления погрешностей траектории.

При старте с Луны, чтобы рассчитать время запуска, нужно было точно определить положение продольной оси станции относительно местной вертикали и координаты места прилунения.

В результате успешного выполнения всех расчетов и

операций возвращаемый аппарат в пассивном полете без единой коррекции движения проделал весь обратный путь практически без отклонений от вычисленной траектории и совершил посадку на Землю настолько точно, что еще в воздухе при спуске на парашюте, примерно на высоте 2 тыс. м был обнаружен визуально с вертолетов поисково-спасательной службой.

Конечно, этому предшествовали многочисленные испытания систем и узлов автоматической станции. Взлет с Луны моделировался на электронных машинах и в вакуумных камерах. Проводились многочисленные проверки двигательной установки, в частности в натурном масштабе времени. Спускаемый аппарат испытывался, например, на высокие перегрузки при входе в атмосферу, для чего использовались специальные стенды, центрифуги. Все эти испытания помогли успешно осуществить полет, в течение которого не пришлось воспользоваться ни одной из дублирующих систем.

## Луноходы

С созданием «Лунохода-1» и доставкой его на Луну (1970) впервые появилась возможность проведения научных экспериментов не только в месте посадки автоматического аппарата, но и на различных удалениях от него. Только при условии, когда автоматическое устройство может отделиться от аппарата-носителя и отойти от него на определенное расстояние, научная аппаратура может дать точный анализ девственного покрова Луны, определить тепловой режим, уровень и состав радиации, а также выполнить другие исследования.

С помощью самодвижущихся лунных автоматов можно осуществлять химические и минералогические анализы лунных пород, определять их прочность на маршруте следования, передавая на Землю собранную информацию. Ведь даже в условиях нашей планеты мы стремимся максимально приблизить лаборатории к изучаемым объектам, исследовать образцы в местах их естественного залегания.

Используя луноходы, можно обследовать обширные территории, изучать не только строение лунной поверхности, передавая на Землю телевизионные изображения ландшафта, но и получать большой объем информации о



физико-химическом составе поверхностного слоя, его механических и других свойствах. С помощью аппаратуры таких станций можно наблюдать и лунное небо.

Для проведения научно-технических исследований и экспериментов «Луноход-1» был оборудован разнообразной аппаратурой. Изображения ландшафта, передаваемые на Землю телевизионной аппаратурой, давали возможность изучать рельеф местности. А приборы, установленные на шасси, позволяли исследовать процессы движения по лунной поверхности: изучать механические свойства грунта, по которому идет луноход, определять характеристики взаимодействия колес с грунтом. Эти данные в сочетании с анализом телеизображений лунной поверхности, на которых видны следы колес, имели большую ценность для науки. Для определения химического состава поверхностного слоя грунта на луноходе был установлен рентгеновский спектрометр.

В научную программу лунохода входило и изучение характеристик космических лучей. Приборы аппарата позволяли измерять интенсивность, спектр, направления потоков и оценить состав космических лучей, падающих на Луну. Эти приборы измеряли также радиоактивность поверхности Луны.

С помощью «Лунохода-1» проводился первый опыт использования ближайшего к нам небесного тела для изучения отдаленных областей Вселенной. Рентгеновский телескоп, установленный на борту лунохода, периодически производил измерение фона внегалактического рентгеновского излучения. В диапазоне измеряемых телескопом электромагнитных излучений заложена очень важная информация о физике явлений, протекающих в далеких просторах Вселенной. Исследовать в наземных научных лабораториях эти излучения невозможно, поскольку рентгеновский диапазон полностью поглощается атмосферой.

На «Луноходе-1» был установлен лазерный отражатель, разработанный французскими учеными. У лазерной локации огромные перспективы: она позволяет, в частности, определять с высокой точностью, значительно превышающей точность других методов, расстояние между поверхностями Земли и Луны, а также выполнять важные исследования по уточнению теории движения Луны.

Исследования, начатые «Луноходом-1», были в 1973 г. продолжены «Луноходом-2».

Новейшие исследования Луны дали богатейшие сведения. Но выяснены пока далеко не все вопросы, поставленные наукой.

Прежде всего не выяснен вопрос о происхождении Луны. По-прежнему остаются три так называемые традиционные теории, согласно которым Луна: 1) двойник Земли и образовалась так же, как и Земля; 2) образовалась где-то в пределах Солнечной системы и впоследствии была захвачена Землей; 3) осколок Земли, ставший ее естественным спутником.

Можно предположить, что в различные сроки после своего рождения Луна подвергалась каким-то влияниям, в ходе которых ее поверхность резко нагревалась и плавилась. Например, некогда Луна могла настолько приблизиться к Земле, что возникла гигантская сила притяжения. Математические расчеты показывают, что при этом могло выделиться достаточно энергии, чтобы переплавить всю поверхность Луны. Есть и другие гипотезы. Во всяком случае совершенно очевидно, что Луна имеет кору и, следовательно, внешняя оболочка ее некогда была в расплавленном состоянии.

Гораздо более определенные результаты получены химиками. Они нашли в образцах почвы нашей соседки 68 из известных нам элементов таблицы Менделеева, в том числе азот, водород, углерод, кислород, аргон, железо и т. д. Обнаружены и некоторые минералы, не известные на Земле. Результаты химического анализа образцов лунных пород показывают, что вода в них отсутствует. В то же время группа американских ученых заявила, что один из приборов, установленных на Луне, зарегистрировал пары воды в извержении некоего «гейзера».

Большинство геофизиков считают, что ядро, подобное тому, которое имеет Земля, у Луны отсутствует. Однако результаты измерения тепла, исходящего из недр Луны, а также наличие слабого магнетизма у образцов лунных пород дают основание полагать, что Луна, возможно, имеет горячее ядро. Если бы удалось доказать существование такого ядра, то теории о происхождении Луны получили бы твердую основу.

Остаточный магнетизм, зарегистрированный во всех образцах лунных пород, доставленных на Землю, оказался для селенологов одним из самых трудно объяснимых явлений. Ученые склонны считать, что лунный магнетизм



не мог быть вызван межпланетным полем. Если предположить, что магнетизм был наведен солнечным магнитным полем, то не ясно, как при близком прохождении от Солнца Луна избежала воздействия высоких температур. Лунный магнетизм не мог быть наведен и Землей, так как для этого Луна должна проходить очень близко от Земли, что не согласуется с геофизическими теориями.

Остается третий, «стандартный» вариант объяснения, согласно которому Луна сама генерировала магнитные силы. Однако для этого она должна была вращаться значительно быстрее, чем допускают селенологи, и иметь расплавленное ядро.

Еще одна загадка Луны — так называемые масконы. Во время облета Луны космическими аппаратами установлено, что ее гравитационное поле очень неравномерно. Над большими участками лунной поверхности, так называемыми лунными «морями», обнаружены четко выраженные положительные гравитационные аномалии. Столь странное явление попытались связать с существованием в этих «морях» избыточных масс, названных масконами.

О природе масконов высказаны различные предположения. Одни ученые считают, что масконы — это железоникелевые тела, прилетевшие из космоса и «углубившиеся» в лунную почву. Другие предполагают, что масконы — это толщи осадочных пород на месте древних морей. И, наконец, третьи думают, что масконы — не что иное, как застывшая лава, изверженная из недр. Плотность ее выше плотности окружающих континентальных областей. Последняя точка зрения, по-видимому, наиболее правдоподобна, поскольку трудно допустить возможность формирования в околоземном пространстве крупных железоникелевых тел.

Зарегистрированы на Луне и локальные концентрации сильного магнетизма, или магконы, которые по характеру распространения на лунной поверхности аналогичны масконам. Наиболее часто магконы встречаются в материковых районах. Вопрос об их происхождении также не совсем ясен.

Как видим, Луна оказалась гораздо более сложным небесным телом, чем предполагалось. Очевидно, пройдет еще немало лет, потребуются десятки новых космических аппаратов, сотни экспериментов, прежде чем люди смогут сказать, что они знают Луну.

Глава 4

# К ПЛАНЕТАМ СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ

## Венера раскрывает тайны

Первый выход на межпланетную трассу состоялся 12 февраля 1961 г., когда в Советском Союзе была запущена автоматическая станция «Венера-1». Что мы знали к этому времени о планете Венера? Наука накопила не слишком много данных о ней. Галилей открыл фазы Венеры, подобные лунным, а Ломоносов обнаружил, что она имеет, как и Земля, «знатную» атмосферу. Последующие два столетия мало что добавили к этим скудным сведениям. Еще немногим более десяти лет назад мы не знали не только параметров и структуры поверхности Венеры, но даже направления ее вращения вокруг оси и продолжительности венерианских суток.

Венера по массе и радиусу лишь немного меньше Земли и чуть ближе к Солнцу, но благодаря более высокой отражательной способности своей атмосферы получает примерно то же количество тепла, что и Земля. Поэтому вплоть до 40-х годов нашего столетия существовало убеждение, что Венера обладает природными условиями, необходимыми для существования развитых форм жизни.

Первые сведения о реальных физических условиях на поверхности и в нижних слоях атмосферы Венеры удалось получить только в результате радиоастрономических и радиолокационных наблюдений. В 1956 г. в результате исследований, проведенных советскими и американскими радиоастрономами, удалось измерить температуру поверхности Венеры. Она оказалась неожиданно высокой — около 350° С в центральной части ночной стороны. Вместе с тем оставалось неясным, какому давлению может соответствовать столь высокая температура; по-прежнему называли цифры от единиц до ста атмосфер и более.

Автоматическая межпланетная станция «Венера-1» прошла в июне 1961 г. менее чем в 100 тыс. км от поверхности Венеры. Но, к сожалению, регулярная связь с ней прекратилась еще в конце февраля. Несколько более удачной оказалась попытка исследования Венеры с помощью американских космических аппаратов серии «Маринер». «Маринер-2» в декабре 1962 г. после коррекции траектории прошел на расстоянии 34,9 тыс. км от поверхности планеты. Была определена масса Венеры с точностью до 0,015%. Магнитное поле обнаружено не было. Ученые продолжали, однако, полагать, что оно все же может существовать, только солнечный ветер «прижал» его к поверхности планеты. Не были обнаружены и радиационные пояса.

Крупнейшим успехом в изучении Венеры и новым выдающимся вкладом в развитие космонавтики стал полет советской автоматической станции «Венера-4». 18 октября 1967 г. был осуществлен плавный спуск отделяемого аппарата в атмосфере Венеры. Впервые были проведены непосредственные измерения химического состава, температуры, давления и плотности атмосферы. Результаты этих измерений переданы на Землю.

Прямые измерения физико-химических характеристик атмосферы Венеры осуществили затем советские автоматические станции «Венера-5» и «Венера-6». Американские исследователи произвели со своей стороны измерения атмосферы планеты косвенным методом: они анализировали характер распространения в ней радиоволн, посылаемых на Землю при заходе за диск планеты космического аппарата «Маринер-5».

Что можно сказать о физических условиях на Венере в свете полученных экспериментальных данных, в первую очередь прямых измерений, выполненных в ее атмосфере? В отличие от земной атмосферы, где основными компонентами являются азот и кислород, а среднее содержание углекислого газа не превышает 0,03%, атмосфера Венеры на 93—97% состоит из углекислого газа. Возможно, что в атмосфере планеты содержится несколько процентов азота и инертных газов. Кислорода практически не обнаружено.

Температура на среднем уровне у поверхности Венеры равна примерно 500° С; атмосферное давление в среднем в 100 раз больше, чем на поверхности Земли. Такие температура и давление исключают возможность жизни на Венере в привычных для нас формах, хотя нельзя в прин-

ципе исключить существование своеобразных живых форм на основе кремнийорганических соединений.

Вероятнее всего, столь высокая температура обусловлена воздействием гигантского «парникового эффекта». Как известно, планеты отличаются от звезд тем, что собственные запасы тепла у них незначительны и температурный режим на их поверхности определяется тем, сколько они получают тепла от Солнца и сколько его излучают обратно в мировое пространство. Если атмосфера мало прозрачна для инфракрасных лучей и хорошо пропускает энергию в видимой части спектра, то равновесие устанавливается при очень высокой температуре. Именно это и наблюдается у Венеры. Солнечное излучение, несущее основную долю энергии в видимой части спектра, несмотря на плотный облачный слой, все же доходит до ее поверхности, разумеется, в рассеянном виде. Поверхность Венеры нагревается и затем отдает тепло, но уже в виде инфракрасного излучения, которое задерживается в толще атмосферного газа.

Изменение температуры практически во всей области измерений станциями «Венера-4, -5 и -6» соответствовало адиабатическому закону, для которого характерно перемещение газа по вертикали (конвекция). Однако нельзя еще с уверенностью сказать, сохраняется ли такой закон вплоть до поверхности или становится иным. От этого зависели оценки температуры и давления у поверхности, которые получались из расчетов соответствующих моделей атмосферы Венеры.

Основной целью запуска автоматической станции «Венера-7» было осуществление посадки на планету, изучение атмосферы в процессе спуска, вплоть до самого «дна» и проведение измерений непосредственно на поверхности.

На спускаемом аппарате станции «Венера-7» была установлена специальная аппаратура, которая позволяла измерять температуру атмосферы Венеры в диапазоне от 25 до 540° С и давление от 0,5 до 150 атм.

Поскольку предыдущие измерения показали, что атмосфера планеты весьма разогрета, было целесообразно дойти до неисследованных еще областей как можно быстрее. Это могло обеспечить наиболее благоприятный температурный режим спускаемого аппарата станции «Венера-7» на главном, конечном участке спуска и на поверхности Венеры. Поэтому конструкция парашютной системы аппарата была подвергнута значительным изменениям, верхние участки атмосферы «Венера-7» прошла значительно быстрее, чем ее предшественницы.



По мере снижения аппарата в атмосфере скорость его меняется. При этом для наземных наблюдателей благодаря эффекту Допплера меняется и частота принимаемого радиосигнала. По величине изменения частоты можно проследить скорость снижения аппарата и, зная время спуска, определить величину пройденного пути.

Спускаемый аппарат был оборудован высокостабильными генераторами частоты. Во время полета несколько раз проводилась их калибровка и сравнение с частотой наземных эталонных генераторов. Все это позволило измерять скорость снижения аппарата в атмосфере Венеры с высокой точностью.

В конце участка спуска по изменению частоты радиосигнала было установлено, что скорость снижения аппарата относительно планеты стала нулевой: аппарат совершил посадку. Регистрировавшееся после этого момента изменение частоты бортового передатчика в точности соответствовало скорости движения относительно Земли участка поверхности Венеры, где по расчетам опустился аппарат. Сигналы спускаемого аппарата после посадки принимались еще в течение 23 мин.

Из-за неполадки в работе бортового коммутатора телеметрической системы со спускаемого аппарата станции «Венера-7» передавалась информация только о температуре окружающей среды. Во время снижения аппарата происходило постепенное возрастание температуры. После посадки температура окружающей среды не изменялась в течение всего времени работы радиопередатчика на поверхности планеты. Была определена зависимость температуры атмосферы от высоты вплоть до поверхности планеты.

Измерения, ранее производившиеся советскими автоматическими станциями в атмосфере Венеры, дали возможность установить связь между температурой и давлением атмосферы до 20-километровой высоты. Распределение давления и плотности в атмосфере по высоте было рассчитано вплоть до самой поверхности. Атмосферные параметры на поверхности планеты в месте посадки спускаемого аппарата станции «Венера-7» составляют: температура 475±20° С, давление 90±15 атм.

Таким образом, в результате полета автоматической станции «Венера-7» окончательно установлено, что Венера обладает необычайно сильно разогретой атмосферой, плотность которой у поверхности примерно в 60 раз превышает плотность атмосферы Земли. Впервые была получена информация непосредственно с поверхности другой планеты Солнечной системы.

Измерения давления и температуры на поверхности планеты были выполнены затем с помощью станции «Венера-8». Полученные при этом данные хорошо согласуются с результатами измерений «Венеры-7».

С помощью «Венеры-8» была измерена освещенность в нижней части облачного слоя и в подоблачной атмосфере. Полученные данные позволили, в частности, определить положение нижней границы облачного слоя — ее высота около 35 км. Освещенность сверху и снизу мало отличается даже вблизи верхней границы облаков. Отсутствует какое-либо резкое изменение освещенности при пересечении верхней границы; по мере углубления внутрь облачного слоя освещенность плавно уменьшается с высотой.

Данные о горизонтальном перемещении спускаемых аппаратов советских автоматических станций позволили получить представление о профиле горизонтальной скорости ветра на высотах от 0 до 50 км. Так, по сведениям с «Венеры-8» этот профиль состоит из трех участков: нижнего (0—10 км), где скорость не превышает 3 м/с, среднего (20—40 км), где скорость ветра около 35 м/с, и верхнего (40—50 км), где скорость возрастает до 60 м/с.

Помимо дальнейшего изучения параметров атмосферы перед станцией «Венера-8» была поставлена задача исследования характера венерианских пород в районе посадки. Оказалось, что в сравнении с земными венерианские породы содержат больше радиоактивных элементов. По уровню содержания урана, тория и калия венерианские породы наиболее близки кислым магматическим породам Земли (гранитам).

Эти данные в совокупности с результатами определения плотности породы в районе посадки, составляющей 1,5 г/см$^2$, дают основание полагать, что на поверхности Венеры встречаются изверженные породы, подвергшиеся впоследствии длительному воздействию различных факторов окружающей среды.



Новый советский космический эксперимент, выполненный в 1975 г. на станциях «Венера-9» и «Венера-10», качественно отличался от предшествующих прежде всего своей сложностью и обширностью программы измерений. Был разработан новый тип космических аппаратов, предназначенных для проведения многоплановой экспедиции на Венеру. Если раньше орбитальный отсек с его остронаправленной параболической антенной, через которую поддерживалась связь с Центром дальней космической связи, погибал сразу же после разделения со спускаемым аппаратом, то теперь ставилась задача сохранить его и использовать для дальнейших исследований. В течение кратковременного спуска в атмосфере научная аппаратура спускаемого аппарата может передать на орбитальный отсек значительно больший объем информации, чем это возможно при прямой трансляции на Землю.

Станции выводились на траекторию попадания в планету, и за двое суток до подлета спускаемый аппарат отделялся и летел к планете. Орбитальный отсек уводился в сторону и еще одним тормозным импульсом переводился на эллиптическую орбиту искусственного спутника планеты. Спускаемый аппарат и орбитальный блок движутся при этом в противоположных направлениях, огибая планету с двух сторон. Это было сделано с таким расчетом, чтобы спутник затем вышел над районом посадки и начал принимать информацию со спускаемого аппарата.

Система торможения и посадки разрабатывалась с таким расчетом, чтобы измерения могли начаться с большой высоты, еще в облачном слое планеты.

Одна из основных задач полета — получение фототелевизионных изображений поверхности планеты в районе посадки. Такая операция требует много времени. Следовательно, необходимо было обеспечить определенную гарантированную длительность работы спускаемого аппарата.

Во время снижения спускаемых аппаратов измерялись физико-химические параметры атмосферы, ее оптические свойства, освещенность. Полученные данные показали, в частности, что облачный слой Венеры гораздо более прозрачен для солнечного излучения, чем предполагалось ранее. По-видимому, он весьма неоднороден.

Один из оптических приборов измерял интенсивность поглощения водяного пара и углекислого газа, что позво-

лило определить относительную концентрацию водяного пара и углекислого газа, т. е. выяснить влажность атмосферы. Оценки, которые были получены по результатам обработки телеметрической информации, дали примерно 0,01% содержания водяного пара в атмосфере Венеры. Напомним, что в земной атмосфере водяного пара примерно 1%.

«Венера-9» передала на Землю первую в истории науки панораму поверхности планеты. Аппарат совершил посадку в россыпь камней. Создается впечатление, что большая глыба раскололась на пластины. На Земле свойством расслаиваться обладают такие породы, как сланцы, гнейсы, граниты, базальты. Камни острые, четко видны их грани, что не согласуется с гипотезой об эрозии. Ведь при высокой плотности атмосферы Венеры даже незначительный ветер в пределах одного метра в секунду должен воздействовать как утюг, сглаживая поверхность, обтачивая и закругляя грани камней. Исходя из этого, можно предположить, что камни, которые видны на панораме, молоды, что они образовались, например, в результате вулканического процесса, венеротрясения. Если это так, то Венера, возможно, «живая» планета и в ее недрах идут активные геологические процессы.

Иначе выглядит вторая панорама. Спускаемый аппарат станции «Венера-10» сел на каменную глыбу. Быть может, это выходы скальных пород, «зализанные» воздействием внешних факторов. Нельзя исключить и того, что это изверженная лава, которая подверглась эрозии.

Поразительно также, что на панорамах, особенно первой, имеются тени от камней. Это независимо подтверждает, что атмосфера Венеры обладает в месте посадки станции относительно высокой прозрачностью. Ранее считалось, что она должна сглаживать контрасты словно молочный рассеянный фильтр. На панорамах четко различим горизонт — нормальная выгнутая линия, а не вогнутое зеркало, как утверждали многие.

Полет станций «Венера-9» и «Венера-10» служит примером осуществления комплексных научных программ. Спускаемые аппараты этих станций вошли в атмосферу планеты и выполнили локальные измерения. Орбитальные отсеки стали первыми искусственными спутниками Венеры и провели исследования характеристик планеты и окружающего ее пространства в глобальном масштабе.





В последнее десятилетие в результате совершенствования методов наземных оптических наблюдений, радиоастрономических, радиолокационных исследований и полетов космических аппаратов накопилось много новой информации о Марсе, что позволило существенно продвинуться вперед в изучении этой планеты. Вместе с тем был выдвинут ряд новых сложных проблем, решение которых имеет огромное значение как для исследования природы Марса, так и для ответа на многие фундаментальные вопросы современной планетологии.

Сложную проблему представляет прежде всего изучение структур и динамики атмосферы планеты — ее температуры, распределения этих параметров по высоте и вдоль поверхности Марса. На эти вопросы могут дать ответ лишь длительные исследования планеты в глобальном масштабе. Очень интересно также было выяснить, характерны ли для Марса перепады высот от 12 до 14 км, обнаруженные в экваториальной зоне наземными методами. Представляло интерес и более детальное исследование структуры кратеров, которыми, как показали последние исследования планеты, изобилует ее поверхность.

С помощью телескопов на Марсе наблюдались темные и светлые области, которые получили условные названия «материков» и «морей». Важно было выяснить причины их контрастности, сезонных очертаний, «волн потемнения», распространяющихся весной с началом таяния полярных шапок к экватору. Ведь именно изменчивость облика Марса во времени породила множество гипотез о возможности тех или иных форм жизни на планете.

Большой интерес представляет для науки и вопрос о том, какие процессы происходят вблизи Марса, каковы характеристики окружающей его космической среды.

В решении всех этих проблем большую помощь оказывают искусственные спутники Марса. Но они не дадут ответ на вопрос, есть ли там жизнь. В этом смысле спутники — не слишком надежный инструмент исследований. Даже наша планета на фотографиях, сделанных с околоземной орбиты, довольно часто кажется лишенной жизни.

Тем не менее создание искусственных спутников Марса — необходимый этап в освоении этого небесного тела. Анализ их орбит позволяет, например, установить кар-

тину гравитационного поля планеты, а значит, уточнить ее форму, выявить неоднородности в распределении масс в ее недрах. Измерения, выполняемые с борта спутников в инфракрасной и ультрафиолетовой областях спектра, дают возможность досконально исследовать химический состав марсианской атмосферы, ее температуру и давление, концентрацию заряженных частиц. Представлял, например, интерес вопрос о том, какой газ преобладает в верхней атмосфере Марса, из каких ионов образована его ионосфера.

И, конечно, основная ценность искусственных спутников Марса заключается в той детальной информации, которая может быть получена ими о характере поверхности планеты, например, путем ее фотографирования или исследования излучательной способности планеты в широком диапазоне длин волн.

Принципиально новые возможности для изучения структуры атмосферы и поверхности Марса открывают прямые измерения при помощи космических аппаратов, совершающих посадку на поверхность планеты. Такие аппараты способны производить исследования, не доступные наблюдениям с Земли и даже с орбиты искусственного спутника планеты. Само осуществление мягкой посадки на Марс представляет собой решение крупнейшей научно-технической задачи. Расширение сведений о поверхности Марса, его атмосфере, динамике происходящих там процессов и явлений позволяет значительно углубить наши представления об эволюции Солнечной системы.

В конце 1971 г. две советские автоматические станции, «Марс-2» и «Марс-3», были выведены на околомарсианские орбиты. При подлете к Марсу от станции «Марс-3» был отделен спускаемый аппарат, который совершил мягкую посадку на планету.

Межпланетные автоматические станции «Марс-2» и «Марс-3» конструктивно аналогичны. Они оснащались системами автоматического управления и ориентации, радиоуправления, траекторных измерений и передачи информации, автоматики, энергопитания, терморегулирования, бортовым радиокомплексом, программно-временны́м устройством, двигательной установкой и комплексом научной аппаратуры.

На борту искусственных спутников Марса проводилось 11 научных экспериментов. Семь из них были связаны с изучением самой планеты, три — с измерениями параметров межпланетной среды и один, выполнявшийся совместно с французскими учеными,— с исследованием радиоизлучения Солнца. Наиболее важны, конечно, сведения о самой планете — именно для этого посылались станции к Марсу. Сюда относятся измерения температуры поверхности и грунта Марса, исследование его рельефа, состава и строения атмосферы.



Программы наших «Марсов» и американских аппаратов «Маринер», одновременно исследовавших планету, были спланированы по-разному. Основная задача советской программы — исследование поверхности и атмосферы планеты с помощью ряда астрофизических приборов, фотографирование же играло вспомогательную роль. Основной частью американской программы, напротив, являлась фототелевизионная съемка; астрофизических приборов на борту «Маринера-9» было установлено меньше — всего три.

Аппараты двигались вокруг Марса по вытянутым орбитам. В ближайшей к планете точке орбиты, называемой перицентром, их высота над планетой несколько менялась со временем и составляла 1380—1500 км. Почти все приборы были ориентированы так, что при прохождении этой точки они «смотрели» на планету почти по вертикали. Спутник в это время двигался со скоростью около 4 км/с, и планета просматривалась приборами от края до края примерно за полчаса.

Инфракрасный радиометр, принимавший излучение планеты в области волн длиной 8—40 мкм, измерял температуру поверхности вдоль трассы. Это своего рода дистанционный радиационный термометр. Трассы начинались в Южном полушарии, где в исследуемый период подходило к концу марсианское лето, пересекали затем экватор и заканчивались в Северном полушарии. Начальные точки трасс приходились на области, где было еще утро, а конечные — на послеполуденные, вечерние, иногда даже ночные часы. Температура вдоль трасс менялась поэтому в широких пределах: от +13 до —93° С. А в области северной полярной шапки температура падала еще ниже — до —110° С.

Знать температуру на поверхности Марса в разных широтах и в разное время интересно, во-первых, потому, что это одна из главных климатических характеристик,

а, во-вторых, по изменениям температуры в течение суток и от места к месту можно судить о свойствах материала, из которого состоит грунт.

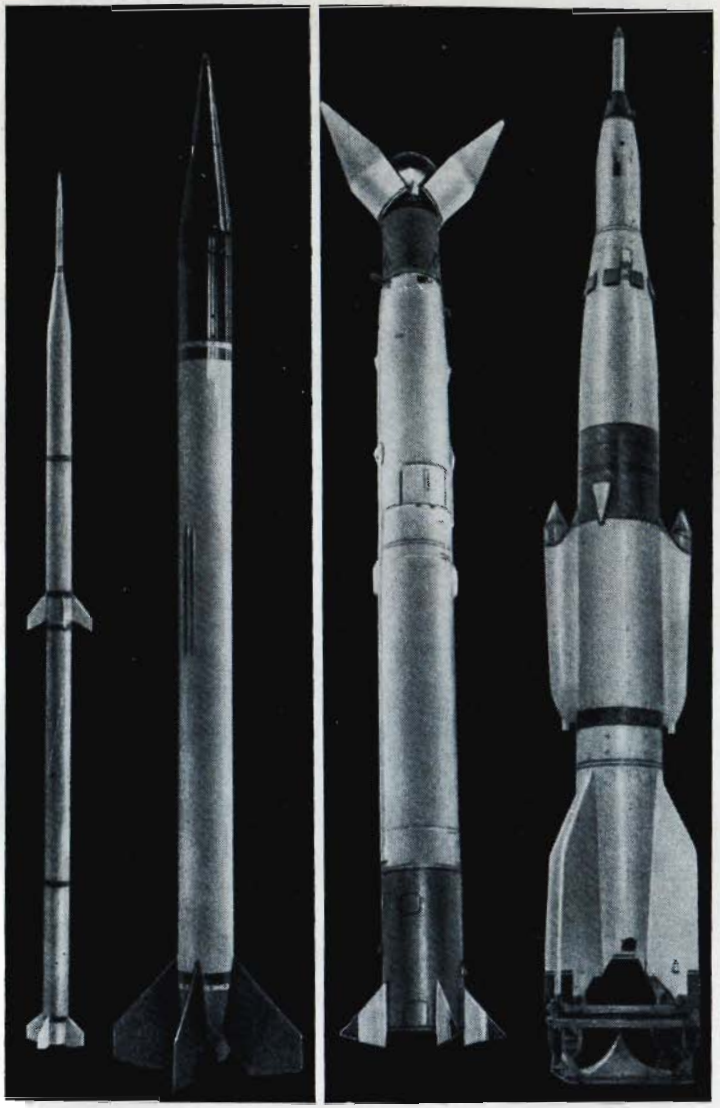
Марсианские «моря» (темные области) оказывались в среднем теплее, чем «континенты» (светлые области). Различие температур, достигающее 10°, объясняется тем, что у морей хуже отражательная способность, они больше поглощают солнечной энергии и сильнее нагреваются.

В феврале 1972 г. измерения заканчивались в области северной полярной шапки. Инфракрасный радиометр показывал здесь температуру ниже —110°С. Из этого делается вывод, что северная полярная шапка состоит главным образом из углекислоты. Углекислый газ — основная часть марсианской атмосферы. То же вещество в твердом виде образует полярные шапки Марса. В них есть и замерзшая вода, но углекислоты, конечно, больше. В отличие от южной полярной шапки, исчезающей летом, северная шапка существует круглый год, и есть подозрение, что общее количество твердой углекислоты и замерзшей воды в ней значительно превышает количество этих веществ в газовой атмосфере Марса.

Радиотелескоп измерял интенсивность и поляризацию радиоизлучения на длине волны 3,5 см вдоль той же трассы. В отличие от инфракрасного радиометра он измерял температуру грунта планеты на глубине 30—50 см. Кроме температуры определялась также диэлектрическая постоянная — величина, которая зависит от физических свойств грунта. Температура под поверхностью на указанной глубине совсем не испытывает суточных колебаний, что свидетельствует о большой тепловой инерции и малой теплопроводности грунта. Плотность грунта была оценена приблизительно в 1—1,5 г/см$^3$, что говорит о раздробленном его состоянии.

Инфракрасный фотометр на полосу поглощения углекислого газа с длиной волны 2,06 мкм позволял определять содержание углекислого газа в вертикальном столбе в различных точках вдоль трассы. Он показывал давление у поверхности, которое в различных областях оказывалось различным из-за разной их высоты над средним уровнем поверхности. На среднем уровне давление на Марсе принимается равным 5,5—6 мбар, что примерно в 200 раз меньше, чем на Земле. Зная, как меняется давление вдоль трассы, можно было определить относительные высоты и



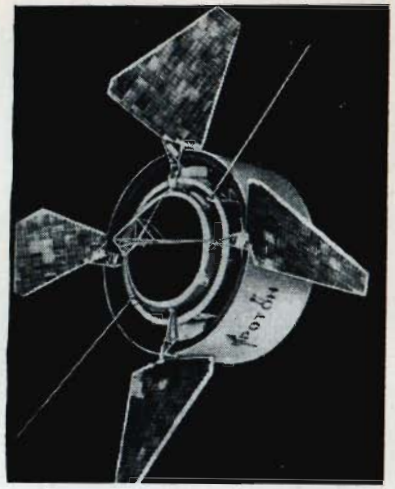


Советские метеорологические ракеты

Советские геофизические ракеты

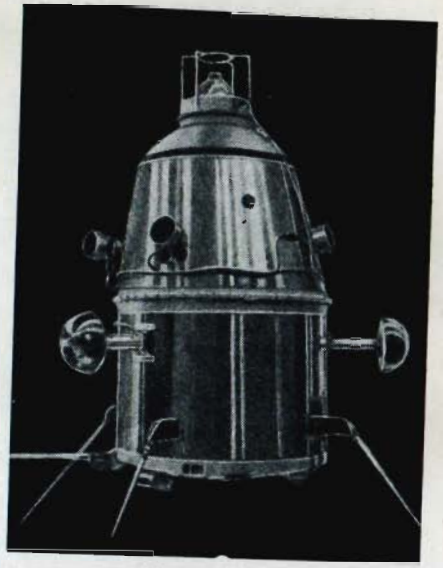


Автоматическая станция «Электрон-2»



Космическая станция «Протон-1»

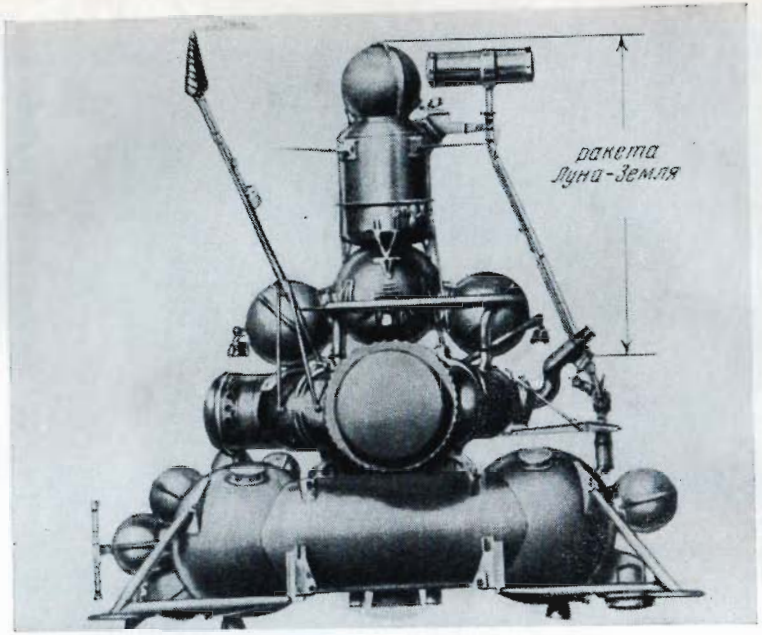
Первый искусственный спутник Луны



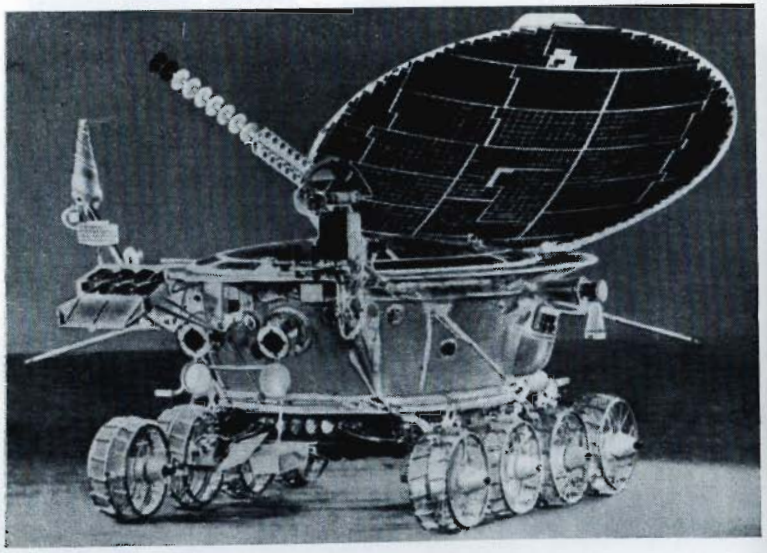
Фрагмент первой панорамы лунной поверхности, полученной с помощью автоматической станции «Луна-9»








Автоматическая межпланетная станция «Луна-16»

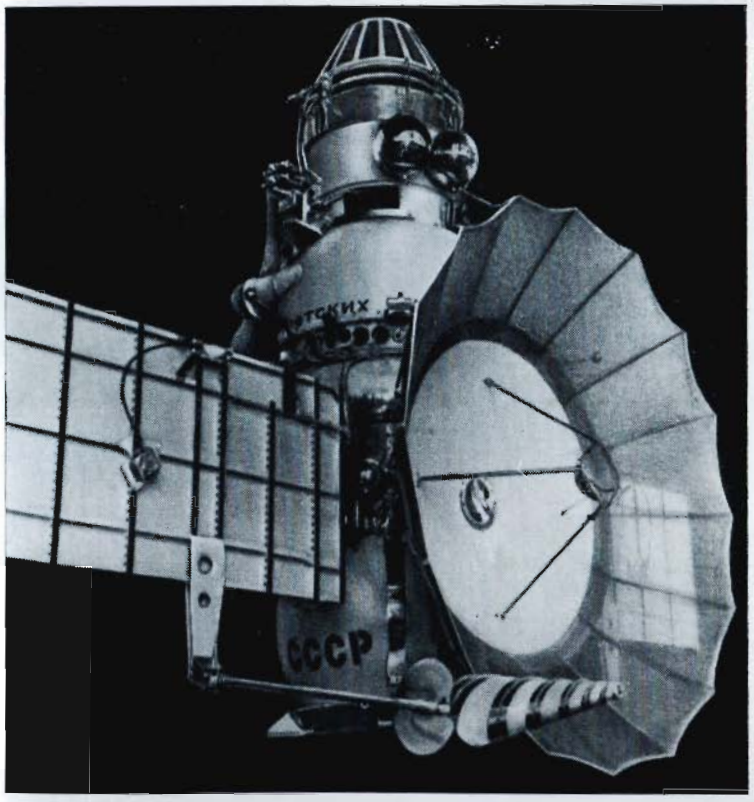


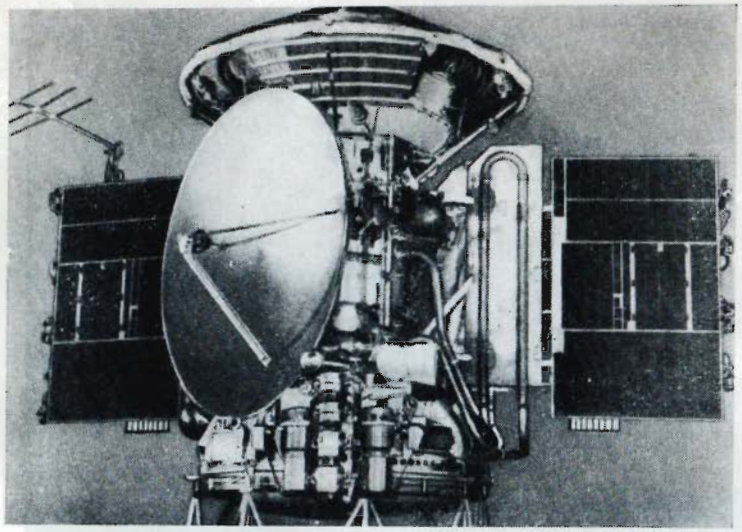
«Луноход-1»

Спускаемый аппарат станции «Венера-4»

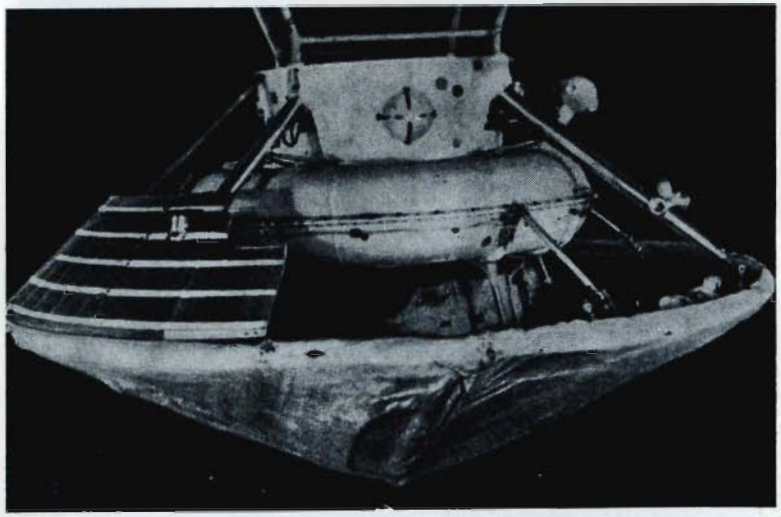



Автоматическая межпланетная станция «Венера-5»





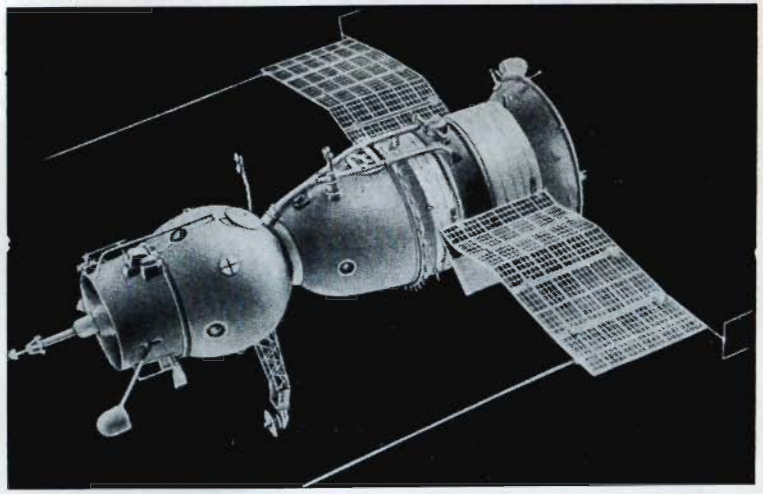
Автоматическая межпланетная станция «Марс-2»



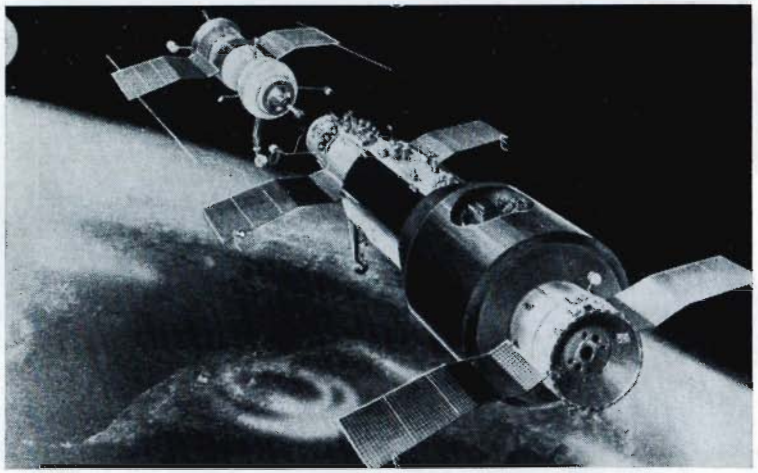
Спускаемый аппарат автоматической межпланетной станции «Марс-3»



Первый космонавт мира Ю. А. Гагарин



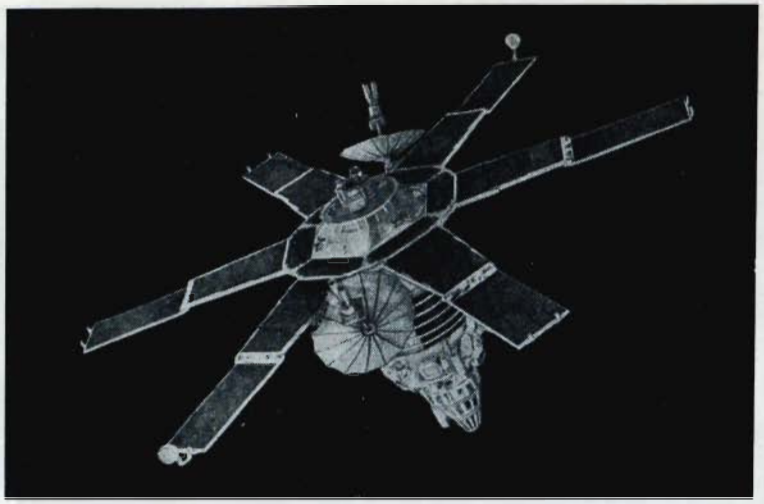
Космический корабль «Союз»



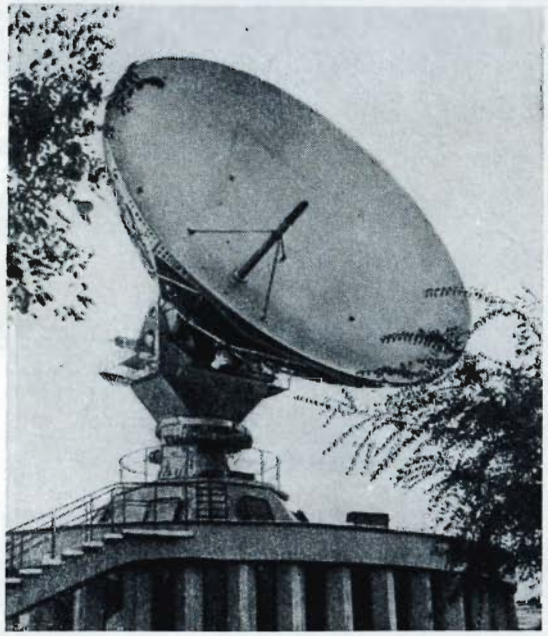
Орбитальная станция «Салют» и корабль «Союз» в полете



Космонавты А. Губарев и Г. Гречко в тренажере при подготовке к полету



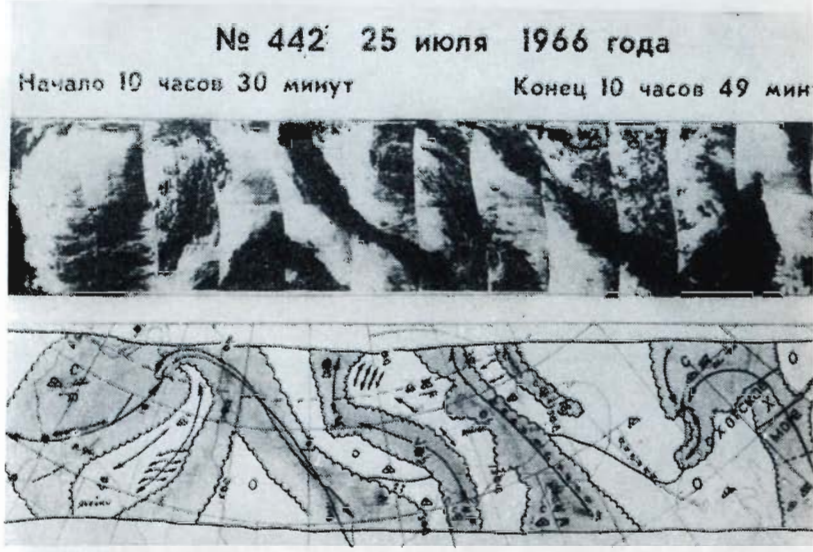
Спутник связи «Молния-1»



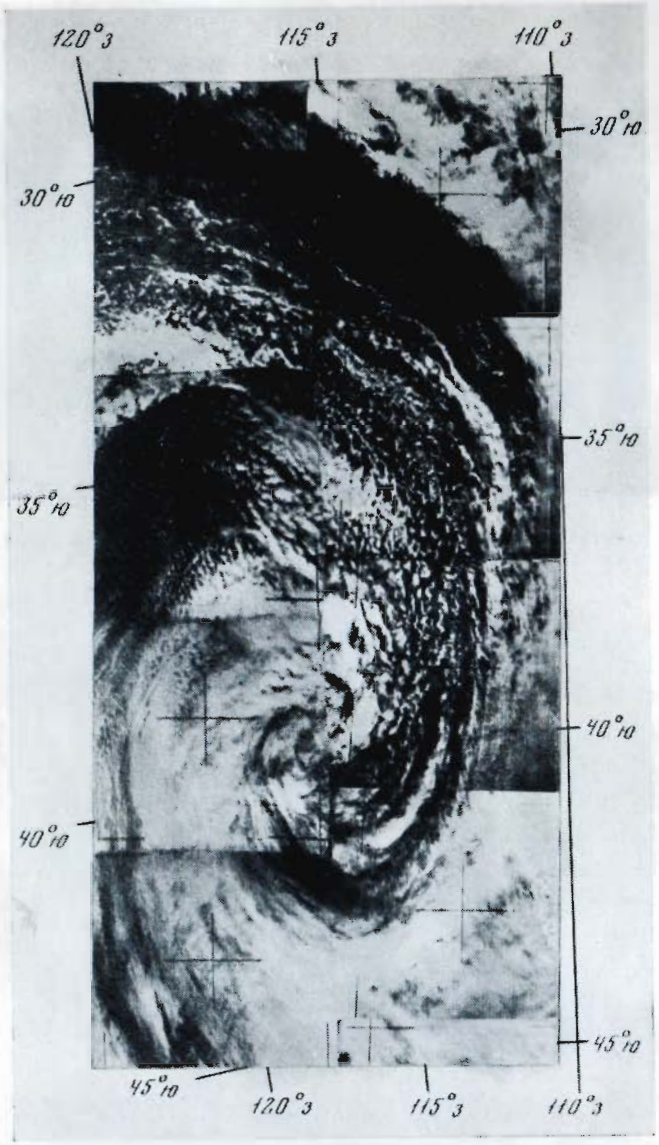
Наземная приемная станция «Орбита»



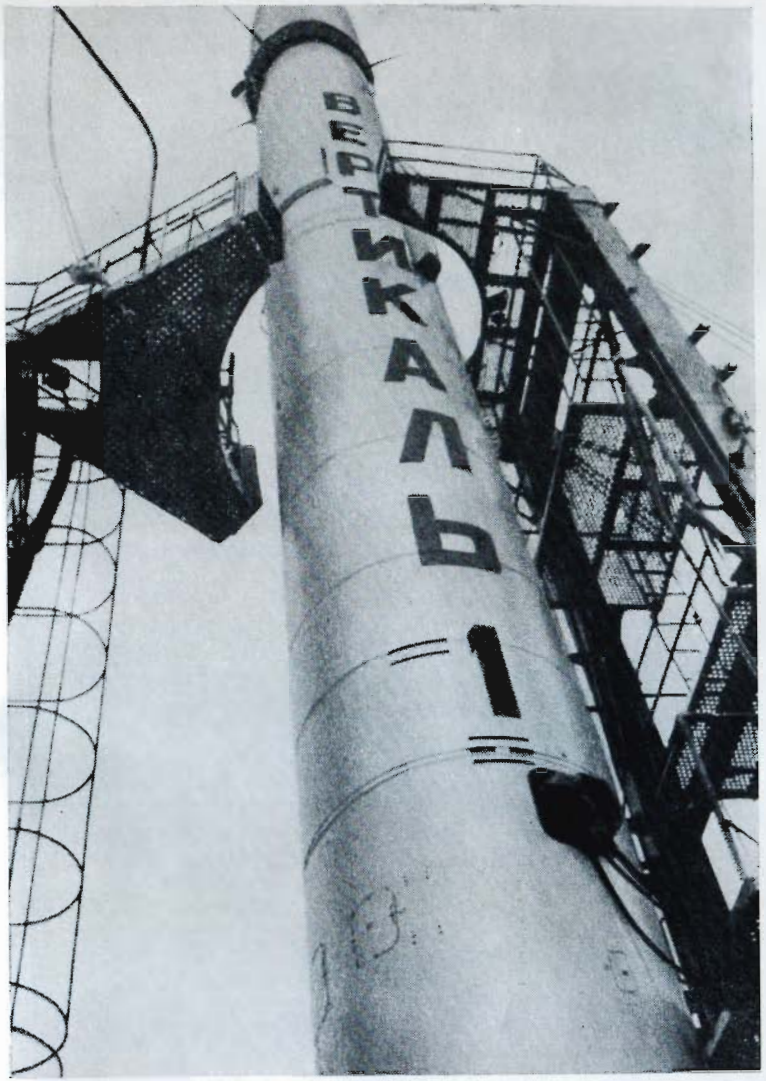
Метеорологический спутник серии «Метеор»



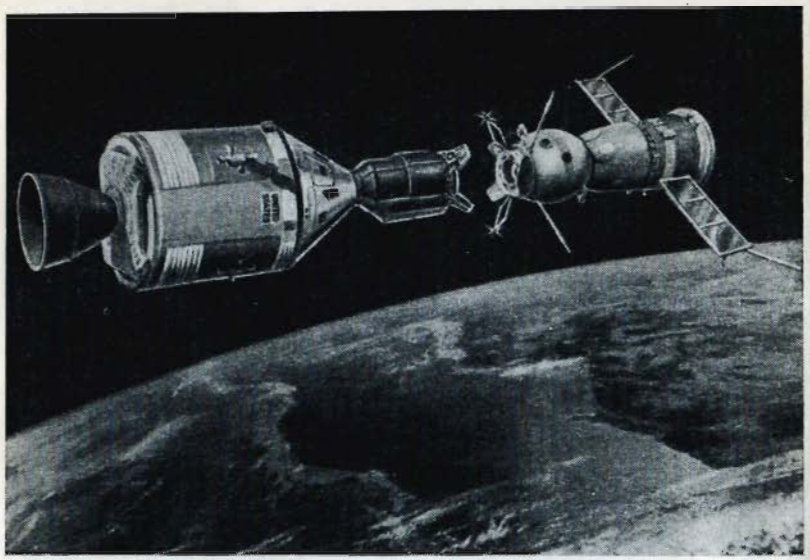

Пример анализа телевизионных снимков облачности, полученных с помощью спутников системы «Метеор»



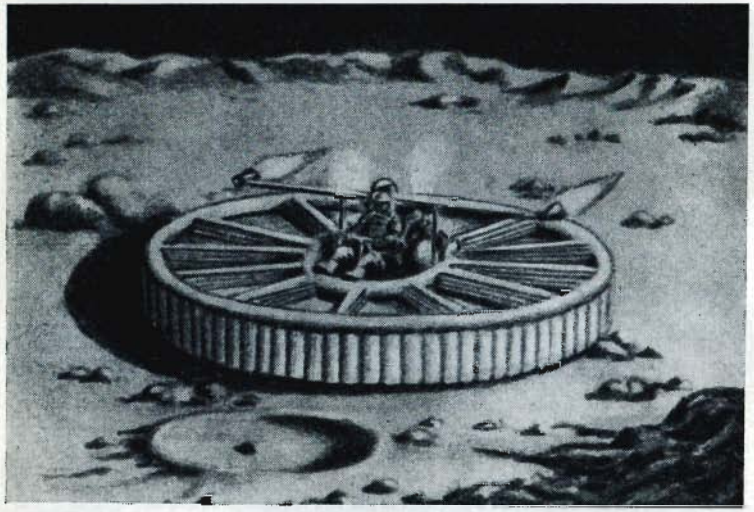

Снимок облачного вихря со спутника «Метеор» 15 апреля 1969 г.




Ракета «Вертикаль-1» на старте



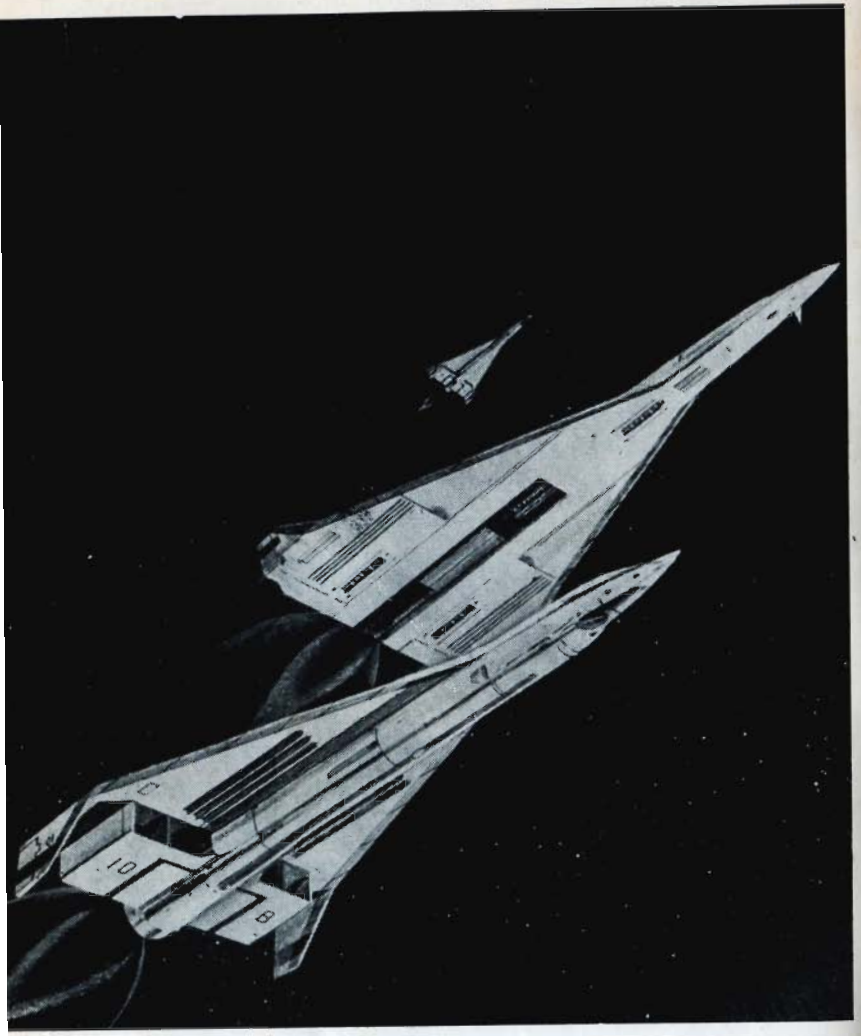
Корабли «Союз» и «Аполлон» в полете



Проект лунохода на воздушной подушке

Советский космонавт А. Леонов и американский астронавт Т. Стаффорд отрабатывают программу полета





Проект аэрокосмического самолета

найти рельеф поверхности. Например, трасса, проложенная «Марсом-3» 16 февраля, проходила сначала над районом Хеллеспонтус, высота которого 2—3 км над средним уровнем. Затем она достигала северо-восточного края светлой области Хеллас, и здесь рельеф быстро понижался (до 1 км ниже среднего уровня). Потом шел быстрый подъем в сторону темных областей Япигия и Сиртис Майор, где в самой высокой точке отмечалась высота около 3 км над средним уровнем. Высотный разрез показал в зоне темных областей ряд широких хребтов и долин. К северу от Сиртис Майор высота постепенно уменьшалась.

Когда советские спутники вышли на орбиты вокруг планеты, над Марсом бушевала пылевая буря. Вся планета была три месяца закрыта плотными облаками пыли, поднятой с поверхности. Измерения, проведенные в декабре, показали, что высота этих облаков составляет около 10 км над средним уровнем поверхности. Над более высокими областями слой облаков тоньше, над низкими — толще.

Пылевые бури на Марсе — мощное и пока еще загадочное явление. Обычно прозрачная атмосфера Марса вдруг в течение нескольких дней становится почти столь же непрозрачной, как облачная атмосфера Венеры. Считается, что в облаках марсианской атмосферы содержится значительная доля очень мелких пылевых частиц размером около 1 мкм. Такие частицы должны оседать очень медленно, что согласуется с общей продолжительностью пылевой бури. С другой стороны, снимки с «Маринера-9» показали быстрое увеличение прозрачности в конце декабря. Оно было неполным, но за 10 суток видимость существенно улучшилась. Чтобы это объяснить, надо предположить в облаках некоторую долю быстро оседающих частиц сравнительно большого (диаметром около 10 мкм) размера. Неоднократно наблюдались с помощью фотометров, установленных на «Марсах», облака, видимые в синих лучах (длина волны 0,36 мкм) и незаметные в красных лучах (0,7 мкм). Такие облака должны состоять из частиц размером много меньше 1 мкм.

В марсианских облаках в период бури, видимо, содержались частицы разных размеров, причем соотношение их менялось во времени. Многие данные указывают на увеличение прозрачности с длиной волны. Такие облака

должны охлаждать поверхность и увеличивать температуру атмосферы, что в действительности и наблюдалось. Создавался своего рода «антипарниковый эффект», противоположный ситуации на Венере.

Фотометр, рассчитанный на полосу поглощения водяного пара с длиной волны 1,4 мкм, показал, что ее интенсивность очень мала. Содержание водяного пара в течение всего периода исследований не превышало 5 мкм осажденной воды — в тысячи раз меньше, чем в земной атмосфере. Марс оказался более сухой планетой, чем считалось ранее, когда наземным наблюдателям удавалось обнаружить на нем до 50 мкм осажденной воды. Трудно было сказать, случайно совпал сухой период с пылевой бурей или имеется связь между этими событиями.

Два эксперимента на станциях «Марс-2» и «Марс-3» были предназначены для исследования верхней атмосферы планеты. С помощью ультрафиолетового фотометра регистрировалось солнечное излучение, рассеянное атомами водорода и кислорода в верхней атмосфере Марса на высотах от ста до нескольких десятков тысяч километров. В отличие от оптического комплекса, все приборы которого были обращены вниз, на планету, ультрафиолетовый фотометр в перицентре был направлен в горизонт, параллельно поверхности Марса. Он регистрировал излучение атомарного кислорода в трех близко расположенных линиях с длиной волны 0,13 мкм и излучение атомарного водорода с длиной волны 0,12 мкм.

По наблюдениям интенсивности в этих линиях были рассчитаны плотность рассеивающих атомов и их температура. Вблизи поверхности атмосфера Марса состоит в основном из углекислого газа, однако на высоте около 100 км под действием солнечного ультрафиолетового излучения он распадается на молекулу угарного газа и атом кислорода. Начиная с высоты 150 км атомарный кислород становится доминирующим газом. Такой же процесс распада водяного пара приводит к появлению атомов водорода, которые в 16 раз легче атомов кислорода. Вот почему выше 300—400 км атмосфера на Марсе становится в основном атомарно-водородной. Все же следы кислорода отмечались на всех витках орбиты вплоть до высоты 700—800 км, где его концентрация равна всего 100 атомам в кубическом сантиметре. Плотность более легкого водорода падала очень медленно, уменьшаясь от 10 тыс. атомов в кубическом сантиметре около поверхности планеты до 100 атомов и даже меньше на расстоянии в 10 тыс. км. Измерения на таких больших удалениях проводились в специальных сеансах на станции «Марс-3».



Что касается температуры верхней атмосферы, то с высоты около 100 км она начинала возрастать, достигая 600°С на высоте 200 км и оставаясь постоянной с дальнейшим подъемом. Примерно такая же картина наблюдается и в верхних атмосферах Земли и Венеры. Следует заметить, что верхняя атмосфера Марса больше похожа на верхнюю атмосферу Венеры, нежели на земную.

Второй эксперимент по исследованию атмосферы не требовал специальной аппаратуры и был основан на анализе сигналов сантиметрового радиопередатчика станций в момент захода спутников за диск Марса или выхода из-за диска. Особенно важен этот эксперимент для исследования ионосферы Марса, которая раз в десять менее плотна, чем ионосфера Земли. Кроме того, ионосфера на Марсе «прижата» к поверхности: максимум электронной плотности расположен на высоте 140 км (при 300 км для земной ионосферы).

На борту станций «Марс-2» и «Марс-3» был размещен комплекс из трех приборов, предназначенный для исследования магнитного поля и заряженных частиц в окрестностях Марса. Такие исследования в принципе могут позволить сделать вывод о строении недр Марса и в первую очередь о наличии или отсутствии у этой планеты металлического ядра.

Американская станция «Маринер-4» в 1965 г. не обнаружила собственного магнитного поля у Марса. Однако она пролетала тогда на расстоянии 9100 км от поверхности планеты. Станции же «Марс-2» и «Марс-3» пролетали на удалении всего 1500 км. С помощью чувствительных феррозондовых магнитометров, установленных на борту станций, вблизи планеты проводились измерения магнитного поля. В результате в ближайшей окрестности планеты было обнаружено магнитное поле порядка 30 гамм, что в 7—10 раз превышает межпланетное невозмущенное поле. При взаимодействии с планетой поле межпланетного происхождения может усиливаться, однако определенные особенности в пространственных характеристиках магнитного поля вблизи Марса позволили предположить, что оно принадлежит самой планете.

В 1973 г. были запущены еще четыре автоматических межпланетных станции — «Марс-4, -5, -6 и -7». Целью нового космического эксперимента были комплексные исследования планеты с пролетной траектории, с орбиты его искусственного спутника и непосредственно на планете. Для этого предусматривалось создание искусственного спутника Марса и доставка на поверхность планеты посадочного аппарата. Искусственный спутник Марса и посадочный аппарат позволяют сочетать глобальные обзорные исследования планеты с исследованиями в локальном районе. Однако в связи с тем, что астрономические условия запуска к Марсу в 1973 г. были менее благоприятны, чем в 1971 г., выведение на орбиту искусственного спутника и доставка на поверхность планеты посадочного аппарата должны были осуществляться разными космическими автоматическими станциями.

В ходе нового эксперимента были получены данные о рельефе поверхности Марса, температуре, теплопроводности, структуре и составе грунта, о химическом составе нижних слоев атмосферы, структуре ее верхних слоев. Следует сказать, что аналогичный, хотя и меньший по объему передаваемой информации, астрофизический комплекс работал на станции «Марс-3» и сопоставление результатов, полученных той и другой станциями, представляло большой интерес.

Одним из наиболее важных результатов, по-видимому, следует считать установление факта, что атмосфера Марса содержит несколько десятков процентов аргона. Вопрос о содержании аргона в марсианской атмосфере прямо связан с проблемой эволюции планеты. Сейчас рассматривается несколько возможностей: 1) Марс никогда не имел плотной атмосферы. В течение всей его геологической истории она была примерно такая же, как сейчас; 2) Марс имел плотную атмосферу и большое количество жидкой воды на поверхности сотни миллионов или миллиарды лет назад, а потом атмосфера стала более разреженной; 3) Марс «всего» несколько миллионов или даже несколько тысяч лет назад имел атмосферу, близкую по плотности к земной, а также воду на поверхности и через столь же короткое время может обрести ее вновь, причем такая перемена происходит в течение геологической истории планеты многократно с определенной периодичностью.



Третья возможность, крайне невероятная на первый взгляд, в последние годы приобрела серьезных сторонников. Почему? Во-первых, на Марсе обнаружены следы водной эрозии — сухие речные русла, возраст которых не превышает миллионов лет. Во-вторых, есть подозрение, что 99% марсианской атмосферы заморожено в полярных шапках, которые состоят из конденсированной углекислоты («сухой лед») и воды (обычный лед). Чтобы убедиться в этом, важно было доказать, что в целом газовыделение из марсианской коры идет с такой же скоростью, как и на Земле. И если содержание аргона в марсианской атмосфере достигает нескольких десятков процентов, то это серьезный довод в пользу такого предположения.

Огромную ценность для науки имеют снимки поверхности Марса, полученные с помощью американских межпланетных космических аппаратов.

Глава 5

# В КОСМОСЕ ЧЕЛОВЕК

## Первый — Ю. А. Гагарин

12 апреля 1961 г. советский космический корабль «Восток», пилотируемый летчиком-космонавтом Юрием Алексеевичем Гагариным, был выведен на орбиту спутника Земли. Облетев планету, он через 108 мин совершил благополучную посадку в заданном районе. Так, через три с половиной года после запуска первого советского искусственного спутника Земли, ознаменовавшего начало космической эры, в космос шагнул и человек.

Как известно, уже в 1958 г. советские ученые достигли больших успехов в запуске мощных ракет-носителей с искусственными спутниками Земли. Еще раньше была решена проблема возвращения высотных ракет, с помощью которых проводились биологические эксперименты и зондирование атмосферы. Макеты последних ступеней ракет-носителей грузоподъемностью до нескольких тонн, испытывавшихся в те годы, были приспособлены для прохождения плотных слоев атмосферы. Следовательно, если бы был задуман полет не по орбите, а по баллистической траектории, его можно было бы осуществить по крайней мере на год раньше. Однако при рассмотрении возможных вариантов первого полета человека было признано целесообразным осуществить его по орбите, поскольку именно такой полет непосредственно открывал человеку путь в космос.

Главным неизвестным в космическом полете в то время было влияние невесомости на организм человека. На ракете, летящей по баллистической траектории, можно создать невесомость продолжительностью лишь 2—4 мин. Поэтому получить качественно новые результаты по сравнению с полетами на самолетах было невозможно. Иное дело — полет по орбите спутника. Его минимальная продолжительность в условиях невесомости составляет 80—85 мин.



После первого облета Земли за один виток можно было при каждом последующем эксперименте увеличивать длительность полета, если только при этом не будут обнаружены какие-либо непредвиденные опасности, связанные с длительным пребыванием человека в условиях невесомости.

Конечно, для осуществления первого полета человека в космос пришлось преодолеть огромные технические трудности, связанные с созданием космического корабля, различных его агрегатов и аппаратуры, систем жизнеобеспечения.

Полету человека предшествовал запуск пяти кораблей-спутников. Основная цель этих запусков заключалась в отработке и проверке систем корабля, обеспечивающих безопасный полет человека, управление полетом, возвращение на Землю, а также в проведении физических исследований космического пространства, в том числе измерений доз проникающей радиации, данные о которых необходимо учитывать при полете человека.

Эксперименты, проводимые с помощью четвертого и пятого кораблей-спутников, были уже непосредственно репетицией перед полетом человека. Эти корабли выводились на ту же самую орбиту, которая предназначалась для корабля, пилотируемого человеком, той же была и длительность полета.

Главным итогом проведенных опытов явилось твердое убеждение, что созданные советскими учеными космические корабли и примененные на них системы обеспечения жизненных условий полностью гарантируют безопасность полета, сохранение здоровья и работоспособность космонавтов. Это позволило перейти к решающему этапу — выполнению первого полета человека в космическое пространство.

Ю. А. Гагарин, облетев земной шар, подтвердил тем самым возможность пилотируемых полетов в космос. Ему выпала честь первому в мире совершить космический полет, увидеть, почувствовать и исследовать то, к чему должны были готовиться последующие космонавты. Полет Гагарина показал, что человек может переносить все этапы кратковременного космического полета, сохраняя при этом работоспособность и активность. Было установлено, что полет не вызвал каких-либо функциональных изменений организма человека, которые выходили бы за рамки нормальной физиологической реакции на воздействие специфиче-

ских условий, связанных с опасностью, с риском для жизни.

Второй космонавт, Г. С. Титов, пробыл на орбите 25 ч 18 мин, выполнив 17 витков вокруг Земли. Основное отличие второго космического полета от первого состояло не только в том, что он был более длительным, но и в том, что он был более насыщенным научными исследованиями и наблюдениями.

Следующий этап — первый в мире групповой полет А. Г. Николаева и П. Р. Поповича. Этот рейс, продолжавшийся трое суток, значительно расширил наши знания в области пилотируемых полетов. Одновременно было решено несколько серьезных проблем: вывод на близлежащие орбиты двух кораблей с исключительной точностью, осуществление двусторонней связи в космосе, подтверждение работоспособности космонавта при продолжительном пребывании в состоянии невесомости, возможность проведения сравнительного анализа реакций двух космонавтов во время такого полета, практически одновременная посадка кораблей в заданном районе.

В полете космонавты периодически управляли кораблями, выполняли большую программу научных измерений. В программу входило и самонаблюдение с подробной записью результатов, выполнение специальных тестов, изучение особенностей пребывания и работы в условиях «свободного плавания». Эти исследования дали богатый материал и позволили улучшить подготовку полетов В. Ф. Быковского и В. В. Терешковой.

В. Ф. Быковский пробыл в состоянии невесомости 5 суток, и, хотя потом его рекорд был превзойден, можно утверждать, что именно этим полетом была доказана безопасность длительного пребывания человека в космосе. Дело в том, что четвертые-пятые сутки пребывания в состоянии невесомости характеризуются устойчивым уравновешиванием реакций организма, его адаптацией к новым условиям; к этому времени в основном заканчивается перестройка физиологических функций организма. Оставалась, однако, опасность возникновения неблагоприятных сдвигов в организме человека при полетах значительно большей продолжительности вследствие постепенного накопления изменений в функциях различных органов. Эту проблему еще предстояло тщательно изучить. Первый полет женщины-космонавта — В. В. Терешковой дал материал для выяснения особенностей реакции женского организма на воздействие специфических условий космического полета.



Научно-исследовательские возможности космических полетов особенно расширились после создания советскими учеными многоместного космического корабля и успешного рейса космонавтов В. М. Комарова, Б. Б. Егорова и К. П. Феоктистова. Задачи, которые предстояло решать исследователям космоса, были настолько сложны, что с ними трудно было справиться в одиночку. Полет трехместного корабля «Восход» можно рассматривать как прообраз космических экспедиций с участием ученых разных специальностей.

Качественно новым этапом в освоении космоса стал запуск космического корабля «Восход-2». В том полете космонавт А. А. Леонов вышел из корабля через специальное шлюзовое устройство и в течение 12 мин находился в открытом космическом пространстве, защищенный от него лишь оболочкой скафандра с автономной системой обеспечения жизненных функций. Таким образом было доказано, что космонавт, пользуясь специальным скафандром с автономной системой жизнеобеспечения, может покинуть корабль, свободно перемещаться в космическом пространстве и работать там.

### На орбите «Союз»

По мере увеличения продолжительности полетов в космос и усложнения задач, ставившихся перед ними, все большее значение приобретала проблема обеспечения здоровья и работоспособности экипажей космических кораблей. Для этого необходимо было более детально изучать механизмы действия факторов космического полета, разрабатывать средства устранения или ослабления их отрицательного влияния на организм человека, совершенствовать и создавать новые системы жизнеобеспечения и т. д. Все это потребовало создания новых типов многоцелевых пилотируемых космических кораблей, чтобы можно было решать широкий круг самых разнообразных задач в течение длительного космического полета. Таким аппаратом стал корабль «Союз».

К научным и техническим задачам, которые могут быть решены с помощью кораблей «Союз», относятся:

всесторонние исследования Земли и ее атмосферы с целью более успешного решения вопросов радиофизики, геофизики, космической навигации; изучение вопросов, связанных с использованием для научных и практических целей условий, господствующих в околоземном космическом пространстве (глубокий вакуум, невесомость, радиация); изучение Солнца, звезд, планет и их спутников.

Способность корабля «Союз» совершать управляемое движение в космическом пространстве, сближаться с другим космическим аппаратом и производить маневры в непосредственной близости от него имеет большое значение для решения таких важных задач, как стыковка и создание в космосе научных станций из нескольких автономных частей.

При разработке корабля «Союз» особое внимание обращалось на создание наиболее благоприятных условий для работы и жизни космонавтов на всех этапах полета.

Более 60 лет назад К. Э. Циолковский в работе «Исследование мировых пространств реактивными приборами» писал: «Мы можем достигнуть завоевания солнечной системы очень доступной тактикой. Решим сначала легчайшую задачу: устроить эфирное поселение поблизости Земли, в качестве ее спутника, на расстоянии 1—2 тыс. км от поверхности, вне атмосферы... Основательно устроившись тут и получив надежную и безопасную базу, освоившись с жизнью в эфире..., мы уже более легким путем будем изменять свою скорость, удаляться от Земли к Солнцу ...» *

Создание космического корабля «Союз» — закономерное продолжение развития космической техники, ведущее к осуществлению предвидения великого ученого. «Союз» является одновременно прообразом и орбитальных станций, и транспортных кораблей, которые будут совершать регулярные рейсы между станцией и Землей для смены экипажа и доставки необходимых грузов.

Полетами Г. Т. Берегового, а затем В. А. Шаталова, Б. В. Волынова, А. С. Елисеева и Е. В. Хрунова было положено начало решению вопросов, связанных с созданием орбитальных научных станций. Первая экспериментальная космическая станция была создана 16 января 1969 г. путем стыковки на орбите кораблей «Союз-4» и «Союз-5». Полет этих кораблей стал практической отработкой целого комплекса операций по созданию и эксплуатации орбитальных станций.

Сближение и стыковка кораблей — это решение задачи сборки орбитальных станций из отдельных самостоятельных блоков, поочередно выводимых на орбиту. Переход космонавтов из одного корабля в другой — это решение проблемы смены экипажей и доставки грузов на орбитальные станции, а также спасения космонавтов в аварийных ситуациях. Космонавтами выполнялись монтажно-демонтажные работы в открытом космосе. Был проведен большой объем научных исследований, экспериментов и наблюдений.

11, 12 и 13 октября 1969 г. в Советском Союзе впервые одновременно были выведены на околоземную орбиту для совместного полета три космических корабля, «Союз-6», «Союз-7» и «Союз-8», с экипажами на борту: командир корабля «Союз-6» Г. С. Шонин, бортинженер В. Н. Кубасов; командир корабля «Союз-7» А. В. Филипченко, бортинженер В. Н. Волков, инженер-исследователь В. В. Горбатко; командир корабля «Союз-8» В. А. Шаталов, бортинженер А. С. Елисеев. Общая продолжительность этого эксперимента составила 7 суток. Основная цель обширной программы выполненных в ходе полета научных исследований заключалась в определении путей использования пилотируемых орбитальных космических кораблей для нужд народного хозяйства.

Большое значение в развитии пилотируемых полетов имел запуск космического корабля «Союз-9», состоявшийся 1 июня 1970 г. А. Г. Николаев и В. И. Севастьянов находились в космическом полете 424 ч. Эксперимент такой продолжительности с активной деятельностью человека в условиях космического полета проводился в то время впервые. Но это был не просто рекорд. Ученым необходимо было выяснить реальные возможности пребывания человека в условиях невесомости в течение длительного времени. В этом отношении 18-суточный полет «Союза-9» имел большое научное и практическое значение.

---

* *Циолковский К. Э.* Собр. соч., т. 2. М., Изд-во АН СССР, 1951, с. 250.

## Орбитальная научная станция «Салют»

Следующим этапом советских космических исследований были создание и запуск на орбиту станции «Салют» — многоцелевой орбитальной научной станции, способной решать широкий круг задач в околоземном космическом пространстве. Созданию станции и подготовки ее к запуску во многом способствовал опыт разработки и испытаний пилотируемых космических кораблей серии «Союз».

Во время полета долговременной орбитальной научной станции «Салют» предстояло решить две основные задачи: исследование возможности длительного пребывания человека в космосе и проведение широкой программы научных экспериментов.

Для решения первой из этих задач предусматривалась большая программа медико-биологических экспериментов с участием членов экипажа станции. Был разработан комплекс средств, обеспечивающих всестороннюю физическую тренировку космонавтов в полете, так как физическая нагрузка позволяет в определенной степени компенсировать отсутствие силы тяжести при длительном пребывании человека в невесомости и создает условия для ускоренной реадаптации организма после возвращения на Землю.

Для решения второй задачи потребовалось разместить в отсеках станции большое количество научных приборов и инструментов, общая масса которых превысила 1200 кг.

При проектировании станции имелось также в виду, что выполнение насыщенной программы научно-технических экспериментов и испытания бортовых систем и агрегатов в сложных условиях длительного космического полета дадут первый опыт эксплуатации космических аппаратов нового типа — обитаемых орбитальных станций.

Перед разработчиками станции «Салют» была поставлена задача создания длительно действующей в космосе научной лаборатории со сменяемыми экипажами. Для доставки и возвращения экипажей, транспортировки отдельных элементов оборудования, объектов и результатов исследования предусматривалось использование космических кораблей серии «Союз».

При создании «Салюта» планировалось проведение научных исследований на его борту как в пилотируемом режиме, когда транспортный корабль состыкован с орбитальным блоком станции и экипаж находится в ее помещениях, так и во время полета орбитального блока станции в автоматическом режиме без экипажа.



Согласно проекту часть результатов наблюдений, проведенных на станции, должна передаваться на Землю радиотелеметрической системой, другую часть предусматривалось доставлять в транспортном космическом корабле. Таким образом обеспечивалась возможность перевозки с орбиты на Землю отснятых фото- и киноматериалов, фотоэмульсионных блоков, контейнеров с биологическими объектами, бортовых журналов с научными наблюдениями космонавтов.

В комплекс орбитальной станции, созданной на околоземной орбите 7 июня 1971 г., входили: орбитальный блок, выводимый на орбиту без экипажа, и транспортный корабль с экипажем, стыкуемый на орбите с орбитальным блоком. В составе первого экипажа были командир Г. Т. Добровольский, бортинженер В. Н. Волков и инженер-испытатель В. И. Пацаев, работавшие на станции в течение 23 суток.

Общая масса станции после стыковки составляла 25,6 т, в том числе масса орбитального блока после выведения на орбиту — 18,9 т, масса транспортного корабля на орбите — 6,7 т. На борту станции размещалось свыше 1,3 тыс. отдельных приборов и агрегатов. Геометрические характеристики станции: общая длина в состыкованном состоянии 23 м, длина орбитального блока 16 м, максимальный диаметр орбитального блока 4,15 м, максимальный поперечный размер станции при раскрытых солнечных батареях 11 м. Для выполнения научных экспериментов, визуального наблюдения, фото- и киносъемки в отсеках станции предусмотрено 27 иллюминаторов.

Для перехода экипажа из транспортного корабля в орбитальный блок и обратно служит стыковочный узел. После стыковки экипаж может работать и отдыхать как в отсеках станции, так и в помещении транспортного корабля, осуществляя переход непосредственно через стыковочный узел без выхода в открытый космос.

На станции «Салют» впервые предусмотрена возможность ремонта и замены аппаратуры и оборудования в полете силами экипажа. Размещение и компоновка оборудования и приборов выполнены с учетом возможности доступа к ним в случае каких-либо повреждений или неисправностей. На борту станции находятся набор инстру-

ментов, приспособлений и некоторые запасные агрегаты.

Результаты научных и технических исследований, выполненных на станции «Салют», весьма обширны. Видное место в них занимают: медико-биологические исследования, астрофизические наблюдения, а также комплексный фотографический эксперимент, который принадлежит к одному из наиболее актуальных направлений прикладного использования космонавтики — исследованию окружающей среды и природных ресурсов Земли. Полученные материалы наглядно свидетельствуют о высокой эффективности космического фотографирования для решения многих научных и народнохозяйственных задач.

Большой интерес представляют: первый опыт внеатмосферных астрономических исследований с помощью управляемого космонавтами звездного телескопа «Орион», исследование космических лучей с использованием фотоэмульсионного блока, доставленного затем на Землю в транспортном корабле, ряд научно-технических экспериментов по отработке в натурных условиях систем и агрегатов, необходимых для конструирования космических аппаратов.

Особая роль медико-биологических исследований, проведенных на борту «Салюта», определяется принципиальным значением для развития космонавтики обеспечения длительного пребывания человека в условиях космического полета. На станции впервые был опробован комплекс средств для компенсации недостатка физической нагрузки на организм космонавтов в условиях невесомости, включающий бегущую дорожку, нагрузочные костюмы и некоторые другие элементы. Выполненные космонавтами биологические эксперименты были направлены на решение ряда вопросов, связанных с созданием замкнутых экологических систем жизнеобеспечения для космических кораблей будущего.

Первый полет станции «Салют» внес большой вклад в развитие и совершенствование космической техники, явился первым в мировой космонавтике опытом создания долговременных орбитальных станций, наглядно показал их большие возможности в качестве многоцелевых космических лабораторий, способных обеспечить решение многих актуальных задач в интересах человечества.

В декабре 1974 г. на орбиту была выведена станция «Салют-4». На 268-м витке после двух недель полета станции с ней был состыкован «Союз-17», и космонавты А. А. Губарев и Г. М. Гречко перешли в помещение станции. За месяц полета экипаж выполнил большой объем исследований и экспериментов. По завершении работы космонавты перевели в режим консервации некоторые научные приборы и часть служебных систем, в том числе систему обеспечения жизнедеятельности. Станция снова стала работать автономно. Так продолжалось три с половиной месяца. Затем более двух месяцев на борту станции работал второй экипаж — П. И. Климук и В. И. Севастьянов. В течение всего времени системы станции функционировали безотказно, исследования велись по заданной программе. Был выполнен значительный объем научных исследований. Сюда относится проведение медико-биологических, технических, а также большого комплекса космофизических экспериментов, предназначенных для решения многих вопросов астрофизики, солнечно-земных связей, геофизики, исследования природных ресурсов Земли.

Целесообразность реализации тех или иных космофизических исследований на орбитальной станции «Салют-4» была всесторонне обсуждена учеными. При этом учитывалась как важность и значимость эксперимента, так и возможность его надежного приборного обеспечения.

Было выбрано свыше ста различных экспериментов, все они имеют большое значение для различных областей науки, техники, народного хозяйства. «Салют», в частности,— прекрасно оборудованная астрономическая обсерватория, оснащенная аппаратурой, способной воспринимать почти весь спектр электромагнитных излучений. Значительное внимание уделялось изучению ультрафиолетового излучения Солнца с помощью орбитального солнечного телескопа и дифракционного спектрометра, проведению астрономических наблюдений в рентгеновской области спектра. Были получены десятки солнечных спектров в основном от областей вспышек на нашем светиле. Полученный материал представляет возможность изучить распределение температур, состояние ионизации и возбуждения атомов, другие физические характеристики этих важных и интересных образований на солнечной поверхности. Космонавтам помогали ученые наземных астрономических обсерваторий. Они давали рекомендации по выбору объектов наблюдений, режиму работы бортовой аппаратуры.

Исследования по рентгеновской астрономии на борту станции «Салют-4» проводились с помощью двух рентгеновских телескопов — «Филин» и «РТ-4».

«Филин» предназначался для исследования рентгеновского излучения в области длин волн от 1 до примерно 60 Å. Оно регистрировалось четырьмя детекторами. В телескопе имелся спектрометр с восемью энергетическими каналами для анализа регистрируемого излучения. Чувствительность телескопа достигала примерно 0,01 кванта на 1 см²/с, т. е. практически была достаточна для изучения всех известных источников рентгеновского излучения.

Привязку оптической оси телескопа к звездному небу обеспечивали два звездных фотометра, регистрировавших излучение звезд в синей и желтой областях спектра.

Особенную ценность представляет информация, полученная от рентгеновского источника в созвездии Лебедь. Этот источник находится в двойной системе, состоящей из массивной нормальной звезды и невидимого в оптических лучах объекта, масса которого близка к девяти массам Солнца. Возможно, это «черная дыра». О полной энергетике ее говорит тот факт, что светимость этого рентгеновского источника в 10 тыс. раз выше Солнца.

Экспериментальное исследование подобных объектов обогащает знания об эволюции звезд и о фундаментальных свойствах пространства и времени — основных законах природы. В окрестностях «черных дыр» физические условия настолько необычны, что могут быть обнаружены совершенно новые явления, не воспроизводимые в земных условиях.

В задачу экспериментов с «РТ-4» входило исследование излучений в мягкой рентгеновской области. Дело в том, что мягкое излучение сильно поглощается пленкой входного окна счетчика. Существует, однако, другой путь — собирать рентгеновское излучение специальной оптикой и направлять его на маленький счетчик фотонов. Собирающей оптикой могут служить очень вытянутые параболические зеркала. Они являются также прекрасным фильтром, не пропускающим жесткое рентгеновское излучение.

Космонавты А. А. Губарев и Г. М. Гречко наблюдали два остатка «сверхновых»: один — в созвездии Парус, другой — в созвездии Корма. Наблюдались также максимально яркие из обычных звезд. П. И. Климук и В. И. Севастьянов основное внимание уделяли звездам менее ярким,



но обладающим рядом специфических особенностей, в частности нерегулярно вспыхивающим звездам.

В ходе эксперимента список объектов наблюдений изменялся на основе данных наземных обсерваторий об активности звезд. Кроме того, в процессе анализа собранной информации иногда возникала необходимость получать какие-то дополнительные данные, перепроверить результаты предыдущих наблюдений. И тогда космонавтам давалось скорректированное задание.

Для грубого наведения оси телескопа на исследуемый источник экипаж сперва ориентировал станцию в пространстве, а затем поддерживал заданную ориентацию в течение всего сеанса наблюдений. Для дальнейшей тонкой наводки сам телескоп был снабжен специальной системой управления и астроориентации.

Среди геофизических исследований, выполненных на «Салюте-4», прежде всего следует назвать эксперименты «Спектр» и «Эмиссия».

В задачу «Спектра» входило измерение параметров верхней атмосферы — плотности, состава, температуры, изучение взаимодействия окружающей среды с летательным аппаратом.

При полете космических аппаратов неоднократно отмечалось появление на их корпусе потенциала относительно окружающей его плазмы — аппарат как бы заряжался электрически. Для истолкования измерений, проводимых на спутнике, и нормального функционирования бортовых систем весьма важно знать величину этого потенциала. Положительно (или отрицательно) заряженный корпус будет отталкивать (или притягивать) ионы и, следовательно, занижать (или завышать) измеряемые ионные концентрации. Установив закономерности появления и величину потенциала, легко учесть ошибки, вносимые им в измерения, и обеспечить высокую работоспособность некоторых бортовых систем.

Одна из задач космических исследований — выяснение особенностей взаимодействия частиц разреженной атмосферы со спутниками. Поверхность станции «Салют-4», например, непрерывно бомбардировалась такими частицами. Отдельный удар, сопровождающийся отскоком (отражением) атома или молекулы, не может дать ощутимых результатов, но непрерывные удары приводят к торможению космических аппаратов разреженной атмосферой.

В одних случаях это торможение ограничивает время существования аппаратов на орбите, требуя значительных затрат энергии для компенсации его действия. В других — оказывается полезным и используется при возвращении дальних космических зондов на Землю и при их посадке на планеты. Ясно, что для точного расчета торможения необходимо хорошо знать закономерности таких столкновений частиц с поверхностью аппаратов. Это особенно важно при разработке ракетно-космических систем многоразового использования.

Многочисленные попытки исследовать в лаборатории воздействие разреженной атмосферы на движение спутника (подобно тому, как модели самолетов продувают в аэродинамических трубах) наталкивались на непреодолимые трудности. Главная из них связана с необходимостью создавать потоки со скоростями, достигающими 30 тыс. км/ч и выше. Другая обусловлена резким отличием состава верхней атмосферы от приземной и ее изменчивостью. Оставалось перенести исследования на борт самого космического аппарата, чтобы изучать процесс столкновения нейтральных частиц с его обшивкой.

Эксперимент заключался в том, чтобы формировать пучки атмосферных частиц, направлять их под разными углами на мишень и измерять характеристики отраженной от нее струи.

Аппаратура, с которой выполнялся эксперимент, состояла из двух подсистем: для анализа частиц набегающего потока и разлетающихся после столкновения с мишенью. Сюда входили анализаторы, электронные блоки и специальное электромеханическое устройство, обеспечивающее измерение пространственного распределения частиц, отлетающих от мишени. Измерение энергий частиц невозмущенной атмосферы проводилось неподвижным анализатором, продольная ось которого совпадала с направлением движения станции. Здесь использовался метод изменения задерживающего напряжения на сетке анализатора.

Диапазон возможных энергий был разбит на ряд участков. Потоки частиц последовательно измерялись в каждом из них. Эти данные позволяли определить спектр энергий частиц набегающего потока. Работа велась попеременно то с ионами, то с нейтральными частицами (предварительно ионизуемыми в анализаторе). Таким образом,



независимо измерялись основные физические характеристики ионной и нейтральной компонент атмосферы и возникала возможность надежно определять величины и изменения как температуры этих компонент, так и потенциала корабля относительно окружающей ионосферной плазмы.

К особенностям эксперимента «Спектр» относится и то, что он позволял практически одновременно изучать одним прибором характеристики нейтральной и ионной компонент атмосферы. Высокая частота (1 раз в 1 с) измерений давала возможность обнаружить мелкомасштабные неоднородности структуры верхней атмосферы. Длительные непрерывные измерения создавали предпосылки обнаружения крупномасштабных неоднородностей. А исследования с отраженными частицами вообще ставились впервые. Эксперимент «Спектр» принес новую информацию, которая прежде была недоступна исследователям.

Эксперимент «Эмиссия» также был связан с изучением верхних слоев атмосферы, в первую очередь планетарного распределения их температуры и ее изменений во время магнитных бурь.

О температуре газа удобнее всего судить по ширине его спектральных линий, связанной со скоростями излучающих атомов. Для измерения температуры верхней атмосферы наиболее удобной оказалась красная линия атомарного кислорода. Интенсивность ее свечения над поверхностью планеты неравномерна. Она сильнее в полярных областях, но отдельные яркие пятна появляются и на низких широтах, особенно в зоне повышения концентрации электронов вблизи экватора. Свечение красной линии усиливается во время магнитных бурь. По его интенсивности можно проследить, как после магнитной бури от полярных широт к экватору распространяются волнообразные колебания верхней атмосферы, охватывающие тысячи километров.

Большой интерес представляет расположение полос усиления интенсивности в области экваториальной ионосферной аномалии, которая сильно воздействует на распространение радиоволн, на радиосвязь между Северным и Южным полушариями. Знать, как распределяются температура и интенсивность свечения верхней атмосферы, важно для управления пилотируемыми космическими кораблями.

Измерения интенсивности и ширины красной линии проводились с поверхности Земли в течение многих лет. Оптические наблюдения со спутников заметно расширили их диапазон. До полета станции «Салют-4» наука располагала данными о планетарном распределении температуры верхней атмосферы и ее изменениях во время магнитных бурь в период максимума солнечной активности. В период минимума, т. е. когда летала станция «Салют-4», атмосфера значительно холоднее и ее разогрев во время магнитных бурь протекает в иных условиях. Вот почему важно было продолжить подобные измерения с тем, чтобы выяснить размах колебаний в распределении температуры верхней атмосферы при относительно слабом притоке энергии от Солнца. С этой целью и ставился эксперимент «Эмиссия».

Измерительная аппаратура состояла из фотоэлектрического фотометра для определения интенсивности красной линии и интерферометра со сферическими кварцевыми пластинами, измеряющими ее ширину. На пластины были нанесены многослойные диэлектрические покрытия. Одна из них неподвижна, другая укреплялась на пьезоэлектрической керамике, на которую подавалось переменное напряжение, меняющее расстояние между пластинами. При этом менялась длина волны пропускаемого интерферометром света, что позволяло зарегистрировать контур линии и определить ее ширину. Перед началом измерений космонавты устанавливали прибор на иллюминатор и наводили его на излучающий слой.

Тонкая экспериментальная техника предполагала тщательную настройку и проверку характеристик интерферометра. Отладка этой аппаратуры на Земле проводилась с помощью лазера. В полете для контроля настройки служил бортовой оптический стандарт, излучавший линии с заданными характеристиками. Проверка аппаратуры с помощью этого стандарта, а также наведение прибора на области свечения, особенно во время магнитных бурь, требовали участия космонавтов.

Перед экипажем орбитальной станции «Салют-4» стояла также задача наблюдения и фотографирования земной поверхности и океана в интересах науки и народного хозяйства. В итоге на Землю было доставлено большое количество черно-белых, цветных и спектрозональных фотографий с различным разрешением. Фотографированием



были охвачены многие миллионы квадратных километров различных районов нашей страны.

Полет станции «Салют-4» еще раз со всей убедительностью показал перспективность магистрального пути развития космонавтики — создания орбитальных станций, которые имеют не только огромное научное, но и все большее практическое значение, способствуя решению важнейших экономических, экологических и других задач, стоящих перед человечеством.

На первый взгляд может показаться странным, что в век высокоразвитой техники, автоматики и телемеханики на борту космического аппарата должен находиться человек. Тем более что автоматы довольно убедительно продемонстрировали свои достоинства, а часто и преимущества. Не секрет, что изучение космического пространства связано с большой затратой средств. И в этом отношении автоматические аппараты значительно выгоднее, особенно для изучения Луны и планет Солнечной системы. Насыщенные разнообразной научной аппаратурой, они позволяют получить и затем передать на Землю по радиотелеметрическим и телевизионным каналам большой объем информации об этих районах и протекающих там физических процессах. В нашей стране были созданы автоматические аппараты возвращаемого типа, которые способны доставить результаты измерений на Землю для последующей их обработки.

Когда же в полезную нагрузку космических объектов включается вес не только самого человека, но и всех систем жизнеобеспечения, рамки научной программы неизбежно сужаются, ограничивается количество собственно исследовательских приборов. К этим рассуждениям всегда примешиваются и соображения о случайной опасности, подстерегающей человека в космосе.

Однако все это еще не означает, что можно вообще в космических полетах обойтись без человека.

Основная задача, связанная с проникновением в космос, по крайней мере на ближайшее будущее, состоит во все более глубоком познании окружающего нас мира. Уже сейчас космическое пространство превратилось в важную лабораторию современной науки, где можно подробно исследовать различные процессы и явления, в том числе еще не известные ученым. Но это означает, что по мере проникновения в космос исследователи неизбежно

будут все чаще сталкиваться с проблемами, которые не сформулируешь заранее, и потому, чтобы решать их, требуется всякий раз принципиально новый подход. В этом отношении человек обладает уникальными возможностями.

Не следует забывать и о подсознательной деятельности человеческого мозга, об интуиции, которая лежит за пределами возможностей кибернетических машин. А ведь и подсознательное, и интуиция играют чрезвычайно важную роль в процессе научного исследования природы. Только человек может эффективно исследовать неизвестное. Он обладает уникальными способностями не только наблюдать, но также накапливать и анализировать полученную информацию, хранить ее в памяти и использовать для немедленного принятия правильного решения в непредвиденных обстоятельствах. Ни одна сделанная руками человека машина не в состоянии пока выполнить это.

Современные автоматы не могут исследовать то, что принципиально не сводимо к уже достигнутому знанию. Они способны изучать лишь такие процессы и явления, которые в основных чертах уже знакомы человеку. Правда, в последнее время ученые ведут большую работу по созданию так называемых эвристических программ для электронно-вычислительных машин. Подробные программы разрабатываются на основе обобщения исследовательской деятельности людей. В идеале машина, вооруженная эвристической программой, должна самостоятельно осуществлять процесс научного исследования в той или иной области. Однако реальные возможности таких программ пока еще сравнительно невелики.

Обратимся к конкретным примерам. Возьмем, например, проблему исследования солнечных вспышек, играющую первостепенную роль в прогнозировании радиационной безопасности космических полетов. Сейчас эти исследования проводятся с помощью автоматических приборов. Обычно наведение автомата осуществляется по оптическому центру вспышки, которая часто имеет весьма причудливую и неопределенную форму и может выпасть из поля зрения прибора. Иногда в разных районах Солнца возникают одновременно 2—3 вспышки. Автомат зарегистрирует нечто усредненное, и информация будет неточной. Космонавт же на основании личного опыта и творческой инициативы может внести оперативное изменение в программу исследований, дать значительно более полную картину оптического наблюдения, определить участок зарождения вспышки, изучить сопутствующие явления и т. п.



Следует также отметить особую роль космонавта-ученого при исследовании кратковременных нерегулярных процессов в космосе. При наблюдении их только автоматами многие данные могут быть затеряны среди долговременной информации. Специалист же не только обратит на них внимание, но и уловит сопутствующие явления в комплексе исследований.

Даже обычные визуальные наблюдения из космоса обладают исключительными достоинствами. Работников сельского хозяйства, например, интересует состояние почвы в предпосевной период, ее влажность, температура — и все это на гигантских территориях. Мореходов интересует состояние поверхности океана, его волнение, рыбаков — наличие рыбы в том или ином районе. Причем информация должна быть оперативной, особенно если это касается данных о различных стихийных явлениях. И в этом отношении присутствие на борту корабля специалиста неоценимо. Он не только мгновенно оценит ситуацию, но и сделает квалифицированные выводы о развитии того или иного метеорологического процесса, даст штормовое предупреждение и т. д.

Космонавт-ученый может внести оперативные изменения в программу исследований с точки зрения выбора изучаемых объектов. Используя разнообразную и достаточно сложную аппаратуру, он даст значительно более полную картину оптического наблюдения. Для пояснения приведем такой пример из области метеорологии.

Одна из фундаментальных проблем, стоящих перед наукой,— энергетика Земли, т. е. приход и расход тепла нашей планеты. Ученых интересует, сколько солнечной радиации поглощается в разных частях земного шара, как она распределяется по земной поверхности, сколько энергии Земля отдает в космос.

Это та информация, в которой крайне нуждаются метеорологи, поскольку именно приход и расход энергии определяют изменения погоды и климата по всему земному шару. Главный же барьер для теплоотдачи — облачный покров планеты. Поэтому необходимо тщательное изучение оптических свойств разных его форм. Ежедневно

огромное количество информации в виде телевизионных и инфракрасных изображений облачного покрова доставляют нам спутники системы «Метеор». Однако не все формы облаков могут быть четко зафиксированы на этих снимках. Так, почти не удается заметить на них перистые облака и совсем не фиксируются серебристые облака. Эта задача под силу только квалифицированному наблюдателю, находящемуся на борту космического аппарата.

Исследования последних лет показали, что очень существенное влияние на погоду и климат оказывают аэрозоли — мельчайшие частицы как земного, так и космического происхождения, плавающие в атмосфере. Один из наиболее перспективных методов определения пространственного распределения аэрозоля по высоте, а также его оптических характеристик — наблюдение и анализ сумеречного ореола атмосферы. Решение такой задачи с помощью автоматов пока затруднительно. Здесь также необходим человек.

Присутствие на борту космического аппарата космонавта важно для метеорологов и еще по одной причине. В настоящее время ученые подошли к такому этапу развития исследований процессов, определяющих погоду и климат на Земле, когда можно при помощи измерений, проводимых со спутников, определять количественные метеорологические параметры атмосферы. Такими параметрами в первую очередь являются температура и влажность воздуха. Следует заметить, что количественный прогноз — самый точный и, следовательно, самый перспективный. С помощью электронных вычислительных машин можно предсказать, как будет изменяться атмосфера при этих начальных данных. Естественно, что измерения со спутников при этом носят косвенный характер, поскольку они летают на высоте нескольких сот километров. Нас же интересует слой атмосферы толщиной всего около 30 км, где «варится» погода. Ситуация, аналогичная существующей в астрофизике. Все, что мы знаем о Солнце, звездах, получено по данным изучения их излучений. Благодаря успехам ракетно-космической техники стало возможным поднять исследовательскую аппаратуру в космос. Измеряя там излучения Земли в разных областях спектра, ученые находят, в частности, интересующие их параметры.

Конечно, это очень сложная задача. Например, одной



величине излучения могут соответствовать разные распределения температуры по высоте. А даже малые ошибки в измеренной величине ведут к большим ошибкам в итоговых результатах. Поэтому для получения таких экспериментальных данных нужна весьма сложная аппаратура, контролируемая квалифицированным специалистом, находящимся на борту космического корабля.

Независимо от того, где будут проводиться исследования — на пилотируемых кораблях или на автоматических спутниках, необходимо создание специализированной научной аппаратуры. На первой стадии поиска и разработки методики исследований непосредственное участие космонавтов-ученых принесло бы большой эффект. Специалист, находясь на борту космического аппарата, произведет полный и детальный анализ наблюдаемых явлений, выявит объекты и процессы, которые представляют наибольший интерес для исследований, обобщит показания приборов, изменит, если потребуется, программу измерений и продолжит эксперимент в нужном направлении. Ученые могут выбрать оптимальную аппаратуру, необходимую человеку в конечном итоге для проведения детальных исследований, режим ее эксплуатации.

Как видим, активное участие человека в изучении космического пространства необходимо. Поэтому вполне закономерны предпринимаемые в нашей стране шаги к прокладыванию все более уверенных и надежных путей проникновения человека в космос.

Глава 6

# СПУТНИКИ ПРИКЛАДНОГО НАЗНАЧЕНИЯ

Развитие космической техники позволило использовать спутники и для выполнения таких важных для народного хозяйства прикладных задач, как связь на большие расстояния и прогноз погоды.

После отработки различных элементов спутниковой связи 23 апреля 1965 г. в Советском Союзе был выведен на орбиту спутник связи «Молния-1». Основная его задача состояла в осуществлении передач программ телевидения и дальней двусторонней и многоканальной радиотелефонной, фототелеграфной и телеграфной связи.

Вслед за ним на орбиту был выведен еще ряд спутников типа «Молния-1», а затем более совершенных спутников — «Молния-2», «Молния-3» и др.

Орбита спутников связи имеет свои особенности. Она эллиптическая с апогеем около 40 тыс. км, перигеем около 500 км и наклонением к плоскости экватора 65°. Период обращения спутника составляет около 12 ч, при этом над территорией Советского Союза он проходит в течение нескольких часов. Это позволяет обеспечивать длительные сеансы связи между Москвой и Дальним Востоком.

Выведение спутника связи на орбиту производится последовательно в два этапа. Вместе с последней ступенью ракеты-носителя он сначала выводится на промежуточную низкую орбиту. Затем над Южным полушарием запускается последняя ступень ракеты-носителя. Спутник получает дополнительную скорость и выводится на высокую эллиптическую орбиту с апогеем в Северном полушарии.

При отклонении периода обращения спутника от расчетного оптимального взаимное расположение спутника и наземных пунктов будет нарушаться, что приведет к постепенному уменьшению длительности сеансов связи. Даже при высокой точности выведения на расчетную орбиту период обращения спутника изменяется вследствие



воздействия на его движение гравитационных полей Солнца, Луны и Земли. В связи с этим возникает необходимость периодически корректировать период обращения спутника. Для этого достаточно изменять скорость его движения в перигее. Коррекция производится с помощью размещенного на спутнике реактивного двигателя.

В течение всего полета спутник ориентируется солнечной батареей на Солнце с тем, чтобы обеспечить максимум ее освещенности, что позволяет получать электроэнергию от всей площади батареи. Одновременно с ориентацией на Солнце в сеансах связи одна из параболических антенн направляется на Землю и с помощью специального привода с высокой точностью следит за Землей. Вторая антенна является резервной. В процессе слежения управление приводом выполняется сигналами датчика ориентации, установленного на этой антенне. Для работы с резервной антенной спутник необходимо повернуть на 180° вокруг продольной оси. После ориентации антенны на Землю включается аппаратура ретрансляции.

Ретранслятор спутника «Молния-1» работает по принципу линейного усиления радиосигналов земных станций. Применение таких ретрансляторов обеспечивает возможность без задержки одновременно принимать сигналы с Земли и, усилив до необходимого предела, передавать их на Землю без искажений.

Ретранслятор спутника по команде с Земли позволяет осуществлять один из следующих видов радиосвязи: прием и передачу через спутник одной телевизионной программы; одновременную радиосвязь; прием и передачу между земными радиостанциями большого количества двусторонних телефонных каналов с возможностью вторичного их уплотнения телеграфными системами. Бортовая антенна спутника направляет сигналы на Землю узким пучком. Такое направленное излучение создает высокий уровень сигнала у поверхности Земли, что позволяет использовать на наземных пунктах антенны сравнительно небольших размеров.

Наземные станции космической связи «Орбита» снабжены антеннами с поворотными и программными устройствами и следящими системами. В оборудование земных пунктов дальней радиосвязи с использованием спутников входят также командно-измерительная аппаратура и комплекс связной приемно-передающей радиостанции.




Карта-схема размещения приемных станций «Орбита»



Для одновременной передачи сигналов изображения и звукового сопровождения была разработана специальная аппаратура совмещения этих каналов.

Отличительная особенность спутниковой телевизионной системы в том, что в ней предусмотрена возможность непрерывного контроля основных качественных показателей телевизионного тракта в процессе передачи телевидения. Это достигается введением в передаваемые сигналы изображения специальных измерительных импульсов.

Если раньше для удовлетворения нужд народного хозяйства и населения нашей страны сооружались кабельные и радиорелейные линии, то с развитием ракетно-космической техники появилась возможность часть их функций переложить на системы связи с использованием искусственных спутников Земли.

Спутники связи были выведены на орбиты и Соединенными Штатами Америки. В 1962 г. спутник «Телестар-1» впервые передал телевизионное изображение через Атлантику.

Разработка метеорологических спутников в нашей стране началась в соответствии с программой «Космос», объявленной 16 марта 1962 г. На первом этапе были созданы и испытаны на спутниках типа «Космос-23» электротехнические устройства, обеспечивающие стабилизацию аппарата и ориентацию его корпуса на центр Земли. Тщательно исследовалась работа автоматических устройств энергетической системы спутника, управляющих солнечными и химическими батареями.

Исследования солнечных батарей показали, что при длительном воздействии на них космической среды, а также при продолжительной работе происходит старение фотоэлементов и изменение их характеристик. Это приводит к понижению коэффициента полезного действия батарей. Результаты исследований были использованы при создании более совершенных источников электроэнергии на последующих типах спутников.

На втором этапе работ по экспериментальной метеорологической системе был создан и испытан искусственный спутник Земли «Космос-122». На нем комплекс приборов для метеорологических наблюдений — телевизионных, актинометрических, инфракрасных — сочетался с системой, обеспечивающей многомесячное функционирование спутника на орбите, что потребовало решения мно-

жества сложных технических вопросов. Так, на спутнике «Космос-122» были использованы две независимые системы ориентации: одна — для непрерывной ориентации приборного отсека на Землю, другая — для ориентации солнечных батарей на Солнце.

В качестве датчиков направления на Солнце применялись специальные фотоэлементы, реагирующие лишь на определенную часть спектра его излучения. Для определения направления на Землю применялись приборы, реагирующие на ее тепловое излучение, датчики которых очень чувствительны к различным электромагнитным помехам. Были приняты соответствующие меры по ликвидации влияния любых помех на борту спутника.

Было проведено специальное изучение работы подшипниковых узлов электрических машин и других механизмов в условиях глубокого вакуума — в космическом пространстве. Большое внимание уделено системам терморегулирования для обеспечения нормального режима работы приборов, чувствительных к изменениям температуры.

Третий этап работ над созданием экспериментальной космической метеорологической системы ознаменовался запуском 28 февраля и 27 апреля 1967 г. спутников «Космос-144» и «Космос-156» на близкие круговые орбиты, проходящие на высоте 625—630 км над Землей.

Запуск спутника «Космос-156» осуществлялся с таким расчетом, чтобы начальная плоскость его орбиты была смещена относительно плоскости орбиты спутника «Космос-144» на 95°.

Каждый из спутников только за один оборот вокруг Земли позволял получить информацию об облачности с территории, составлявшей около 8%, а данные о радиационных потоках — приблизительно с 20% поверхности земного шара. Взаимное расположение орбит спутников позволяло производить наблюдения за погодой над каждым из районов земного шара с интервалом в 6 ч и в течение суток получать метеорологическую информацию с половины поверхности нашей планеты.

Аппаратура метеорологического спутника позволяет получать изображение облачности, снежного покрова, ледовых полей на освещенной и теневой сторонах Земли, измерять потоки радиации, отраженной и излучаемой системой «Земля—атмосфера». Для наблюдения за облачностью на освещенной стороне Земли используется телевизионная аппаратура. Две камеры ведут покадровую съемку поверхности Земли вдоль траектории полета спутника. Телевизионная аппаратура включается автоматически при углах возвышения Солнца над горизонтом более 5°.



В процессе полета спутника освещенность Земли существенно меняется как за счет изменения характера подстилающей поверхности, так и за счет высоты Солнца. Для того чтобы получить высококачественные снимки, экспозиция регулируется с помощью автоматического устройства, измеряющего освещенность Земли и устанавливающего нужную диафрагму оптической аппаратуры. С высоты около 625 км телевизионные камеры обеспечивают фотографирование поверхности Земли вдоль траектории полета спутника с шириной захвата около 1 тыс. км. Высокая разрешающая способность фотографирования позволяет четко определить форму облачности и провести детальный анализ атмосферных процессов, происходящих в данном районе.

Наблюдение за облачностью на теневой стороне Земли осуществляется с помощью инфракрасной аппаратуры, измеряющей уходящее излучение земной поверхности и облаков, величина которого зависит от их температуры. Инфракрасный участок спектра был выбран для измерения исходя из того, что в этом диапазоне волн излучение тепловой энергии земной поверхностью и облаками максимально, а поглощение излучения атмосферой Земли минимально. Величина уходящей тепловой энергии определяется температурой излучающей поверхности, а так как облака всегда холоднее поверхности Земли, то их излучение менее интенсивно.

Непрерывное измерение величин теплового излучения поверхности, «осматриваемой» спутником, позволяет получить данные об облачности не только на теневой, но и на освещенной стороне Земли.

Как правило, инфракрасная аппаратура включается на полные «облеты» спутника вокруг Земли. Тепловое излучение подстилающей поверхности и облаков преобразуется в электрические сигналы, пропорциональные величине излучаемого потока. Они фиксируются запоминающим устройством и в заданный момент передаются на Землю.

Снимки облачных систем, получаемые с помощью инфракрасной аппаратуры, менее детальны, чем телевизионные, но достаточны для анализа крупных атмосферных

образований (циклоны, тайфуны, атмосферные фронты) с характерными облачными системами, размеры которых измеряются сотнями и даже тысячами километров. Информация облачности в полярных областях, особенно Южного полушария, получаемая с помощью инфракрасной аппаратуры,— вообще единственный источник сведений, позволяющих дать необходимую справку о характере погоды в этих районах.

При одновременном нахождении на орбитах нескольких метеорологических спутников в значительной степени усложняются задачи управления ими и всей метеорологической системой в целом. Для ее нормального функционирования необходимо при прохождении каждого спутника над пунктами приема в короткие сроки обрабатывать телеметрическую информацию, которая содержит метеорологические данные и сведения о работе бортовой аппаратуры.

Телеметрическая информация вводится в быстродействующие ЭВМ. Практически сразу после окончания сеанса связи со спутником машины заканчивают обработку всех телеметрических данных, редактируют их и выдают в форме, удобной для использования.

До поступления информации со следующей орбиты метеорологические данные также должны быть полностью обработаны и представлены в виде графиков и карт для оперативной службы погоды.

Фотографии, сделанные телевизионными камерами, надо исправлять от неизбежных перспективных искажений, которые получаются при фотографировании широкой полосы поверхности Земли. Изображение привязывается к географической карте местности, на него наносится координатная сетка. Почти весь этот сложный комплекс работ выполняется с помощью специальных электронных устройств.

Инфракрасное изображение с помощью особой аппаратуры преобразуется в макрокарту облачности. Составляются карты анализа облачности, которые передаются по линиям связи в метеорологические центры, на авиаметеостанции, в гидрометеорологические бюро. Эти материалы доводятся и до метеорологических учреждений за рубежом. Для этого используются специальные каналы связи, которые позволяют по проводам или по радио передавать карты погоды, графики и фотографии облачного покрова.



Глава 7

# НЕКОТОРЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Известно, что стоимость космических полетов довольно высока. Однако затраты на освоение космоса не бессмысленны. Успехи в его освоении способствовали резкому подъему ряда областей науки и техники: биологии и медицины, астрономии и аэродинамики, радиотехники и автоматики, газодинамики и электроники.

Программы полетов большинства советских спутников тесно связаны с решением ряда народнохозяйственных задач — изучением атмосферы и магнитного поля Земли, устройством связи через космос, навигацией с помощью спутников, разведкой полезных ископаемых и т. д.

Что же дает человеку изучение космоса?

## Космические лучи

Земля подвержена постоянному воздействию непрерывного потока заряженных космических частиц, скорости движения которых близки к скоростям света.

Наши представления о природе и свойствах космических лучей становятся все более полными.

Первые сведения о космических лучах относятся к 1912 г., когда австриец Гесс, проводя опыты на воздушном шаре, высказал предположение о том, что из мирового пространства на границу атмосферы падает излучение очень большой проникающей способности. Гипотеза Гесса была поддержана десять лет спустя Милликеном, который и назвал дотоле неведомые лучи космическими. По гипотезе Милликена космические лучи возникают за счет энергии, освобождаемой при синтезе тяжелых элементов из первоначального водорода, распределенного во Вселенной, это — фотоны огромных энергий, обладающие большой проникающей способностью.

Опыты Боте и Кольёрстера привели к предположению: первичное космическое излучение состоит скорее не из фотонов, а из заряженных частиц. При этом взаимодействие космических лучей с веществом приводит к сложным процессам внутри вещества, в результате чего образуется много вторичных частиц. Значительным достижением в этом направлении явилось открытие Андерсоном позитрона. По мнению Дирака, эту частицу не могли обнаружить ранее вследствие очень короткого времени ее жизни.

При встрече позитрона с электроном обе частицы аннигилируют, их масса переходит в энергию, которая излучается в виде фотонов.

Карлсон и Оппенгейм почти одновременно объяснили природу ливней космических лучей. По их теории развитие ливня происходит за счет рождения пар фотонами и излучения фотонов электронами при торможении в поле ядер. Эти процессы происходят около атомного ядра, не вызывая изменений в его структуре. В каждом элементарном акте возникают только две частицы, и хотя ливнеобразующее излучение состоит из электронов и фотонов, частицы, обладающие большими проникающими свойствами, нельзя считать электронами. Неддермейер предположил, что это новые частицы с единичным зарядом и массой, больше массы обычного свободного электрона, но значительно меньше массы протона (впоследствии их назвали μ-мезонами).

Наиболее важный этап в исследовании нового мира частиц начался в 1947 г. с открытием π-мезона, который оказался родительским по отношению к ранее известному μ-мезону. При распаде π-мезона кроме μ-мезона рождается еще нейтральная частица. Масса последней гораздо меньше массы электрона. Таких нейтральных частиц с практически нулевой массой две — фотон и нейтрино. Нейтрино обнаружить чрезвычайно сложно, поскольку они очень слабо взаимодействуют с веществами; фотоны же фиксируются по вторичным электронам, излучаемым ими в процессе образования пар. Не обнаружив фотонов среди продуктов распада μ-мезонов, физики сделали вывод: нейтральная частица с нулевой массой, испускаемая при распаде π-мезона, есть нейтрино.

В том же году Оппенгейм выдвинул оказавшееся впоследствии правильным предположение: нейтральные мезоны могут очень быстро распадаться на фотоны, входящие в состав космических лучей, наблюдаемых в атмосфере.



Новые эксперименты показали, что наиболее сильно взаимодействующими космическими частицами в атмосфере являются протоны, нейтроны и π-мезоны, которые не успели распасться на μ-мезоны.

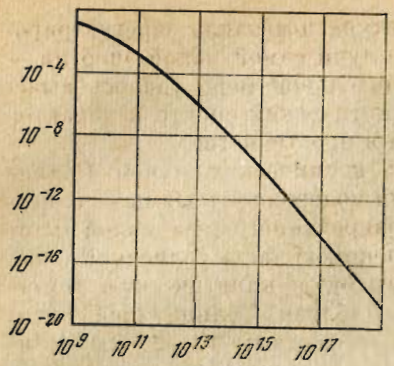
Число протонов, нейтронов и π-мезонов быстро увеличивается с высотой, поэтому с целью изучения ядерных взаимодействий старались проводить эксперименты как можно выше. Была усовершенствована аппаратура шаров-зондов, сутками бороздивших воздушный океан на высотах до 30 км. При этом выяснилось поразительное разнообразие неизвестных ранее короткоживущих «элементарных» частиц. В 1953 г. их разделили на две группы, получившие название тяжелых мезонов и гиперонов, причем те и другие могут быть как нейтральными, так и заряженными. Тяжелые мезоны легче протонов, но тяжелее π-мезонов; гипероны же тяжелее протонов.

В 50-х годах, как бы подытоживая основные вехи развития физики космических лучей, начала складываться единая картина всех явлений, связанных с этими лучами.

Теперь уже можно было достаточно уверенно сказать, что ряд из перечисленных выше предположений оказался ошибочным. В то же время многие положения подтвердились: это и наличие в составе космических лучей в атмосфере электронов и фотонов больших энергий, и утверждение относительно рождения в атмосфере мезонов, и существование различных видов мезонов.

Запуск искусственных спутников Земли открыл уникальные возможности для постановки принципиально новых экспериментов в космическом пространстве. Представилась возможность выйти за пределы атмосферы, а затем и за пределы действия магнитного поля Земли, изучать первичное космическое излучение непосредственно.

Как уже говорилось, в космическом пространстве присутствуют частицы практически любых энергий. Основу же первичных космических лучей составляют протоны, электроны и в меньших количествах — ядра атомов различных химических элементов. По современному представлению траектории этих частиц, приближаясь к Земле, искривляются земным магнитным полем. При столкновении с ядрами атомов атмосферных газов происходит распад и «снаряда» и «мишени». В продуктах распада оказываются




**Энергетический спектр первичных космических лучей:**

по вертикали — число частиц на 1 см² в единицу (1 рад) телесного угла в 1 с, по горизонтали — энергия в эВ

протоны и нейтроны с высокой энергией, которые в свою очередь взаимодействуют с другими ядрами атмосферы. Часть энергии первичных частиц идет на образование новых короткоживущих частиц, таких, как μ-мезоны и тяжелые мезоны.

Изучение межпланетного поля с помощью космических аппаратов позволило выявить ряд новых явлений и коренным образом пересмотреть представления о процессах, протекающих в окрестностях Земли. Наблюдения со спутников показали, что интенсивность малоэнергичной части космического излучения не постоянна во времени и связана с деятельностью Солнца. Так, в период грандиозной вспышки на Солнце, которая произошла 23 февраля 1956 г., интенсивность космических лучей возросла примерно за 20 мин в 25—50 раз по сравнению с нормальным уровнем. Предполагают, что это явление обусловлено потоком высокоэнергичных солнечных космических лучей— частиц, преимущественно протонов, испускаемых Солнцем во время вспышки.

Дальнейшие исследования этих лучей имеют целью выяснение механизмов их генерации на Солнце, условий распространения в межпланетном пространстве и выхода из Солнечной системы.

Значительно чаще, почти ежемесячно, происходят менее мощные вспышки космических лучей с энергиями 100—500 МэВ. Однако магнитное поле Земли отклоняет частицы с такими энергиями, к тому же они сильно поглощаются в атмосфере Земли; для их регистрации измерительную аппаратуру потребовалось выносить на большие высоты с помощью воздушных шаров и спутников.



Именно спутниковая аппаратура позволила зарегистрировать солнечные космические лучи самой малой энергии — до 1 МэВ. При этом в значительной мере удалось выяснить зарядовый состав, энергетический спектр и характер распространения этих лучей в пространстве.

Помимо света, тепла и космических лучей Солнце непрерывно испускает потоки водородной плазмы—солнечного ветра. Этот поток ионизированного газа малой плотности представляет собой внешнюю часть солнечной короны, имеющую достаточно высокую кинетическую температуру. Истечение плазмы вблизи Солнца происходит сравнительно медленно (со скоростями 10—20 км/с), но по мере удаления от Солнца скорость возрастает в 20—70 раз.

Поток плазмы качественно отличается от потока заряженных отдельных частиц, поскольку в нем решающую роль играют силы электростатического взаимодействия между ионами и электронами. Для плазмы характерно, что энергия электростатического взаимодействия составляющих ее заряженных частиц больше энергии теплового движения. Несмотря на малую концентрацию частиц в солнечном ветре, электрическое поле связывает их. На поведение частиц в плазме влияет и магнитное поле.

Высокая электропроводность плазмы приводит к сильной связи поля со средой, вследствие чего магнитное поле можно рассматривать как бы «вмороженным» в плазму. Солнечный ветер захватывает магнитное поле Солнца, вытягивая его вдоль направления своего движения. Вращение Солнца придает силовым линиям магнитного поля форму спирали Архимеда.

По поводу происхождения галактических космических лучей существует ряд гипотез. Некоторые ученые предполагают, что миллионы лет назад в центре Галактики произошел чудовищной силы взрыв. Его энергия рассеялась в виде различных излучений — видимого света, радиоволн, частиц. Часть этой энергии досталась космическим лучам. Через миллионы лет самые быстрые из частиц достигли Земли. Буквально в последние годы установлено, что возраст галактических космических лучей не превосходит 100 млн. лет, а последний взрыв в центре Галактики прошел не более 10 млн. лет назад.

Другие ученые утверждают, что большая часть космических лучей родилась во время менее мощных взрывов

сверхновых звезд, которые в окрестностях нашей Солнечной системы происходят раз в несколько сот лет. В процессе взрыва освобождается количество энергии, эквивалентное, возможно, энергии, содержащейся во всей массе Солнца. Образовавшиеся при этом частицы ускоряются вследствие электромагнитных процессов, сходных с теми, что происходят в солнечных вспышках.

Область, занятая магнитным полем Земли, называется магнитосферой Земли. Ее граница в магнитоспокойное время расположена на дневной стороне на расстоянии около 10 земных радиусов, а на теневой стороне удалена на расстояние, в 3 раза большее.

Для реального геомагнитного поля определены три различные по своим свойствам области: внутренняя, внешняя и пограничная.

В окрестностях Земли магнитное поле напоминает невозмущенное дипольное поле однородно-намагниченной сферы. Центр этого диполя смещен примерно на 500 км в сторону Восточного полушария. Геомагнитная ось, кроме того, не совпадает с осью вращения Земли. Реальное магнитное поле довольно существенно отличается от строго дипольного. Оно характеризуется, в частности, значительными местными аномалиями, влияние которых с высотой быстро исчезает. При этом, как показали измерения на автоматических станциях «Луна» и спутниках, оно зависит и от внешних факторов.

В магнитном поле обнаруживаются суточные вариации, возникающие главным образом днем (солнечные вариации). Существуют вариации с периодом, равным половине лунного дня, и систематически изменяющиеся с фазой Луны (лунные вариации).

Есть предположение, что солнечно-суточные вариации обусловлены электрическими токами верхней атмосферы, возникающими вследствие ее нагрева, а лунно-суточные определяются приливными движениями.

Измерения показали, что начиная с некоторого расстояния от центра Земли (6—9 ее радиусов) магнитное поле сильно отличается от поля диполя, характеризуясь более высокой напряженностью.

Пограничная область магнитосферы имеет протяженность в несколько земных радиусов и отличается резким спадом напряженности поля, флуктуациями и постепенным переходом в межпланетное поле. С дневной стороны



обнаружено существование фронта стоячей ударной волны, отделяющей магнитосферу от невозмущенного солнечного ветра.

На больших расстояниях на дневной стороне магнитное поле Земли вытесняется потоком плазмы солнечного ветра, сжимая силовые линии так, что на границе раздела давление потока уравновешивается давлением магнитного поля. Еще бо́льшим искажениям подвержено магнитное поле Земли на ночной стороне. Установлено, что начиная с расстояния в несколько десятков тысяч километров поле Земли постепенно переходит в магнитный хвост, далеко простирающийся за пределы Луны.

Геомагнитный хвост разделен плазменным слоем с малой напряженностью магнитного поля.

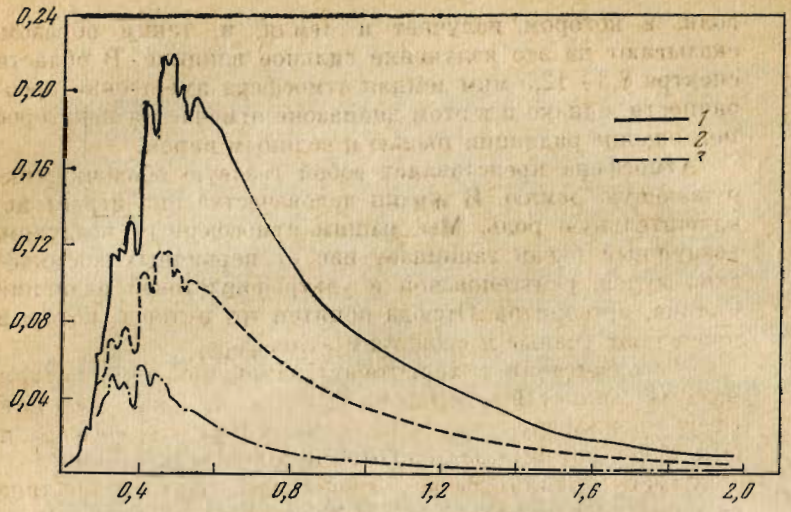
### Альбедо и атмосфера Земли

Спутники оказывают большую помощь в исследовании потока излучения, исходящего от Земли. Отраженная и собственная радиация Земли различаются по своим спектральным характеристикам. Границей между ними являются длины волн в области 4 мкм, причем область больших длин волн охватывает собственное излучение Земли.

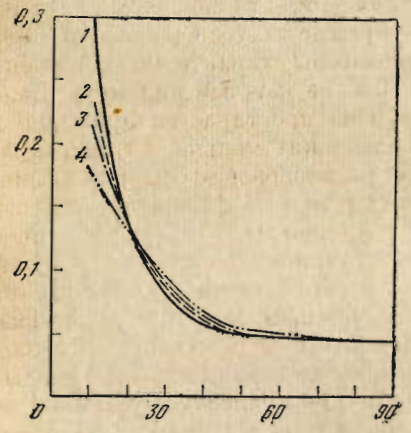
На основании многочисленных измерений в настоящее время установлено, что величина отраженной солнечной радиации (альбедо Земли) составляет в среднем 35%. Остальные 65% поглощаются водой и земной поверхностью и переизлучаются в длинноволновой части спектра.

Отражательная способность отдельных элементов земной поверхности колеблется в широких пределах и зависит от сезонных вариаций. Почвы имеют, например, альбедо от 0,03 до 0,08, песок — от 0,25 до 0,4 в большей части видимого диапазона. Альбедо свежевыпавшего снега — от 0,6 до 0,9; альбедо самых белых облаков — до 0,8 в видимой части спектра, а за ее пределами из-за поглощения водой и парами снижается до 0,5 на длине волны 2,5 мкм. Характерно, что названные здесь величины альбедо носят ориентировочный характер, поскольку существенно зависят, например, от величины угла падения приходящей радиации.

Из общей средней расчетной величины альбедо Земли примерно 70% обусловлено отражением облачности, покрывающей обычно половину земной поверхности.




**Отраженная Землей радиация:** по вертикали — спектральная интенсивность, Вт·см$^{-2}$мкм$^{-1}$, по горизонтали — длина волны в Å;
*1* — солнечный спектр,
*2* — спектр отражения Земли при небе, покрытом облаками,
*3* — при безоблачном небе




**Теоретическая отражательная способность водной поверхности в спокойном состоянии (*1*), при легком ветре (*2*), при ветре около 5 м·с$^{-1}$ (*3*), при сильном ветре (*4*):** по вертикали — величина альбедо, по горизонтали — высота Солнца в градусах

Отражательная способность водной поверхности существенно зависит от высоты Солнца.

Сложность проблемы измерений альбедо Земли состоит в том, что тепловое излучение, воспринимаемое космическим аппаратом, лишь частично связано непосредственно с земной поверхностью и облаками. Углекислый газ и вода имеют сильные полосы поглощения в том диапазоне длин



волн, в котором излучает и Земля, и, таким образом, оказывают на это излучение сильное влияние. В области спектра 8,3—12,5 мкм земная атмосфера имеет окно прозрачности, однако и в этом диапазоне отмечается некоторое поглощение радиации пылью и водяным паром.

Атмосфера представляет собой газовую оболочку, окружающую Землю. В жизни человечества она играет исключительную роль. Мы дышим атмосферным воздухом, воздушный океан защищает нас от первичных космических лучей, рентгеновской и ультрафиолетовой радиации Солнца, метеоритов. Отсюда понятен тот интерес, который проявляют ученые к свойствам атмосферы.

В соответствии с характером изменения температуры воздуха с высотой атмосфера делится на ряд слоев или сфер: тропосферу, стратосферу, мезосферу, термосферу и экзосферу, которые разделяются переходными слоями.

Самая нижняя сфера — тропосфера, верхняя граница ее колеблется около 11 км. В тропосфере наиболее плотный воздух — на нее приходится 90% всей массы атмосферы. Здесь происходят явления, из которых складывается понятие «погода»,— прежде всего образование облаков и осадков. Для тропосферы характерно понижение температуры с высотой — 6,5° на каждый километр. Далее расположена стратосфера. Она простирается примерно до 50 км. Хотя стратосфера содержит меньше 1% массы атмосферы, она отличается разнообразием физико-химических процессов и выполняет роль естественного защитного экрана. Именно здесь поглощается ультрафиолетовое, рентгеновское и корпускулярное излучение Солнца, а ионизация верхней атмосферы солнечным коротковолновым излучением делает возможным дальнюю радиосвязь.

Сложные процессы теплового и массового обмена в верхней атмосфере определяют динамичность этой среды и оказывают влияние на состояние атмосферы у земной поверхности, на формирование климата и погоды на Земле.

В течение ряда веков наука накапливала данные о давлении, температуре, плотности и газовом составе воздушной оболочки Земли. Но до последнего времени для тщательного ее изучения был доступен лишь тонкий приземный слой воздуха. Область исследований была несколько расширена с появлением самолетов и аэростатов. Затем для изучения атмосферы стали применять шары-пилоты и радиозонды, передававшие по радио данные с высот до

30 км. Используя косвенные методы исследований верхней атмосферы (изучение распространения акустических волн от сверхмощных взрывов и наблюдений за метеорами), ученые в 30—40-х годах выяснили общие закономерности изменения плотности, давления, температуры с высотой и получили первые отрывочные данные о составе верхней атмосферы. Ученые пришли к выводу, что температура атмосферы непрерывно понижается до высот 8—18 км, а выше сохраняется практически постоянной. В целом считалось, что стратосфера является слоем сравнительно малоподвижным.

Некоторые из этих представлений изменились еще до появления спутников. Так, в стратосфере были обнаружены сильные воздушные течения и странности в распространении звуковой волны от сильных взрывов. Волны хорошо прослушиваются рядом с местом взрыва, затем идет зона молчания и снова зона слышимости. Единственной причиной такого явления, по мнению ученых, могло явиться повышение температуры атмосферы на больших высотах.

Ответить на этот и многие другие вопросы помогли исследовательские ракеты и искусственные спутники Земли. При этом нашли применение классические методы измерения параметров атмосферы (манометрические, термометрические и т. д.). Ветер изучался путем выброса металлизированных радиолокационных мишеней. Для анализа атмосферы использовались масс-спектрометры.

На высотных ракетах научная аппаратура размещалась в отделяемом контейнере-автомате, позволявшем вести измерения параметров в незагрязненной области атмосферы. Для изучения состава газа в стеклянные баллоны брались пробы. Начали применяться и стабилизированные ориентированные контейнеры, обеспечивавшие неизменную ориентацию измерительных приборов относительно набегающего потока.

Ниже 20 км, где длительное существование спутников невозможно, исследования проводятся в основном с помощью ракет. Однако они позволяют проследить динамику изменения параметров атмосферы в основном только по высоте, поскольку измерения параметров по времени требуют запуска большого количества ракет в ходе одного эксперимента.

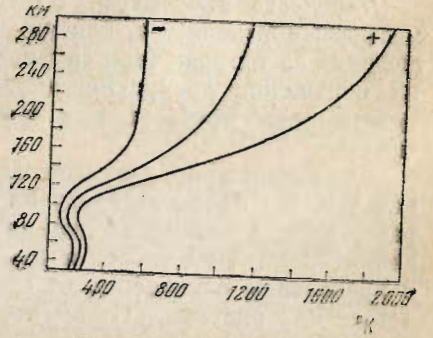
На высотах свыше 200 км широко используются измерения с помощью спутников, которые охватывают своими орбитами практически всю планету.



Современные представления о структуре и вариациях параметров нейтральной атмосферы на больших высотах базируются в основном на данных об эволюции орбит спутников, что позволило на основе аэродинамических расчетов определить силу торможения и, следовательно, плотность атмосферы.

Остановимся коротко на результатах исследований верхней атмосферы, полученных в последние годы с помощью спутников.

*Температура атмосферы.* Средние для Северного полушария величины температуры атмосферы на высотах до 300 км приведены на рисунке. На нем же даются предельные отклонения температуры от средней величины.




**Распределение температуры по высоте (30—300 км) и предельные отклонения от средней величины (−, +)**

Характерно, что в диапазоне 30—50 км температура повышается, так как почти вся ультрафиолетовая часть солнечной радиации поглощается вблизи верхней границы озонного слоя, соответствующей этим высотам.

Общее количество озона в атмосфере незначительно; толщина его слоя, приведенная к стандартным атмосферным условиям, не превышает нескольких миллиметров. Однако значение озона огромно: он поглощает ультрафиолетовую радиацию и тепловое излучение, испускаемое Землей, охраняя органическую жизнь на нашей планете.

В мезосфере температура понижается от 0 до 90°. В термосфере на высотах свыше 90 км температура воздуха непрерывно повышается, достигая на высоте 300—400 км 1000° С и продолжая расти с высотой до 2000 — 3000° С. Однако вследствие сильной разреженности воздуха физическое понятие температуры среды здесь но-

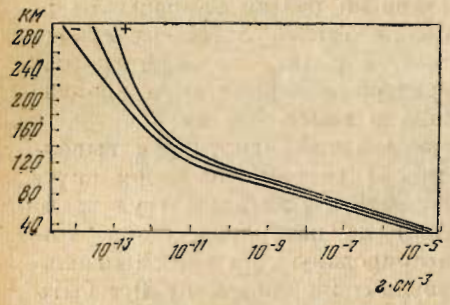
сит условный характер, характеризуя лишь скорость движения молекул.

Днем атмосфера нагревается, а ночью охлаждается, поэтому существуют суточные вариации профиля температуры. Максимум и минимум этих вариаций приходится на 4—6 и 14—16 ч местного времени. Например, на высотах свыше 200 км температура изменяется ночью от 600 до 1400, днем — от 1200 до 2500 К. Таким образом, максимальный перепад температур на верхней границе термосферы от ночных условий в минимуме до дневных в максимуме солнечной активности может достигать 2000°.

Сезонные вариации, обусловленные радиационным балансом, отмечаются до высоты 60 км. Выше картина меняется на обратную — зимние температуры оказываются выше летних.

*Плотность атмосферы.* Плотность верхних слоев атмосферы определяется, как уже упоминалось, путем наблюдений за торможением спутников и изменением периода их обращения вокруг Земли. На ряде спутников устанавливались приборы для измерения давления атмосферы.

Выяснилось, что плотность атмосферы значительно выше, чем это продполагалось на основании теоретических расчетов и прежних экспериментов. Характер распределения средней плотности в диапазоне высот 30—300 км и предельные отклонения от средней величины представлены на рисунке. С высотой плотность атмосферы




**Распределение плотности атмосферы по высоте (30—300 км) и предельные отклонения от средней величины (−, +)**

убывает, имея существенные сезонные и суточные вариации. Так, сезонные вариации имеют максимальные значения на высотах 65—75 км, достигая 25% в высоких



широтах и 15% — в средних. Уменьшение вариаций плотности на больших высотах, по мнению ученых, связано с обратным ходом температурных возмущений, которые на высотах более 60 км летом оказываются более низкими, чем зимой. Исследования, проведенные на спутниках серии «Космос», показали, что суточные вариации наблюдаются в более широких пределах. Так, на высоте 200 км плотность от ночи ко дню возрастает в 1,8 раза, на меньших высотах — в 1,7 раза. Суточные вариации носят регулярный характер, резче проявляясь на более низких широтах с уменьшением солнечной активности. Отмечаются годовые и полугодовые вариации плотности, связанные с возмущениями магнитного поля Земли, а также 27-дневная периодическая вариация, определяемая экваториальным периодом вращения Солнца.

Исследование атмосферы представляет интерес и с точки зрения изучения ее ионного и молекулярного состава и электронной концентрации в ионосфере. Последнее позволяет выявить факторы, влияющие на характер распространения радиоволн систем дальней наземной и космической связи.

Для определения *ионного состава* атмосферы используются масс-спектрометры, которые с помощью электрического или магнитного поля разделяют ионы по массам.

Ряд масс-спектрометрических анализов нейтрального состава верхней атмосферы, проведенных в основном на высотах 100—200 км с помощью ракет, подтвердил эффект гравитационного раздела аргона и молекулярного азота в атмосфере выше 100—200 км, а также позволил получить данные о температуре и парциальной концентрации молекулярного азота до высот 400 км.

Анализ ионного состава верхней атмосферы, выполненный по измерениям еще на третьем советском спутнике в диапазоне высот 225—980 км, показал, что в дневное время здесь преобладают положительные ионы атомарного кислорода. Зарегистрированы также положительные ионы с массовым числом 14, которые могут быть отождествлены с ионами атомарного азота, положительные ионы атомарного изотопа кислорода с массовым числом 18, а также положительные ионы окиси азота. При этом выявлено, что ионный состав верхней атмосферы существенно изменяется в зависимости от высоты.

Процентное содержание тяжелых ионов молекулярного кислорода, окиси азота и молекулярного азота с высотой падает, причем наиболее интенсивно в интервале 225—270 км, на высотах свыше 400 км содержание ионов молекулярного кислорода в 1000 раз меньше, чем ионов атомарного кислорода.

С помощью спутников серии «Электрон» на высотах 400—1200 км было получено большое количество масс-спектров ионов водорода, азота, гелия и кислорода, а также обнаружены значительные вариации ионного состава с географической широтой. Выяснилось, что ионы гелия в умеренных широтах Северного полушария в период низкой солнечной активности являются лишь малой компонентой. Этот результат изменил существовавшие взгляды на строение внешней ионосферы Земли, согласно которым ионы гелия на высотах 1—2 тыс. км образуют гипотетическую «гелиосферу». Оказалось, что такой оболочки в земной ионосфере не существует.

Исследование параметров верхней атмосферы продолжается. Точное знание их имеет громадное практическое значение. Так, распределение плотности по высотам учитывается при расчете оптимальных критериев вывода ракет-носителей и спутников Земли на расчетные орбиты, при создании оптических объектов с системами прецизионной ориентации, при решении задач управления полетом в верхних слоях атмосферы.

### Астрономическая обсерватория

Одна из самых древнейших наук — астрономия на протяжении тысячелетий могла лишь пассивно изучать свет, идущий от планет и звезд, и по нему создавать свои представления о физических свойствах небесных тел. Находясь на Земле, астрономы вынуждены были мириться с атмосферой, так затрудняющей проведение наблюдений за небом.

Излучение небесных тел проникает на Землю в двух окнах прозрачности: оптическом, простирающемся в диапазоне длин волн от 0,3 до 1—2 мкм, и радиоокне — от нескольких миллиметров до 10—30 м. Основной спектр космических излучений поглощается атмосферой. Так,



ультрафиолетовое излучение поглощается озоном на высотах 30—70 км в диапазоне 0,3—0,18 мкм, молекулярным кислородом на высотах ниже 120 км в диапазоне 0,18—0,1 мкм и атомарным кислородом и азотом на высотах до 200 км в диапазоне менее 0,1 мкм.

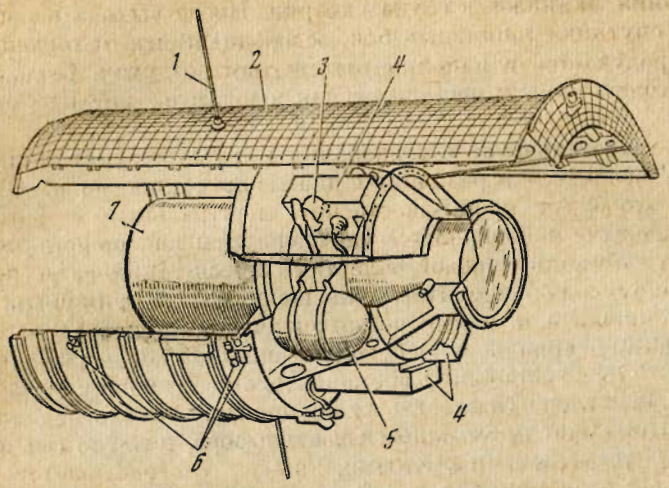
Длинноволновое космическое радиоизлучение отражается ионосферой, расположенной также на большом удалении от Земли.

Существенным препятствием при астрономических наблюдениях через атмосферу является также ее турбулентность. Поэтому звезды рассматриваются в окуляре телескопа не в виде четкого дифракционного диска, а в форме размытых пятен; одновременно уменьшается яркость изображения. Особенно плохо через толщу атмосферы наблюдаются звезды, расположенные низко над горизонтом. Свет преломляется в атмосфере, и пятно сменяется спектральными полосами.

По этой причине линейное разрешение для поверхности Луны составляет 1 км, для поверхности Марса — 150 км. Особенно сильно турбулентность сказывается при работе телескопов с зеркалами диаметром выше 2—3 м, что служит дополнительным препятствием к использованию современных гигантских телескопов.

По мере развития воздухоплавания появились возможности поднять телескопы с помощью аэростатов. С высоты 20 км были сделаны четкие фотографии «зерен» Солнца размером 0,3″. Еще большие возможности предоставило астрономии использование спутников.

Какие же требования предъявляются к телескопу, устанавливаемому на космическом аппарате? Они в принципе не отличаются от требований к современным наземным телескопам. В центре зеркала теоретически может быть обеспечено угловое разрешение порядка 0,006″, что позволит различать на дальности 500 км предметы с линейным размером 1 см. Однако практически при диаметре 2 м могут быть изготовлены зеркала с разрешением 0,2″. При разрешающей способности телескопа 0,1″ и при возможности использования длительных экспозиций можно наблюдать звезды до 23-й звездной величины. В ближайшие годы возможно появление орбитальных обсерваторий с апертурой первичного зеркала до 3 м и угловым разрешением до 0,01″ в ультрафиолетовой части спектра.




**Схематическое изображение малого астрономического спутника:**

*1* — антенна телеметрической системы,
*2* — солнечные элементы,
*3* — солнечный датчик системы точной ориентации,
*4* — блоки электронного оборудования,
*5* — баллон с газом для управляющих реактивных сопел,
*6* — реактивные сопла для замедления скорости вращения и управления по крену и скорости,
*7* — телескоп

Спутники, предназначенные для выполнения астрономических наблюдений, могут иметь приборный отсек обсерватории, оборудованный радиотехнической системой автоматической стыковки, причальным устройством и шлюзовой камерой, допускающей подход и швартовку пилотируемого космического аппарата и доступ в него космонавтов. Обсерватория может быть пристыкована к обитаемой орбитальной станции.

Из литературы известен проект космической лаборатории-спутника для медико-биологических, геофизических и астрономических исследований. На спутнике с экипажем в составе 4—6 человек может быть установлен, в частности, телескоп.

В соответствии с другим таким проектом космической астрономической обсерватории экипаж размещается в специальной носовой капсуле, служащей одновременно для



спасания экипажа в случае аварии. После выхода на орбиту спутника топливный бак, освободившийся от горючего, продувается и наполняется сжатым воздухом. Сюда и переходит экипаж, используя бак в качестве рабочего отсека.

Астрономические исследования в космосе будут, видимо, проводиться в различных диапазонах длин волн. Однако это будут преимущественно спектральные и фотометрические наблюдения в ультрафиолетовой, инфракрасной и субмиллиметровой областях спектра. В качестве регистрирующих элементов телескопа могут применяться фотоумножители и электронно-оптические преобразователи, фотоматериалы и телепередающие устройства. Интересно, что американская орбитальная астрономическая станция, запущенная в 1968 г. на орбиту с высотой 800 км и оснащенная оптическими телескопами с диаметрами до 40 см, позволила получить данные в ультрафиолетовой области спектра о 10 тыс. звезд. Если диаметр телескопа увеличить до 3 м, число исследуемых объектов может возрасти до миллиона.

Объектами рентгеновской астрономии могут быть тепловое излучение плазмы, обратный комптон-эффект электронов на инфракрасных фотонах или синхротронное излучение релятивистских электронов в магнитных полях. Для их исследования могут применяться пропорциональные газонаполненные счетчики с окном из бериллия (толщиной до 100 мкм) или органических пленок — майлара, формвара, поликарбоната (толщиной до 10 мкм). С помощью пропорциональных счетчиков можно определить поток от источника, его спектр, угловой размер и положение. Однако вследствие слабого разрешения этих источников спектр определяется очень грубо. Угловое положение достаточно яркого источника в сочетании с модуляционным коллиматором может быть получено с точностью до 10″.

Уже полученные результаты обнадеживают. Спутник «Ухуру» (США) и ракеты, запущенные на высоты до 200 км с подобной астрономической аппаратурой, обнаружили свыше 50 дискретных рентгеновских источников, из которых не более 15 отождествляются с известными оптическими объектами.

Для проведения исследований в радиоастрономической области спектра определенную техническую слож-

ность представляет раскрытие в космосе антенн, диаметр которых может достигать нескольких километров. Одна антенна может выноситься в космос, а другая остается на Земле. Хотя разрешение такого радиоинтерферометра может быть довольно высоким — до $2 \cdot 10^{-5}$ угловых секунд,

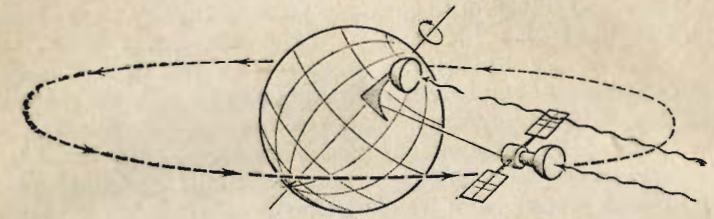


Схема космического радиоинтерферометра

его создание связано с большими техническими трудностями, к числу которых относятся точная ориентация и прецизионная синхронизация обеих антенн, разнесенных на тысячи километров.

## Служба погоды

Современная метеорология содержит четыре больших раздела: климатологию, синоптическую метеорологию, аэрологию и аэрономию. Климатология изучает многолетний режим погоды в отдельных районах земного шара, ставя своей задачей определение характеристик обычных условий погоды. Синоптическая метеорология исследует общие процессы в атмосфере, развивающиеся на больших пространствах. Она разрабатывает методы предсказания погоды. Аэрология и аэрономия изучают верхние слои атмосферы и ионосферу.

Наблюдения за изменениями погоды ведут гидрометеорологические службы различных стран, обмениваясь ежедневно по радио и телеграфу информацией, собираемой с помощью обширной сети гидрометеорологических станций, расположенных на суше, воде и в воздухе. Только в пределах нашей страны имеется больше 4 тыс. таких метеорологических станций и 7,5 тыс. метеопостов, в 6 тыс. пунктов ведутся гидрологические наблюдения.



Свыше 200 станций зондируют атмосферу радиоволнами. Используется информация специальных самолетов и кораблей. И все это огромное количество сведений оперативно поступает в Гидрометеоцентр СССР. Метеорологические станции в течение суток несколько раз измеряют скорость и направление ветра, температуру, влажность воздуха и многие другие параметры, характеризующие текущее состояние атмосферы. Анализируя их, ученые составляют синоптические карты и предсказывают погоду. За много часов, а иногда и дней капитаны судов предупреждаются о надвигающихся штормах, работники сельского хозяйства — о возможных заморозках и дождях, летчики — о грозовых фронтах, силе ветра и видимости.

Однако, как бы ни был многочислен арсенал метеостанций и богат опыт многолетних наблюдений, как бы ни были совершенны современные приборы, всего этого оказывается недостаточно для точного прогнозирования погоды. Это объясняется, во-первых, тем, что свыше 70% всей поверхности Земли покрыто океанами и морями, а значительная часть суши представляет пустыни, горы и полярные области, где разместить стационарные метеопункты трудно или даже невозможно. Во-вторых, даже с существующих станций вести наблюдения весьма сложно. Мы находимся на самом дне воздушного океана и поэтому лучше всего знаем, что делается в нижних слоях атмосферы толщиной в 30—40 км. Воздушные же течения захватывают большие пространства не только по площади, но и по высоте, и наблюдения за ними в отдельных точках не дают полной и достоверной картины.

Поэтому столь неожиданны и порой трагичны многие стихийные явления. Так, в 1963 г. циклон, пришедший с Тихого океана на побережье Охотского моря, вызвал небывалые снегопады, нарушившие телеграфную и железнодорожную связь; в те же дни в Западной Европе невиданные холода привели к гибели свыше 700 человек. Долго не забудутся землетрясения в Ташкенте и Чили, наводнения во Франции и Югославии, случившиеся в последнее десятилетие.

Многих бед, причиняемых стихией, можно было бы избежать, если заблаговременно знать о возникновении стихийных явлений. Научиться предсказывать эти явления — первая задача, а вторая, и более сложная, задача —

научиться управлять механизмом климата. Тогда можно будет «по заказу» вызывать дожди и устранять тучи, исключать засухи и наводнения, циклоны и ураганы.

Запуски искусственных спутников Земли, особенно советских спутников серий «Космос» и «Метеор» и американских типа «Тирос», «Нимбус» и «Аэрос», позволили синоптикам вплотную заняться разработкой Всемирной системы прогнозирования погоды.

Конечно, неправильно считать, что космические наблюдения смогут полностью заменить наземную метеослужбу. Задача тех и других состоит в том, чтобы, дополняя друг друга, всесторонне расширять и углублять информацию, необходимую метеорологам.

В настоящее время выясняются рациональные пропорции в распределении «работы» между метеоспутниками и наземными службами погоды. Одновременно ведутся поиски таких форм и методов наблюдений за параметрами погоды из космоса, которые смогли бы заменить наблюдения, проводимые на Земле: зондирование распределения влагосодержания, температурное зондирование через всю толщу атмосферы, оценки состояния грозовой активности и количества выпадающего дождя.

Познакомимся в общих чертах, чем отличается обычная синоптическая карта от спутниковой информации.

Синоптическая карта содержит данные о погоде, полученные от различных метеостанций, расположенных нередко на больших расстояниях друг от друга. На нее условными значками наносятся зоны облачности и положение фронтов, зоны осадков и центры циклонов, полученные путем интерполяции по отдельным наблюдениям метеостанций и кораблей.

Спутниковая же информация, как принято говорить, дает непрерывные в плоскости изображения ситуации и детали, характерные для фотоизображений.

Изучение полученных со спутников снимков структуры облачных масс позволяет выявить траекторию движения воздушной массы, к которой принадлежит облачность, и может дать представление о режиме ветров на различных высотах.

Определение содержания водяных паров в атмосфере и его вариации дают важный материал для выявления теплового и водного баланса атмосферы, тепло- и влагообмена между морем и сушей. Пары воды сильно влияют на



температуру атмосферы. При испарении происходит аккумуляция тепла, что сопровождается выпадением осадков.

Спутниковая метеорология позволяет по снимкам облачности выяснить вертикальную устойчивость атмосферы и интенсивность вертикального обмена теплом, что открывает возможность определения состояния погоды в пограничном слое атмосферы для большого числа параметров. Оптические и радиометрические методы исследований со спутников позволяют уверенно отличать облачный покров от снежного и, следовательно, прослеживать не только изменения температур подстилающих поверхностей, но и изменения снежного покрова суши, ледового покрова морей.

Для наблюдений за облачным покровом Земли, снеговыми и ледовыми образованиями на спутниках размещается телевизионная аппаратура, с помощью которой проводятся съемки в видимой и инфракрасной частях спектра. Снимки в инфракрасных лучах можно делать днем и ночью. Ночью они являются единственным источником информации, а днем несут своеобразную информацию, отличающуюся от получаемой в видимом спектре,— это данные о ярусности облаков и их вертикальном развитии. Кроме того, достаточно высокая чувствительность инфракрасных датчиков дает возможность обнаруживать теплые и холодные воздушные массы, оценивать температурное поле воздушных масс.

Исследования процессов формирования погоды путем использования фотографий с метеоспутников стали важным средством обнаружения штормов и ледяных полей, слежения за перемещением штормов над океанами, где нет метеостанций. Картина волнения на океанах, как и видимая структура облачности, дает определенные сведения о направлении и скорости ветра в нижних слоях атмосферы, позволяет фиксировать зоны осадков. Правда, дешифрирование спутниковых фотографий осложняется в значительной мере тем, что яркость облаков представляет сложную функцию большого числа факторов.

К числу грозных стихийных явлений относятся тропические штормы. Они многообразны по размерам и интенсивности, поэтому важно обнаружить и проследить направление их развития. С помощью спутника «Тирос-5» в 1962 г. удалось наблюдать эволюцию тайфуна от момента

зарождения до распада. Особенность состояния облачности при прохождении тайфуна состоит в наличии перед основной системой облаков «предураганной» линии шквалов в виде полосы конвективной облачности. Ядро системы облачности тайфуна образовано плотными кучевыми низкорасположенными облаками, предрасположенными к изменениям при попадании на сушу. Фотографии позволили обнаружить связь между размерами структуры облачности и максимальной скоростью ветра и, в частности, установить эмпирические зависимости диаметра зоны облачности шторма от максимальной скорости ветра.

Торнадо (наиболее сильные штормы), наблюдаемые в США и Австралии, характеризуются наличием так называемой материнской облачной системы, вблизи которой размещается вытянутый отросток. Торнадо нередко окружено облачной массой. Яркие зоны облачности диаметром до 300 км представляют скопления дождевых облаков. Скорость ветра в зоне торнадо превышает 100 м/с. Одну из особенностей распределения облачности на Земле составляют спиралеобразные системы, связанные с крупномасштабными циклонами. Фотографии этих вихрей могут служить средством анализа погодообразования, поскольку несут черты конкретного циклона. При этом можно обнаружить наличие сухого и влажного воздуха, зафиксировать положение зон, разделяющих воздушные массы. Последовательное фотографирование развития облачной системы циклона дает возможность проследить его в динамике и установить момент сближения холодного и теплого фронтов, момент перемещения холодного фронта в зону теплого фронта. И, наконец, можно проанализировать стадию распада циклона.

На ряде фотоснимков облачности обнаруживаются зоны облаков ячеистой структуры, правильное строение которых обусловлено, как предполагают, примерным постоянством скорости ветра по мере увеличения высоты. Подобная зона ячеистой облачности располагается на периферии крупного антициклона.

Слоистые облака и туманы, образующиеся, например, при перемещении влажного воздуха над более холодной поверхностью океана в прибрежной зоне, нередко выявляются на полученных со спутников телевизионных изображениях облачного покрова.



Интересны результаты исследований типа облачности. Мелкие облачные элементы, видимые с Земли и служащие для определения типа облачности наблюдателем при обычных условиях, часто не могут быть обнаружены на изображениях, получаемых со спутника. Поле мелких кучевых облаков иногда может казаться тонким покровом слоистых облаков.

Обширные яркие облачные массивы с поперечником порядка сотен километров являются обычно мощной слоистой облачностью. Области меньшей яркости в форме неправильных пятен часто содержат кучево-дождевую облачность. Облачные массивы с малой яркостью состоят из перистых, высоко-кучевых облаков или кучевых облаков хорошей погоды.

Анализ метеоинформации, полученной со спутников, показывает, что, хотя космические фотографии позволяют получать лишь карты облаков и оптически плотных образований, они дают в целом представление о многих метеорологических явлениях.

Так, упоминавшиеся тайфуны имеют характерные облачные образования, расположенные обычно на высотах до 12 км, поэтому по ним можно составить мнение о воздушных течениях на этих высотах. Высота границы облаков определяется на основе спектральных измерений уходящей радиации.

И хотя сейчас предсказание погоды основывается на анализе поля атмосферного давления, по которому определяют фронты воздушных масс, принципиально считают возможным положить в основу предсказания погоды наблюдения за изменениями облачности.

Метеоспутники уже дали людям много полезной информации. Например, в 1967 г. спутник «Космос-144», входящий в систему «Метеор», обнаружил, что Северный Ледовитый океан от острова Врангеля до Берингова пролива практически очистился ото льда; это позволило начать навигацию на месяц раньше обычного срока. С помощью спутника «Тирос-2» в 1961 г. наблюдался и прогнозировался тайфун в районе Новой Зеландии. В восточной части Средиземного моря были выявлены возникающие там струйные течения.

В труднодоступных областях Гималаев ученые с помощью телеснимков установили точный водный режим рек, питающих поля, плантации хлопка, сады. Получен-

ные сведения позволили вести строительство ирригационных сооружений с учетом предполагаемого притока речных вод в летний период.

Метеоспутники неоднократно предупреждали о зарождении и направлении движения крупных циклонов, благодаря чему жители прибрежных районов заранее оповещались о грозящей опасности.

Снимки, получаемые метеорологическими спутниками для составления синоптических карт, соответствующим образом обрабатываются. В США, например, для обработки применяются два метода. Первый заключается в обработке снимков непосредственно на приемной станции и проектировании полученного изображения на координатную сетку. Конфигурация облачности переносится на стандартную синоптическую карту, при этом опытный синоптик предварительно анализирует изображения и отбирает наиболее ценную информацию. Этот метод используется для получения данных, характеризующих синоптические процессы крупного масштаба, таких, как положение центра циклона. Второй метод заключается в построении географической координатной сетки непосредственно на снимке.

При этом учитываются искажения, вносимые оптической системой широкоугольной камеры, и для каждого снимка строится самостоятельная координатная сетка в соответствии с ориентацией камеры по отношению к местной вертикали.

Наряду с информацией об облачном покрове Земли существует еще один комплекс элементов, данные о которых мы получаем с метеорологических спутников,— это сведения о потоках тепловой радиации, поступающих к Земле и теряемых ею. В частности, на ряде метеорологических спутников ставилась задача получения крупномасштабных полей радиации, уходящей в мировое пространство от земной поверхности и атмосферы, которые находятся в поле зрения приемников. Поскольку уходящая радиация определяется отражательными и излучательными свойствами земных объектов и характером воздушных масс, то из анализа временны́х и пространственных вариаций радиационных полей можно в принципе составить представление о соответствующих вариациях полей метеорологических элементов и провести анализ облачного покрова, взаимодействующего с соответствующими воздушными массами, проследить за их перемещениями в пространстве и изменениями во времени.



Результаты, полученные по радиационно-тепловому режиму системы Земля — атмосфера, используются для разработки теории климата и построения модели атмосферы.

Количество информации, передаваемой метеорологическим спутником только за один виток, можно сравнить с информацией, получаемой от 15—20 тыс. наземных станций. Вся она должна быть обработана к началу следующего витка. Сеанс передачи информации начинается по команде с Земли или в соответствии с программой полета. Информацию с орбиты можно получать непосредственно, без запоминания на борту, что особенно ценно для оперативного прогноза погоды. В перспективе ставится задача получения «космической метеорологической газеты» в любое время суток и даже каждый час.

Сколько же потребуется спутников для обеспечения такой ежечасовой информации? Оказывается, все зависит от орбиты спутников. Например, если спутники запускать на экваториальную орбиту, то для решения этой задачи достаточно иметь два спутника с двухчасовым периодом обращения и сдвигом по фазе на полпериода. В этом случае в любой точке экваториального пояса можно получать телевизионные снимки через каждый час. Если же одновременно на полярную орбиту вывести 6—8 спутников, то в низких широтах телевизионные снимки будут получаться с цикличностью чуть менее часа, а в высоких широтах будет достигнуто перекрытие по времени и площади. При этом через каждые 6 ч могут быть построены мировые карты географического распределения данных, полученных со спутников.

Согласно другим расчетам спутники следует выводить на орбиту высотой 500 км и с наклоном под углом к полюсу по направлению на запад. Используя систему этих спутников, запускаемых с последовательным сдвигом по времени с таким расчетом, чтобы они пересекали все широты через определенные промежутки времени, можно осуществить практически непрерывное прослеживание метеопроцессов по всей земной атмосфере.

Определенный интерес может также представлять проект системы из трех экваториальных спутников, имеющих стационарную орбиту с высотой 35 870 км с периодом

обращения 24 ч. В этом случае спутники будут вращаться синхронно с Землей, как бы зависая над определенными точками экватора. Ценность системы состоит также в возможности использования ее как почтового ящика, где может сосредоточиваться информация с других метеорологических спутников и затем передаваться на наземные пункты сбора информации.

В перспективе вырисовывается задача — создать всемирную службу погоды. Для этой цели требуется автоматизировать все измерительные процессы, выполняемые на гидрометеорологических станциях и местных бюро погоды. Дело в том, что многие метеонаблюдения выполняются только визуально, поскольку не существует совершенных приборов, а иногда и физических принципов, позволяющих автоматически производить наблюдения. Это, например, фиксация ряда атмосферных явлений, форм облачности, оценка погоды.

По мнению ряда специалистов, автоматические гидрометеорологические телеизмерительные системы должны стать опорным звеном комплексной автоматизированной системы. Одна система сможет охватить район в 20 000 км² и освободить от тяжелой работы тысячи квалифицированных специалистов. По всему району наблюдений разместятся первичные измерительные приборы, производящие автоматические измерения и передающие полученную информацию в гидрометеопункт.

### Система космической связи

Дальность распространения радиоволн зависит от их длины. Длинные волны могут огибать Землю, хотя и теряют при этом бóльшую часть своей энергии. Короткие волны обеспечивают значительно большую дальность радиосвязи вследствие многократного отражения от расположенных на небольших высотах слоев ионизированного газа и земной поверхности. Ультракороткие волны (УКВ) распространяются только в пределах прямой видимости. Однако именно в этом диапазоне длин волн обеспечивается наиболее спокойная работа в эфире. При этом на УКВ может одновременно работать множество радиостанций, не мешая друг другу.

За последнее десятилетие ученые и конструкторы разработали ряд мероприятий, направленных на увеличение дальности радио- и телевизионной связи: спроектировали более совершенные системы, увеличили мощность передающих и чувствительность приемных станций, создали сеть ретрансляционных линий. Однако сплошная радиофикация даже средней по масштабам европейской страны требует создания многих десятков передающих станций, связанных специальными кабелями. Для нашей страны, имеющей громадную территорию и труднодоступные районы, эта задача крайне сложна. Ведь каждая линия кабельной или радиорелейной связи, состоящая из большого количества промежуточных ретрансляционных станций, требует установки дорогостоящей приемно-передающей аппаратуры, строительных работ, источников энергопитания и постоянного технического обслуживания. Например, для радиорелейной линии Москва — Владивосток необходимо около 150 наземных ретрансляторов, а для кабельной линии такой же протяженности — свыше 1 тыс. усилительных пунктов.

В настоящее время применяются три основных типа линий связи: магистральные, большое количество которых сходится в центральный пункт, откуда по общему магистральному каналу осуществляется связь с другим аналогичным пунктом, где линии, снова разветвляясь, направляются к абонентам; линии связи между центром связи и движущимся объектом (корабль, самолет, вертолет); линии связи между движущимися объектами. Основная масса так называемых коммерческих связей, число которых постоянно растет, осуществляется по линиям первого типа. Например, если в 1969 г. число трансатлантических двусторонних телефонных связей между Европой и США составляло 2 млн. (345 каналов), то по прогнозам на 1980 г. предстоит обеспечивать около 120 млн. связей, что потребует до 12 тыс. каналов. Растет потребность и военных служб в линиях для обеспечения координации и функционирования армейских частей.

Известно, что одна наземная радиостанция может охватить своим «радиополем» примерно 15 тыс. км². А если ретранслирующее устройство установить не на мачте, а на борту спутника, то можно создать системы связи, способные охватить весь земной шар.

Принцип использования спутников для обеспечения дальней радиосвязи состоит в том, что в линиях связи, ра-

ботающих в диапазоне УКВ, они выполняют роль промежуточных станций, ретранслирующих радиосигналы от одной наземной станции к другой. Как и в обычных радиорелейных линиях, различают пассивную и активную спутниковую ретрансляцию.

В первом случае спутник является простым отражателем, оболочка которого имеет, например, форму сферы (американский спутник-ретранслятор «Эхо»). Для пассивной ретрансляции необходимы значительная мощность передающей и высокая чувствительность приемной станций, а также низкие орбиты спутника. Несмотря на очевидные достоинства такого ретранслятора (высокая надежность и широкополосность), перспективным он не считается. Об этом будет сказано ниже.

Во втором случае на спутнике производится усиление принятого с Земли сигнала и последующая передача его на другую наземную станцию. Активные ретрансляторы могут работать как с задержкой, так и без задержки связи. При работе с задержкой связи спутник, пролетая над пунктом передачи данных, принимает и запоминает полученную информацию, а над пунктом приема по команде с Земли передает ее. В этом случае спутники могут запускаться на низкие орбиты (порядка 300 км) и иметь незначительные мощности передающих систем. Однако малые высоты орбит ограничивают длительность сеансов связи двумя-тремя минутами.

В случае работы без задержки связи спутник непрерывно передает потребителю принятую информацию, только на другой частоте. При этом связь будет осуществляться лишь в случае, если спутник одновременно виден из мест передачи и приема. Передача без задержки возможна и между более удаленными объектами на Земле через систему связанных в единую цепочку спутников-ретрансляторов. Ретрансляция с задержкой применена в системе «Курьер», а непрерывная — в системах «Молния» и «Реле».

Пассивные ретрансляторы делятся на стабилизированные и нестабилизированные. К стабилизированным относятся плоские отражатели, отражатели бортового рассеяния, закороченные антенны. Однако стабилизированные пассивные ретрансляторы требуют применения электронных систем управления пространственным положением аппарата, что сводит на нет главное достоинство этих систем — надежность и простоту, свойственные пассивным отражателям. К нестабилизированным отражателям относятся наборы линз Люнеберга, уголковые отражатели, облака «иголок», металлические сферы.



Пассивные ретрансляторы — это обычно пустотелые шары диаметром в несколько десятков метров, поверхность которых покрыта алюминиевой фольгой. Например, запущенный в 1964 г. американский спутник «Эхо-2» представлял надувной шар диаметром 41 м с оболочкой из пластмассовой пленки, имеющей зеркальное металлизированное покрытие. Позднее разрабатывались проекты спутников «Супер Эхо» с диаметром до 300 м.

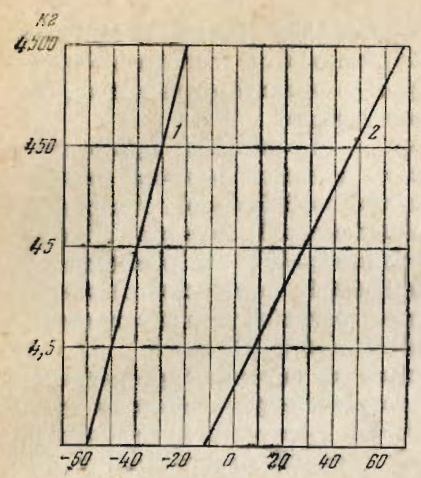
Главный недостаток пассивных спутниковых ретрансляторов — большие потери энергии отраженного сигнала от спутников с ненаправленной диаграммой излучения, пропорциональных четвертой степени расстояния; у активных ретрансляторов затухание подчинено закону второй степени.

Сравнение весов пассивных и активных отражателей, обеспечивающих одинаковую переизлученную мощность на единицу активной мощности, показывает, что увеличение размеров пассивных спутников для получения большого усиления и мощности приводит к недопустимому увеличению веса.

Не в пользу пассивных систем оказывается и сравнение по количеству информации, которая может ретранслироваться в единицу времени. Так, при высоте орбиты 1 тыс. км скорость передачи информации с учетом реальных ограничений составляет $10^5$ бит/с для пассивного сферического спутника диаметром 30 м и $10^8$ бит/с для активного спутника мощностью 1 Вт.

Определение конкретной орбиты для спутника-ретранслятора является чрезвычайно сложным вопросом, связанным с выбором ряда других элементов и параметров системы: количеством и расположением наземных пунктов, числом каналов, ограничениями, накладываемыми на время запаздывания сигнала, параметрами ракеты-носителя, характеристиками спутника и наземных станций.

Расширение зоны связи за счет увеличения высоты орбиты спутника существенно примерно до 8 тыс. км. При этом круговые орбиты более выгодны с точки зрения постоянства зоны связи и отношения сигнал/шум. Преи-




**Зависимость веса ИСЗ от излучаемой мощности:**

*1* — пассивный сферический отражатель,
*2* — активный ИСЗ;
по горизонтали — переизлученная мощность в дб относительно 1 Вт

мущество вывода на эллиптическую орбиту в другом — спутник может иметь больший вес по сравнению со спутником, выводимым на круговую орбиту, высота которой равна апогею эллиптической орбиты (при одинаковых весах ракет-носителей). Кроме того, на эллиптических орбитах может экономичнее обеспечиваться связь между наземными станциями, расположенными в ограниченном диапазоне широт.

Именно на эллиптическую орбиту с параметрами: перигей 497 км, апогей 39 380 км — в 1965 г. был выведен советский спутник связи «Молния-1». Большая величина эксцентриситета орбиты, расположение апогея над Северным, а перигея — над Южным полушариями обеспечили при наличии одного спутника сеансы связи между Москвой и Владивостоком продолжительностью до 9 ч при общем периоде обращения 11 ч 48 мин. Однако у ретрансляторов с эллиптическими орбитами имеются и существенные недостатки: необходимо изменять усиление бортовой антенны вследствие переменности расстояния до Земли, а при перигеях менее 370 км торможение в атмосфере приводит к нестабильности орбиты.

На какие же высоты целесообразно выводить ретрансляторы?

Установлено, что существует критическая высота порядка 9250 км, ниже которой можно использовать ненаправленные антенны и сравнительно простые спутники.



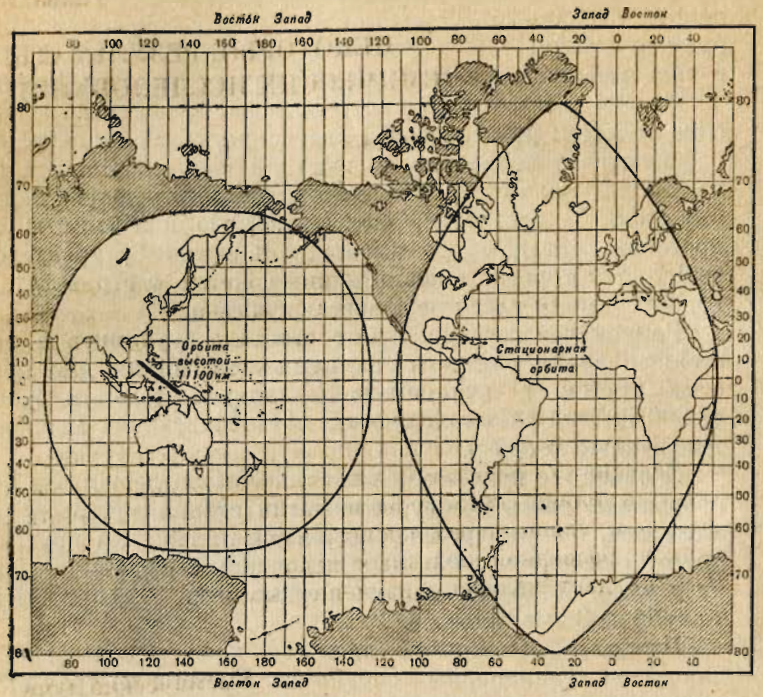
На больших высотах целесообразнее применять направленные стабилизированные антенны, что сокращает требуемое количество спутников для обеспечения связи в пределах одного и того же района поверхности Земли.

На выбор высоты орбиты оказывают влияние космические условия: рентгеновское излучение, гамма-лучи, ультрафиолетовое излучение и высокий вакуум. Защита от излучений может обеспечиваться соответствующей экранировкой. В частности, подсчитано, что для защиты от протонов, обладающих высокими энергиями, требуется толщина материала экрана порядка 25 см, а это ведет к недопустимому росту веса всего спутника.

Рациональными для орбит связных спутников в настоящее время считаются высоты менее 1850 км для простых систем и внутриконтинентальной связи и более 18 500 км для сложных систем, обеспечивающих межконтинентальную связь.

Сколько же нужно спутников, чтобы поддерживать непрерывную связь между наземными станциями, расположенными, например, на расстоянии 5 тыс. км друг от друга? Подсчитано, что, если спутники выведены на орбиту высотой 1,5 тыс. км, их должно быть 400, при высоте орбиты 8 тыс. км— 40.

Наиболее заманчивой является идея использования для связи стационарных спутников. Система из трех стационарных спутников, равномерно распределенных по орбите, сможет обеспечить прием радио- и телевизионных передач в любой точке земного шара, за исключением полярных областей. Сравнение зон перекрытия системы из десяти спутников, находящихся на орбите высотой 11,1 тыс. км, и системы стационарных спутников показывает, что у последней системы зона перекрытия значительно больше. Эффективность ретрансляции при использовании стационарного спутника не зависит от местоположения наземной станции, в то время как при более низких орбитах она уменьшается по мере удаления станции от экватора. Однако такая система связи имеет и ряд существенных недостатков. К ним относятся: низкая надежность, поскольку выход из строя одного спутника нарушает работу всей системы; необходимость больших мощностей передатчиков, расположенных на спутниках; необходимость применения на спутнике системы стабилизации и ориентации; большая потребная мощность ракет, выво-




**Зоны охвата земной поверхности спутниками связи, запускаемыми на разные высоты:**

слева — одним из десяти спутников с высоты 11 000 км, справа — одним из стационарных спутников (высота 35 000 км)

дящих спутник на орбиту; значительная задержка сигнала во времени.

Остановимся подробнее на последнем факторе. Существует практический допуск на время задержки телефонных сигналов — в телефонной цепи при одностороннем распространении сигнала задержка не должна превышать 0,25 с. При использовании двухпроводных линий такая задержка приводит к появлению эхо. Для улучшения качества сигнала в длинных цепях используются эхозаградители, прерывающие передачу сигнала на время приема, однако применение эхозаградителей может привести к перерывам или искажению речи.

Для спутника, находящегося на стационарной орбите, задержка сигнала во времени будет доходить до 0,27 с, поэтому его использование для телефонной связи вряд ли целесообразно. Более перспективно применение такого спутника для передачи телеграфных, фототелеграфных и телевизионных сигналов.

Другим важным фактором, определяющим выбор орбиты, является время, потребное на замену спутника на орбите. Внезапный выход из строя аппаратуры может, например, произойти при отказе источников питания, нарушении функционирования элементов электронной аппаратуры или системы ориентации. В этом случае время, необходимое для замены спутника с высотой орбиты 11 тыс. км, составит примерно 1,5 ч, а для спутника со стационарной орбитой — в 3 раза больше. Кроме того, надо учитывать, что на низких орбитах выход из строя одного из спутников при расположении их по кольцу приведет лишь к уменьшению зоны постоянного перекрытия или коротким перерывам связи; выход из строя стационарного ИСЗ вызовет длительный перерыв связи.

Считается, что линия связи, использующая спутники, станет экономически оправданной, если продолжительность безотказной работы спутника будет составлять несколько лет. Этот фактор предъявляет жесткие требования к надежности устройств, установленных на спутниках. Они должны выдерживать механические и тепловые удары, работать в условиях вакуума и высокой радиации, выдерживать ускорение до 15 $g$ при вибрациях с частотой до 2 тыс. Гц. Известно, что надежность может быть повышена за счет резервирования каналов связи и состава аппаратуры, однако это ведет к увеличению веса, габаритов и потребляемых мощностей, что вступает в противоречие с ограничениями на эти параметры, налагаемыми характеристиками ракеты-носителя.

При создании и эксплуатации системы спутниковой связи основная стоимость распределяется между тремя элементами: спутниками, средствами запуска и наземными станциями. Стоимость спутников будет минимальной, если выполнять их в виде небольших пассивных ретрансляторов, и наибольшей — для активных ретрансляторов со стабилизированными направленными антеннами. Кроме того, если срок службы спутника будет меньше полу-

тора-двух лет, основную часть затрат на эксплуатацию составят затраты на замену спутника.

Стоимость средств запуска зависит от сложности способа запуска и мощности ракеты, предназначенной для вывода спутника. Так, по зарубежным данным, ориентировочная стоимость одного запуска простого нестабилизированного спутника-ретранслятора составляет до 5 млн. долларов, стабилизированного многофункционального ретранслятора — до 10 млн. долларов.

Основным конкурентом космической связи на трансокеанских линиях являются подводные кабели, однако сравнение стоимости эксплуатации этих систем показывает преимущество космической системы. Действительно, расходы на содержание трансокеанской линии протяженностью 5,5 тыс. км составляют примерно 27 тыс. долларов на один телевизионный канал по сравнению с 10 тыс. в системе со спутником.

Внедрение спутников-ретрансляторов в настоящее время идет по пути использования их для радиотелефонной, фототелеграфной и телеграфной связи, а также для передачи программ телевидения.

Строительство широкой сети наземных приемных станций космической связи, подобных станциям отечественной системы «Орбита», позволит сделать космический мост одной из основных форм дальней связи. Спутниковая система связи выгодна для оперативной передачи метеокарт, матриц газет, что позволяет снабжать население отдаленных районов нашей страны центральными газетами в день их выхода из печати.

Не менее важная роль отводится космической связи в телевидении. Благодаря системе «Орбита» программы центрального телевидения стали достоянием многих десятков миллионов советских телезрителей. Создать подобную сеть приема программ центрального телевидения в таких отдаленных областях нашей страны, как районы Крайнего Севера и Дальнего Востока, и к тому же в короткий срок без использования спутников было бы невозможно. С помощью спутниковой связи осуществляются прямые телепередачи между Европой, Америкой и другими частями света. Пройдет немного лет, и любая крупная страна сможет передавать свои радио- и телевизионные программы на всю планету. Правда, при этом встает проблема несовместимости телесистем вследствие различия



в стандартах сигналов и типах приемников, существующих в различных странах. Так, стандартное число строк телевизионных систем в Австрии, Бельгии и СССР — 625, США — 525, Англии — 405. Имеются различия в модуляции канала звукового сопровождения, например в Австрии, Франции, США применяется частотная модуляция, в Бельгии и Англии — амплитудная. Общая ширина полосы в Австрии — 7, во Франции — 14, а в Англии — 5 МГц.

Обнадеживающие результаты эксплуатации экспериментальных спутниковых систем связи позволили поставить ряд новых задач, решение которых в ближайшее время даст качественный скачок в создании всеобщей системы массового обслуживания.

В число таких задач входит, например, обслуживание наземного командно-измерительного комплекса, обеспечивающего полеты спутников и межпланетных автоматических станций. Функционирование системы спутниковой связи для этих целей позволит отказаться от разветвленной сети самолетных и корабельных станций слежения, используемых ныне для связи с космическими аппаратами. Проводятся эксперименты по организации воздушного движения с помощью системы связи на базе спутников со стационарными орбитами, при этом данные о координатах самолета посылаются с борта самолета на спутник и далее ретранслируются на наземную станцию сбора данных для передачи их на центральный диспетчерский пункт. Рассматриваются проекты использования связной системы для сбора информации с метеорологических спутников, метеорологических шаров-зондов и автоматических станций погоды, а также со спутников, предназначенных для исследования природных ресурсов Земли и тайн океанов. Разрабатывается аппаратура спутников, позволяющая ретранслировать радиопрограммы и телепрограммы непосредственно на бытовые приемники, минуя промежуточные приемные станции.

Встает вопрос о создании спутников-ретрансляторов на орбитах вокруг Марса, Венеры, Луны, что позволит осуществлять связь космических аппаратов с Землей в момент их нахождения на не видимой с Земли стороне планеты. Один из таких проектов предусматривает выведение спутника связи в точку либрации, на расстояние порядка 65 тыс. км от Луны над ее невидимой стороной.

Определять свое местоположение, располагаясь на суше, вблизи опорных ориентиров, как правило, не очень сложно. Значительно сложнее это сделать, находясь, например, на самолете в воздухе или на корабле вдали от берегов. Надо учитывать, что при этом стоит задача не только точного определения координат, но и прокладки курса, обеспечивающего прибытие в пункт назначения.

В то же время все возрастающие скорости полета самолетов, увеличивающиеся дальности передвижения кораблей выдвигают и более высокие требования к методам и средствам вождения.

Еще 15 лет назад в США было принято решение о повышении точности средств кораблевождения в военно-морском флоте, что должно обеспечить определение координат корабля с ошибкой до ±2 миль за время не более 10 мин. В отношении подводных лодок, находящихся в плавании в погруженном состоянии в течение месяцев, последний параметр приобретает особую актуальность.

Торговый флот также выработал определенные требования к средствам обеспечения навигационной безопасности плавания судов: точность их показаний должна быть не хуже 1% от расстояния до опасного места при плавании в океане, а при перемещении в гаванях — не хуже 50 м при расстоянии до ближайшей опасной точки менее 3 миль.

При движении корабля периодически производится определение его местоположения. А в промежутках между этими моментами осуществляется счисление пути с учетом различных факторов — скорости течения, скорости ветра, волн. Для счисления пути применяются графические, аналитические и автоматические методы соответственно по графикам, формулам и таблицам, или счетно-решающие устройства — автопрокладчики. Для любого из названных методов исходными являются сведения, вырабатываемые системами курсоуказания и измерения скорости корабля.

Курс определяется с помощью гирокомпасов, среднеквадратическая ошибка в измерении которых составляет примерно 0,5°. Измерение скорости осуществляется лагами; относительная ошибка их измерения составляет 1%. Недостаток этих приборов состоит в том, что они не учи-



тывают метеорологических факторов в процессе измерений. От подобных ошибок свободны системы, основанные на замерах истинного перемещения аппарата,— инерциальные системы. Однако и они страдают серьезным недостатком — не способны определять координаты точнее тех, которые были в них заложены. Ныне известны инерциальные системы, способные обеспечивать среднеквадратическую ошибку хранения координат в 0,1 миль/ч. Поэтому в длительных морских походах инерциальная система должна периодически корректироваться.

Как известно, с давних времен мореплаватели определяют положение корабля в море или океане с помощью звезд или планет астрономическими методами. Способ этот достаточно надежный. Но воспользоваться им можно, если небо не закрыто облаками и хорошо видна линия горизонта, что случается не так уж часто. Достаточно сказать, что в северных широтах Тихого океана вероятность облачной погоды (облачность свыше 8 баллов) составляет 40—80%.

Для определения направления на светило используют угломерные приборы — секстанты, точность которых зависит не столько от совершенства инструмента, сколько от опыта штурмана. В среднем она составляет 0,7′.

Радиотехника дала штурману радиопеленгационные устройства. Способ уточнения местоположения с их помощью состоит в одновременном определении направления на две передающие радиостанции, положение которых нанесено на карте. Радиотехнические средства позволяют определять местоположение с точностью ±1% от расстояния до береговых реперных радиостанций. А если это расстояние составляет 1 тыс. миль, то ошибка может достичь 10 миль. Однако действие сети дальней радионавигации охватывает в основном прибрежные районы и направления основных морских путей. В то же время значительная часть океанов оказалась вне зоны их действия.

В настоящее время средства навигации применяются в комплексе, куда входят, в частности, три инерциальные навигационные системы, радиосекстант, астронавигационный перископ, электромагнитный лаг, курсоуказатели, глубиномеры, электронно-вычислительная машина. Однако и этот сложный навигационный комплекс не может обеспечить требуемую точность навигации по всему земному шару.

В поисках более точных методов определения координат движущихся объектов специалисты обратились к ИСЗ. Их использование для навигационных целей возможно благодаря закономерному обращению вокруг Земли, в результате чего в каждый момент времени можно с высокой точностью указать положение спутника относительно земной поверхности. Следовательно, определив положение подвижного объекта относительно навигационного спутника, можно рассчитать положение объекта в земной системе координат.

Основным достоинством навигационной спутниковой системы является возможность решения навигационных задач в любых метеорологических условиях с достаточно высокой точностью. Такая система позволяет круглосуточно обслуживать неограниченное количество потребителей на большой площади земного шара.

Спутниковая радионавигационная система представляет достаточно сложный комплекс оборудования. Она включает в себя: несколько навигационных спутников, обращающихся вокруг Земли по заданным орбитам и имеющих на борту специальное радиотехническое оборудование; бортовые радионавигационные станции, установленные на кораблях или самолетах для измерения навигационных параметров и вычисления географических координат местоположения этих объектов; сеть наземных станций контроля параметров орбит спутников; вычислительный центр, координирующий работу всей спутниковой навигационной системы и прогнозирующий эфемериды (предвычисленные координаты) спутников на ближайшее время на основе данных контрольных станций; службу времени, позволяющую вести счисление времени с точностью до 0,01 с и выдающую временные поправки; радиотелеметрическое и связное оборудование для передачи команд и различной информации с Земли на спутники и обратно с целью обеспечения связи контрольных пунктов с вычислительным центром.

Принцип работы системы основан на использовании спутников как опорных точек, позволяющих получать необходимую пеленгационную информацию. Если спутник находится на орбите с известными элементами, то вычислить его эфемериду нетрудно. А имея таблицы эфемерид, можно, казалось бы, вычислить и координаты нашего объекта. Однако на деле все гораздо сложнее.



Необходимо учитывать изменение орбит спутников с течением времени. Причины этих явлений следует искать в нецентральности поля тяготения Земли (и, следовательно, переменности силы тяжести), во влиянии сил сопротивления атмосферы, притяжения планет и т. д. Поэтому задача предвычисления положения спутника с учетом реальных возмущений весьма объемна.

Известна методика предсказания положения спутника, разработанная для системы «Транзит» (США). На поверхности Земли располагают на значительном расстоянии друг от друга четыре радиостанции слежения за спутниками, вычислительный центр, станцию ввода информации на спутники и службу времени. Станции слежения производят измерения параметров движения спутника в тот момент, когда он проходит над ними, вводят поправки и передают информацию в вычислительный центр. Эти данные используются при определении орбиты, а затем передаются на станцию ввода. В момент появления спутника в зоне видимости второй станции первая посылает на спутник необходимую информацию и выдает команду, по которой его оперативная память освобождается от старых данных и запоминает новые. Производится контроль правильности ввода новых данных, после чего память отключается на половину суток — до входа спутника в зону действия станции. Далее спутник в соответствии с программой будет раз в две минуты передавать информацию. На корабле имеется специальный синфазный приемник, информация с которого после обработки печатается на ленте.

Для надежного определения местоположения корабля достаточно двухминутных интервалов. Однако сложность создания такой системы связана с обеспечением возможности выполнения запоминающего устройства с большой емкостью памяти — 25,2 тыс. двоичных знаков, при этом точность определения координат высокая (характеризуется среднеквадратическим отклонением координаты спутника — 0,25 миль/сут).

В настоящее время спутниковые навигационные системы не позволяют непрерывно определять координаты подвижных объектов, поскольку из-за вращения Земли вокруг оси в каждой точке на земной поверхности спутник может наблюдаться лишь несколько раз в сутки, причем каждый раз сравнительно небольшое время. Если

спутников несколько, например четыре, место подвижного объекта можно уточнять через каждые два часа.

Для определения координат корабля в принципе могут применяться импульсные, амплитудные, фазовые и частотные методы измерений, на основе которых можно создать ряд радионавигационных систем: угломерную, дальномерную, допплеровскую и комбинированную. Для применения любого из этих методов измерений на навигационном спутнике необходимо разместить передатчик, работающий в режиме передатчика-ретранслятора запросных сигналов. Излучаемые им колебания принимаются на объект (самолет или корабль) и используются для определения координат. Одновременно на объект передаются эфемериды спутника, относящиеся к моментам навигационных измерений. Эфемериды могут, к примеру, вводиться периодически по радиоканалу в запоминающее устройство спутника и подаваться в его передающее устройство для дополнительной модуляции колебаний передатчика.

*Угломерный метод.* На спутнике устанавливается передатчик, генерирующий непрерывные колебания. С помощью радионавигационной станции, расположенной на самолете или корабле, пеленгованием передатчика спутника определяются его угловые координаты (высота, азимут или их производные).

При определении места объекта по угловым высотам применяется способ обработки результатов измерений, используемый в астрономии. Измерения затрудняются большими угловыми скоростями перемещения спутника относительно объекта наблюдений и вследствие этого наличием значительного перспективного смещения объекта — параллакса. Однако при этом быстрое изменение высоты и азимута спутника позволяет примерно за 5 мин получить более двух линий положения.

При определении места корабля по азимутам предполагается последовательно измерять два азимута на спутник с одновременной точной засечкой моментов измерений; положение корабля находится как точка пересечения двух линий равных азимутов.

*Дальномерный метод.* Предполагается, что наблюдатель может измерять наклонение дальности до спутника. Координируемый объект выполняет роль запросчика, а радиотехническое оборудование навигационного спутника — роль ответчика.



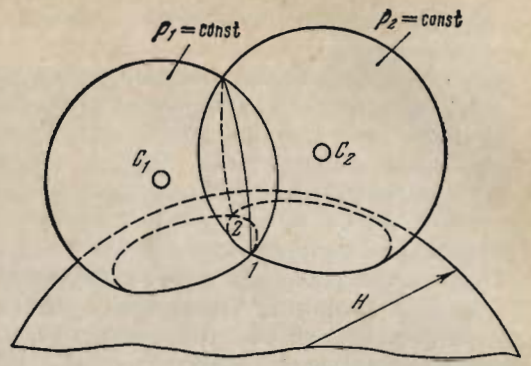



**Схема дальномерного метода определения положения объекта по двум спутникам**

Измерив дальность в момент $t_1$, можно найти поверхность возможного положения объекта $C_1$, представляющую собой сферу, в центре которой находился спутник в момент измерения (см. рисунок). Вторую поверхность положения $C_2$ можно определить, измерив одновременно расстояние и до второго навигационного спутника или до того же самого объекта, но в момент времени $t_2$. Третья поверхность определяется просто, поскольку известна высота полета (для самолета) $h_{сам}$, а следовательно, и геоцентрическая высота, отсчитываемая от центра Земли, $H=R_з+h_{сам}$. Проведя из центра Земли сферу с радиусом $H$, мы и получим эту поверхность.

Три поверхности при пересечении дадут два возможных местоположения объекта: истинное (1) и ложное (2), причем истинное определяется просто — оно слишком далеко отстоит от ложного.

*Допплеровский метод.* Идея метода состоит в определении относительной скорости спутника. Вначале, когда спутник находится на горизонте, скорость изменения расстояния максимальна; в момент, когда линия визирования спутника перпендикулярна к вектору его относительной скорости, изменение расстояния близко к нулю; оно снова возрастает до максимума в последующий момент времени.

Примерно такую же картину изменения частотного параметра радиосигнала, как и изменение дальности, можно получить при использовании широко известного

эффекта Допплера. Сущность его в том, что при изменении относительного положения передатчика и приемника частота сигнала, принимаемого приемником, отличается от частоты сигнала, излучаемого передатчиком, на величину, называемую допплеровским сдвигом частоты.

Измеряя частоту принимаемого со спутника сигнала, можно определить время, когда допплеровский сдвиг частоты равен нулю. Это будет в момент, когда наблюдатель попадает в плоскость, перпендикулярную к вектору относительной скорости спутника.

Существует еще один метод определения места объекта, основанный на использовании спутников со стационарной экваториальной орбитой, когда они могут рассматриваться как неподвижные радиозвезды. Если на стационарную орбиту вывести три спутника, отстоящих друг от друга на равные расстояния, их совокупность позволит определять штурманам положение объекта в любой точке нашей планеты, кроме полярных областей.

В этом случае не надо решать уравнения движения спутника; достаточно ввести поправку на изменение координат спутника вследствие влияния внешних сил. Точность определения местоположения наблюдателя, видимо, будет не хуже, чем при обычных астроизмерениях, причем основными методами измерения могут быть штурманские методы — высотный или дальномерный.

Получение навигационных параметров спутников может осуществляться с оптическими, визуальными, радиолокационными, допплеровскими и фотооптическими системами. Визуальные, оптические и фотооптические системы имеют ограниченное применение по времени суток, например когда спутник еще освещен Солнцем, но небо уже сумеречное. Однако оптические системы являются более точными, чем, например, радиотехнические, позволяя определять направление с ошибкой не хуже 5—10″. Фотооптические системы могут обеспечивать еще бóльшую точность.

Достоинства радиолокационных систем наблюдений за навигационными спутниками — в их всепогодности и круглосуточности использования, а также в быстроте проведения замеров. Однако угловая точность измерения направления пока еще не превосходит 30″.

В США запущено несколько экспериментальных спутников, целью которых является проверка возможности



создания навигационной системы, отработка методов наблюдения за спутником и создания навигационных карт.

Первый запуск оказался неудачным — спутник упал в Атлантический океан. Второй навигационный спутник «Транзит-1В» был запущен в 1960 г. Он оборудован приборами измерения навигационных параметров, радиотелеметрическими устройствами, аппаратурой, обеспечивающей слежение за спутником, приборами управления бортовыми системами, источниками электропитания. Принцип работы системы «Транзит» основан на эффекте Допплера. Чтобы уменьшить влияние ионосферы на точность измерений, спутники снабжены радиопередатчиками, излучающими четыре когерентные частоты. На спутнике используется одна сферическая антенна, с помощью которой осуществляется как передача навигационных и телеметрических данных, так и прием команд.

Однако запуск спутника «Транзит-1В» оказался не столь успешным, как ожидалось. Он не вышел на запланированную круговую орбиту со средней высотой 925 км. Реальные параметры его эллиптической орбиты составляли: высота перигея 375 км, апогея 754 км; в результате время существования спутника сократилось с 50 до 6 лет. Аппаратура спутника в ходе эксперимента работала удовлетворительно, что позволило обеспечить точность определения местоположения в среднем 0,5 км.

Экспериментальные запуски навигационных спутников показали, по мнению американских специалистов, возможность создания навигационной спутниковой системы на принципе Допплера. Установлено, что для средних и малых широт возможен точный учет влияния иносферы на прохождение радиоволн.

Основной причиной ошибок в прогнозировании орбит высотных спутников является неточное знание гравитационного поля Земли. В среднем ошибки прогнозирования орбиты на сутки вперед составили 0,5 мили, а экстраполяция орбиты на четверо суток вызвала увеличение ошибки до 3 миль.

Результатом отработки экспериментального варианта системы «Транзит» должен стать эксплуатационный вариант на базе четырех спутников с круговыми орбитами на высотах около 1 тыс. км (это позволит продлить их время существования до 50 лет и радиус зоны наблюдаемости спутника до 3 тыс. км).

Перспективы у космической навигационной системы обширные: она может использоваться кораблями и подводными лодками, крупными лайнерами и судами нефтеналивного флота, трансокеанскими самолетами. Применение этой системы позволит самолетам и кораблям выбирать рациональные маршруты следования, сокращать расходы на поисково-спасательные работы, может способствовать безопасности навигации.

Согласно расчетам, приведенным в журнале «Авиэйшн уик» (США), данные, полученные от навигационных спутников, позволят сократить длительность трансокеанских рейсов в среднем на 45 мин в сутки и обеспечат ежегодную экономическую выгоду в масштабах океанского торгового флота в размере 130 млн. долларов.

Глава 8

# КОСМОС — АРЕНА МЕЖДУНАРОДНОГО СОТРУДНИЧЕСТВА

Поскольку в ходе исследований космоса решаются задачи планетарного масштаба, здесь, как ни в одной другой области, велико значение международного сотрудничества. Характерен в этом отношении тот факт, что начало космической эры приходится на Международный геофизический год — мероприятие, не имеющее прецедента в прошлом. Более 5 тыс. научных станций, обсерваторий и экспедиций многих стран проводили исследования по различным разделам программы МГГ.

Дальнейшие успехи в изучении околоземного космоса, Луны, планет Солнечной системы, межпланетного пространства неразрывно связаны с расширением фронта экспериментальных работ, совершенствованием техники космических экспериментов, целеустремленным и планомерным наращиванием прилагаемых в этой области усилий ученых. Как ранее в изучении Антарктиды, так ныне в изучении космоса наступает этап всесторонних и систематических исследований, на котором особенно большое значение приобретает координация работы ученых разных стран, более тесное международное сотрудничество в выполнении комплексных длительных научных программ.

Международное сотрудничество в космических исследованиях ныне осуществляется по многим каналам. Имеются специально созданные для этой цели международные организации, заключены различные двусторонние и многосторонние соглашения, организуются международные конгрессы и конференции ученых, ведется обмен научной и технической литературой. Одной из форм научных связей являются коллективные, осуществляемые одновременно из многих стран визуальные и фотографические наблюдения спутников.

Широкий характер приобрело сотрудничество ученых братских стран социалистического содружества. Верный принципам интернационализма, Советский Союз щедро делится накопленными знаниями и опытом во всех областях науки и техники. Все больше это сотрудничество распространяется и на космическую науку и технику.

На совещании представителей социалистических стран в ноябре 1965 г. СССР предложил осуществить совместные эксперименты с помощью советских спутников и геофизических ракет. Первая такая работа была выполнена на «Космосе-261». Основное его назначение — изучение природы полярных сияний. Процессы, которые сопровождают эти грандиозные геофизические явления, воздействуют на верхнюю атмосферу сильнее всего в полярных областях, но затрагивают также и средние и даже низкие широты. Поэтому очень важно проведение одновременных измерений с борта спутника и на наземных геофизических обсерваториях и станциях, работающих по единому плану. Эксперимент на спутнике «Космос-261» — первая работа такого типа. В нем принимали участие ученые Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, Румынии, СССР и Чехословакии.

Советский Союз предложил также осуществить запуски спутников и геофизических ракет с аппаратурой, разработанной и изготовленной в сотрудничающих странах.

Трудностей на пути создания первых международных спутников было немало. Пришлось решать сложные организационные, технические и научные проблемы. В некоторых странах — участницах сотрудничества не хватало опыта и подготовленных кадров. И тем не менее уже через два с половиной года после принятия согласованной программы первый спутник социалистических стран — «Интеркосмос-1» нес свою научную вахту на орбите вокруг Земли. Он предназначался для исследования ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца и влияния этих излучений на структуру верхней атмосферы Земли. На борту «Интеркосмоса-1» были установлены научные приборы, изготовленные в ГДР, Советском Союзе и Чехословакии. Ученые Болгарии, Венгрии, Польши и Румынии принимали участие в разработке научной программы и в наземных наблюдениях. Одним из наиболее существенных результатов этого эксперимента стало обнаружение поля-



ризации рентгеновского излучения Солнца. Исследования ультрафиолетового и рентгеновского излучений Солнца были затем продолжены на ряде последующих спутников «Интеркосмос».

С помощью «Интеркосмосов» проводились измерения характеристик ионосферы Земли: концентраций электронов и положительных ионов, а также электронной температуры вблизи спутника и средней концентрации электронов между спутником и наземными приемными пунктами. В разработке научной программы этих спутников и технических требований к бортовой научной аппаратуре, а также в проведении наблюдений участвовали ученые ряда социалистических стран.

«Интеркосмосы» использовались и для анализа радиационной обстановки в околоземном пространстве, исследования связи динамических процессов в радиационных поясах Земли с солнечной активностью, изучения природы и спектра низкочастотных электромагнитных колебаний в верхней ионосфере.

Успеху экспериментов на спутниках «Интеркосмос» способствуют широкие наземные астрономические и ионосферные наблюдения, выполняемые многими обсерваториями и ионосферными станциями социалистических стран. Одновременное использование телеметрической информации со спутников и данных наземных измерений значительно обогащает картину изучаемых процессов.

Наряду со спутниковыми исследованиями программа «Интеркосмос» включает эксперименты, выполняемые с помощью метеорологических и геофизических ракет. Ракетные исследования дополняют спутниковые эксперименты и вместе с тем имеют самостоятельное значение. Они дают возможность получить характеристики вертикального разреза атмосферы, включая высоты, не доступные для спутников. Данные ракетных измерений могут быть легко привязаны по времени и месту.

Для проведения таких экспериментов Советский Союз предоставил своим партнерам метеорологические ракеты, а также мощную геофизическую ракету с высотой подъема около 500 км. Первая ракета такого типа — «Вертикаль-1» — была запущена с территории европейской части СССР 28 ноября 1970 г. В экспериментах, проведенных с ее помощью, на всех этапах — от создания аппаратуры до ее испытаний, монтажа на ракете и запуска — участ-

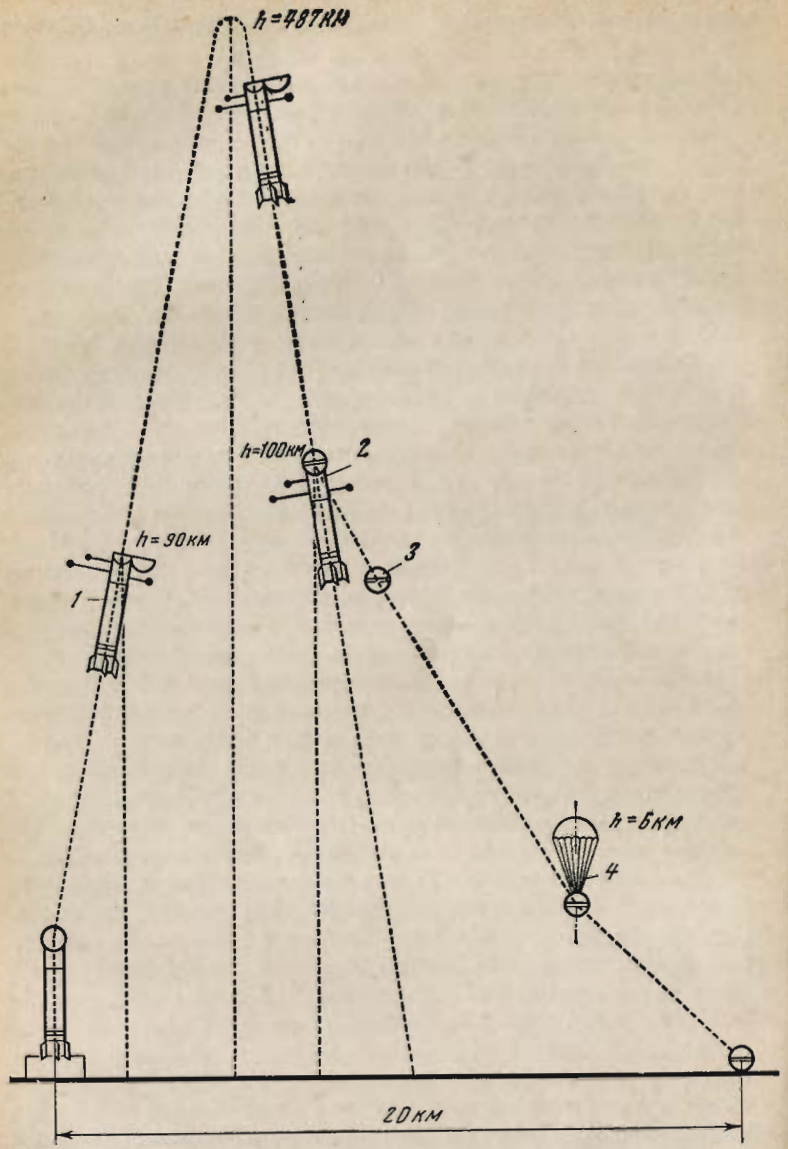



**Схема полета ракеты «Вертикаль-1»:**

*1* — открытие крышки спускаемого контейнера и раскрытие штанг с датчиками научной аппаратуры,
*2* — закрытие крышки и отделение спускаемого контейнера,
*3* — свободное падение,
*4* — раскрытие парашюта

вовали ученые Болгарии, Венгрии, ГДР, Польши, СССР и Чехословакии. В задачи запуска входило: измерение ряда структурных параметров ионосферы, изучение солнечного излучения, исследование физических и химических свойств метеорных частиц.

Только разработкой и изготовлением научной аппаратуры для этой ракеты занимались сотрудники четырех научно-исследовательских институтов СССР и шести институтов других социалистических стран. Потребовалась железнодорожная платформа для доставки к месту эксперимента изготовленной в ГДР наземной установки, предназначенной для проведения сопутствующих измерений поглощения радиоволн. Общий вес научной и служебной аппаратуры на ракете составлял около 1,3 т.

Успешные эксперименты, выполненные по программе «Интеркосмос», будут продолжены в ближайшие годы на новых спутниках и исследовательских ракетах. При этом непрерывно возрастает сложность решаемых научных задач и совершенствуется совместно создаваемая аппаратура. К работе по прямым измерениям в космосе подключаются новые социалистические страны и новые коллективы ученых.

Помимо прямых измерений с борта спутников и ракет много нового о Вселенной узнают ученые, используя так называемые косвенные методы наблюдений. Среди них видное место занимают оптические наблюдения искусственных спутников Земли (визуальные, фотографические и фотометрические). Такие наблюдения позволяют изучать плотность атмосферы на высоте перигея спутника, нерегулярности земного поля тяготения, устанавливать геодезические связи на больших расстояниях и в труднодоступных районах, вести эфемеридную службу, необходимую для предсказания движения спутников и управления работой их научной аппаратуры. Оптические наблюдения являются важным средством слежения за космическими объектами, на которых иссякли источники энергии.

Совместные работы ученых социалистических стран по наблюдениям искусственных спутников Земли и использованию этих наблюдений для решения научных и практических задач начались с запуска первого советского спутника в 1957 г. Первоначально такие работы выполнялись на основе двусторонних соглашений. Накопленный опыт позволил, начиная с 1962 г., перейти к мно-

гостороннему сотрудничеству по наблюдению искусственных спутников, что открыло возможность осуществления более сложных научно-исследовательских программ, требующих коллективной работы наблюдателей многих стран.

Важным элементом сотрудничества социалистических стран в области космической физики являются также совместные наблюдения, выполняемые на астрономических, радиоастрономических и геофизических обсерваториях и станциях, что создает предпосылки для успешного проведения геофизических экспериментов планетарного масштаба.

Сотрудничество социалистических стран распространяется не только на область научных исследований космического пространства, но включает и практические приложения, например в оперативной службе погоды с целью повышения качества прогнозов.

Наряду с развитием внутригосударственной системы связи через искусственные спутники Земли Советский Союз активно участвует в создании международной системы космической связи. С вступлением в феврале 1970 г. в строй действующих станции «Орбита» в Монголии передачи по системе «Орбита» вышли за пределы границ Советского Союза. Затем была создана станция на Кубе. В ряде социалистических стран проводятся научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы по системе связи через искусственные спутники Земли «Интерспутник».

Хорошей основой для сотрудничества служат успехи, достигнутые учеными СССР и других социалистических стран в авиационной и космической биологии и медицине, а также в смежных областях наук. Ученые Болгарии, Венгрии, Польши, Румынии, Чехословакии и Советского Союза проводят совместные исследования более чем по 20 темам. При определении этих тем учитывались традиционные научные направления исследовательских учреждений отдельных стран, их оснащенность необходимой научной аппаратурой и наличие подготовленных кадров. Уже получены первые конкретные результаты при выполнении совместных работ по проблемам космической физиологии, радиационной безопасности космических полетов и фармакохимической защиты от ионизирующего излучения.



Изучение физических свойств космического пространства с помощью спутников и ракет, космическая метеорология, космическая связь, космическая биология и медицина — таковы четыре основных элемента программы «Интеркосмос», четыре направления сотрудничества социалистических стран в изучении и освоении космического пространства.

В течение ряда лет продолжается успешное сотрудничество в выполнении космических экспериментов советских и французских специалистов.

В октябре 1967 г. осуществлен первый эксперимент, предусмотренный франко-советским соглашением. На советских метеорологических ракетах была установлена разработанная французскими учеными аппаратура для образования светящихся облаков. Эксперимент ставил целью измерение температуры верхних слоев атмосферы. Наблюдения за ходом эксперимента велись одновременно с поверхности Земли советскими специалистами и с борта самолета-лаборатории французскими учеными.

Советские и французские ученые совместно изучают комплекс электромагнитных явлений в магнитосопряженных точках Земли, расположенных в Северном и Южном полушариях. Как на острове Кергелен в Индийском океане, так и в поселке Согра Архангельской области дружно работали советские и французские ученые.

Французская аппаратура для эксперимента по изучению радиоизлучения Солнца в метровом диапазоне радиоволн (проект «Стерео») устанавливалась на советских автоматических станциях серии «Марс». Выполнены работы по созданию радиоинтерферометра с базой Земля — Луна. Французские лазерные отражатели доставлялись на Луну на советских космических аппаратах. По программе советско-французского сотрудничества в области исследования космического пространства запущен спутник «Ореол», предназначенный для изучения верхней атмосферы Земли и природы полярных сияний.

В рамках советско-французской программы «Аракс» проведен эксперимент по зондированию магнитосферы быстрыми электронами и по образованию искусственных полярных сияний.

Успешно развивается сотрудничество советских ученых с учеными развивающихся стран, которые стремятся внести в исследование космического пространства свой

посильный вклад. Советский Союз участвует в работах по подготовке исследований на международном ракетном полигоне Тхумба в Индии. В этих исследованиях помимо Индии и Советского Союза участвуют Соединенные Штаты, Франция и другие страны. Уже несколько лет с этого полигона регулярно стартуют советские метеорологические ракеты. В мае 1972 г. было подписано соглашение между Академией наук СССР и Индийской организацией по изучению космоса о сотрудничестве в создании и запуске первого индийского спутника. Спутник проектировали индийские ученые, изготовлялся он на индийских предприятиях, а на орбиту его в 1975 г. вывела советская ракета.

В ряде стран Азии и Африки с помощью Советского Союза созданы и создаются станции наблюдения искусственных спутников Земли и других космических объектов. Помощь в организации таких станций и подготовка национальных кадров для их обслуживания дают возможность включиться в общую работу по изучению и освоению космического пространства тем странам, которые пока еще не могут проводить самостоятельных исследований на ракетах и спутниках.

Лаборатории многих стран мира получили для исследования образцы лунного грунта, доставленного на Землю советскими автоматическими станциями «Луна-16» и «Луна-20».

Имеются необходимые условия для реализации некоторых совместных космических программ учеными СССР и США. Начало советско-американскому сотрудничеству в этой области было положено специальным соглашением, заключенным между Академией наук СССР и Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства США 8 июля 1962 г. Позже, в октябре 1965 г., оно было дополнено соглашением о подготовке и создании совместного труда по космической биологии и медицине *.

Ученые и специалисты обеих стран договорились об осуществлении сотрудничества в первую очередь в трех направлениях: космическая метеорология, космическая связь, изучение магнетизма Земли.

* Издание вышло в свет в 1975 г. в 3-х томах — в Советском Союзе (в изд-ве «Наука») — на русском языке, в США — на английском.



В 1964 г. был осуществлен первый советско-американский эксперимент в области космической связи с помощью американского пассивного спутника связи «Эхо-2». Через прямой канал связи, установленный между мировыми метеорологическими центрами в Москве и Вашингтоне, проводится регулярная передача метеорологической информации как обычной, так и получаемой со спутников. Состоялись советско-американские переговоры по вопросам сотрудничества в области лунной картографии. Произведен обмен полученными образцами лунного грунта. Проведены большие работы по подготовке советско-американского космического полета по околоземной орбите со стыковкой космических кораблей.

Решение проблемы стыковки кораблей на орбите является одним из важнейших достижений космической техники последних лет. Известно, что выведение одного только килограмма груза на орбиту искусственного спутника требует около 50 кг начального веса ракеты-носителя. Можно себе представить, какой вес должна иметь на старте ракета, предназначенная для осуществления полета человека к планетам Солнечной системы. Он будет исчисляться сотнями тысяч тонн. Такие ракеты-носители являются уникальными конструкциями, требующими сложной поэтапной отработки в наземных и летных условиях. Для их запуска необходимы колоссальные стартовые сооружения. Значительно экономичнее монтировать межпланетные корабли, необходимые для полета человека к планетам Солнечной системы, из отдельных составных частей, доставляемых на орбиту сравнительно маломощными ракетами-носителями.

Экспедиции к планетам Солнечной системы немыслимы без стыковки не только около Земли, но и около планеты назначения, где, по-видимому, будут создаваться орбитальные базы-станции. С них на поверхность исследуемой планеты совершат полеты как автоматические зонды, так и корабли с экипажами, которые после выполнения программы исследований станут возвращаться на орбитальную базу. С этой же базы корабли с космонавтами будут стартовать к Земле. Все эти операции связаны с выполнением сближения и стыковки космических аппаратов на орбите.

Завтрашний день космонавтики — создание больших орбитальных научных станций с длительным временем

существования. Эти станции будут создаваться также из отдельных блоков путем их сборки на орбите. Необходимо будет обеспечить бесперебойное снабжение станций, пополнение запасов топлива, смену агрегатов и аппаратуры с помощью транспортных кораблей. Все эти операции, конечно, потребуют многократного выполнения операций сближения и стыковки в космосе.

И наконец, оказание помощи терпящему бедствие космическому кораблю немыслимо без сближения и стыковки с ним корабля, пришедшего на выручку. Это может произойти, например, при отказе оборудования, которое обеспечивает торможение корабля при спуске с орбиты и посадке на Землю. Однако взаимопомощь в космосе практически невозможна, если корабли не оборудованы необходимыми средствами поиска, сближения, стыковки, если нельзя перейти из одного корабля в другой.

Стремление создать техническую основу для системы взаимопомощи в космосе явилось одной из главных причин подписания 24 мая 1972 г. между Советским Союзом и США Соглашения, которым, в частности, предусматривалась разработка совместимых средств сближения и стыковки космических кораблей и станций. Это Соглашение предусматривало в качестве первого экспериментального этапа осуществление стыковки и совместного полета советского космического корабля «Союз» и американского корабля «Аполлон» со взаимным переходом космонавтов из одного корабля в другой, что и было с таким успехом выполнено в 1975 г.

Подписанию этого Соглашения предшествовал ряд встреч советских и американских специалистов (они начались в 1970 г.), на которых были выработаны принципы сотрудничества Советского Союза и США в решении технических проблем, связанных со стыковкой кораблей и станций. Для работы над различными аспектами этой программы было создано несколько рабочих групп, которые многократно встречались для обсуждения принципов и конкретных предложений по созданию совместимых систем, позволяющих осуществлять стыковку и переход из корабля в корабль.

С самого начала было очевидным, что задача подготовки кораблей «Союз» и «Аполлон» к осуществлению программы сближения, стыковки, совместного полета и перехода космонавтов из корабля в корабль весьма сложна и ее решение потребует больших усилий как с советской, так и с американской стороны. Дело в том, что между разработчиками кораблей, естественно, не было контактов. В конструкции заложены различные принципы, так как ни одна сторона тогда не имела в виду осуществление стыковки.



Для того чтобы каждый корабль в случае необходимости мог сблизиться и состыковаться с любым другим кораблем, необходимо выполнение трех основных условий: совместимость стыковочных агрегатов, т. е. всех устройств, которые непосредственно сопрягаются при стыковке; совместимость средств, обеспечивающих поиск и сближение кораблей; совместимость параметров атмосферы в корабле, в частности ее состава и давления.

Наряду с совместимостью стыковочных агрегатов конструкция и автоматика каждого из них должны быть универсальными, активно-пассивными или, как сейчас принято говорить, андрогинными. Иными словами, каждый стыковочный агрегат должен выполнять все необходимые функции и на активном корабле, и на пассивном: ведь любой корабль может оказаться в положении ожидающего помощи и в роли пришедшего на помощь.

Существующие конструкции советского и американского стыковочных агрегатов различались настолько, что взаимная стыковка была полностью исключена. Более того, совместная проработка конструкции стыковочных агрегатов показала, что ни один из них не может быть принят за основу создания нового универсального агрегата. Прежде всего потому, что и на «Союзе», и на «Аполлоне» стыковочные узлы выполнены по схеме «штырь — конус» (штырь с захватом на активном корабле и приемный конус — на пассивном).

Советским и американским специалистам пришлось разработать конструкцию совершенно нового, полностью совместимого андрогинного стыковочного агрегата с периферийным расположением замков, который может быть использован и на «Союзе», и на «Аполлоне». В 1972 г. модели этого агрегата прошли лабораторные испытания.

Совместимость средств, обеспечивающих поиск и сближение кораблей, — не менее сложная задача. Активный корабль, используя радиотехнические или оптические средства, должен найти (разумеется, с помощью наземных служб) пассивный корабль и приблизиться к нему.

Система управляющих двигателей активного корабля позволяет ему маневрировать, изменяя все шесть координат своего положения (три координаты центра масс и три угла) и соответствующие компоненты скорости. В результате маневра активный корабль должен сблизиться с пассивным с заданной точностью по всем относительным параметрам скорости и взаимного положения в пространстве и обеспечить в конечном итоге механический контакт стыковочных агрегатов обоих кораблей.

Как правило, пассивный корабль с помощью своей радиосистемы помогает активному кораблю осуществлять поиск и сближение. В некоторых случаях пассивный корабль выполняет ограниченный маневр по команде с Земли или с активного корабля. Но может случиться и так, что терпящий бедствие корабль будет лишен возможности маневрировать. В орбитальной системе координат он будет в этом случае просто телом, занимающим произвольное положение в пространстве.

При поиске и сближении совместно работают радиосистемы обоих кораблей. Для этого они должны быть построены на одних принципах, использовать единые методы измерений параметров относительного движения, один и тот же вид модуляции, согласованные частоты, мощность передатчиков, чувствительность приемников, диаграмму направленности антенн и другие характеристики.

Для определения относительного положения и параметров взаимного движения космических объектов на каждом из кораблей — и на «Союзе», и на «Аполлоне» — имеются свои радиосистемы. Их характеристики, в том числе характеристики используемой информации, существенно различны. В совместном экспериментальном полете поиск и измерение параметров относительного движения (радиальная скорость и расстояние) было решено осуществлять с помощью радиосистемы «Аполлона», который выступает в роли активного корабля. На «Союзе» устанавливалась ответная часть радиосистемы «Аполлона» — приемоответчик. При сближении кораблей использовалась и оптическая система, при помощи которой «Аполлон» мог наблюдать «Союз» с расстояния в несколько сотен километров, а также определять угловое положение линии визирования. Для оптических измерений в темноте (с расстояния в несколько десятков километров) на «Союзе» устанавливались импульсные световые маяки. На заключительном участке сближения точное взаимное положение кораблей определялось визуально.



Вся измерительная информация поступала в бортовую вычислительную машину, которая выдавала рекомендации, необходимые для управления кораблем.

Что касается третьего условия совместимости, согласованности параметров атмосферы кораблей, то оно не требует особого пояснения. Совершенно очевидно, что даже после того, как корабли состыковались, космонавтам нельзя перейти из одного в другой, если в кораблях существенно разные атмосферы. В «Союзе» атмосфера практически аналогична привычной для нас, земной: давление 760 мм рт. ст., содержание кислорода 17—33%, азота 82—66%. В «Аполлоне» используется атмосфера со 100-процентным содержанием кислорода и давлением 260 мм рт. ст. Такая разница атмосфер не позволяла открыть переходные люки после стыковки кораблей и сообщить между собой объемы жилых отсеков. Невозможен был также быстрый переход членов экипажа из одного корабля в другой.

Объединять атмосферу «Союза» и «Аполлона» нельзя еще и потому, что системы кондиционирования на этих кораблях построены на совершенно разных принципах. В «Союзе» происходит непрерывная регенерация атмосферы — специальные устройства поглощают углекислый газ и выделяют чистый кислород за счет разложения щелочных металлов. Интенсивность этого процесса регулируется автоматическими устройствами, контролирующими состав атмосферы. В «Аполлоне» поглощение углекислого газа осуществляется невосстанавливаемыми поглотителями, а необходимое содержание кислорода поддерживается за счет бортового запаса, находящегося в баллонах. Объединение атмосферы кораблей при столь разных системах кондиционирования привело бы к расстройству автоматики этих систем, к нарушению нормальной их работы.

Для совместного полета «Союз» — «Аполлон» было предусмотрено создание переходного (стыковочного) модуля, своеобразной шлюзовой камеры, которая после стыковки располагалась между обитаемыми отсеками кораблей на пути космонавтов из одного корабля в другой.

Переходный модуль был составной частью (отсеком) корабля «Аполлон» и выводился на орбиту вместе с ним. Для того чтобы перейти, например, из «Союза» в «Апол-

лон», космонавт должен был открыть люк в переходный модуль, в котором к этому времени создавалась атмосфера, соответствующая атмосфере «Союза», входил в модуль, закрывал за собой люк и проходил процесс десатурации. Давление в переходном модуле постепенно понижалось, увеличивалось процентное содержание кислорода. К концу десатурации в переходном модуле устанавливалась чисто кислородная среда при давлении 260 мм рт. ст. Космонавт подготовлен к переходу в «Аполлон».

Обратный переход также происходил через шлюзовую камеру (переходный модуль) и сопровождался постепенным изменением параметров его атмосферы.

Как уже отмечалось, десатурация — процесс длительный и, по сути дела, исключает быстрый переход из корабля в корабль. Обойтись без десатурации и радикально решить проблему перехода можно только путем сближения параметров атмосфер кораблей, например путем понижения номинального давления в отсеках «Союза». Дело в том, что при переходе космонавта в чисто кислородную среду с давлением 260 мм рт. ст. азот, растворенный в его организме при давлении не более 500 мм рт. ст., не представляет опасности. В этом случае можно отказаться от процесса десатурации. Такой вариант, хотя он и связан с рядом трудностей и неудобств, был принят для совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон» как основной.

Совместный полет «Союза» и «Аполлона» потребовал также большой работы в отношении управления полетом. Здесь существуют свои проблемы совместимости — технической и организационной.

Совместный полет, взаимный маневр, сближение и стыковка кораблей невозможны без надежной радиосвязи между ними и связи с наземными пунктами слежения. Для того чтобы обеспечить такую связь, на «Союзе» и «Аполлоне» были установлены дополнительные радиосистемы, работающие на частотах, принятых как советской, так и американской стороной. Требовались также надежная многоканальная связь и четкое взаимодействие советских и американских наземных командно-измерительных средств и центров управления полетом.

Советскими и американскими специалистами была совместно разработана детальная программа полета. Важной задачей являлась также специальная подготовка экипажей, их тренировка, ознакомление с отдельными элементами оборудования другого корабля, изучение советскими космонавтами английского языка, а американцами — русского.



Программа научных экспериментов на борту космических кораблей «Союз» и «Аполлон» предусматривала проведение как самостоятельных, так и совместных исследований. В 1973 г. на мартовской и июльской встречах советских и американских специалистов были одобрены пять совместных научных экспериментов.

Эксперимент «Ультрафиолетовое поглощение» был предложен американскими учеными и предназначен для измерения концентрации атомарного кислорода и азота в космическом пространстве на высоте полета кораблей. Ученые Института космических исследований АН СССР принимали участие в разработке методики его проведения. Аппаратура создавалась в США.

Суть эксперимента заключалась в том, что на одном космическом аппарате устанавливались источник излучения и приемная аппаратура, а на другом — уголковые отражатели. Регистрируя изменения интенсивности излучения на пути от одного корабля к другому и обратно, можно сделать выводы о составе и температуре атмосферы на высоте полета. Проведение эксперимента требовало довольно сложного маневрирования на орбите и началось после окончательной расстыковки кораблей.

Следует отметить, что надежное определение плотности атомарного кислорода и азота совершенно необходимо для углубленного познания физики атмосферы Земли. До последнего времени основным инструментом при исследовании химического состава верхней атмосферы служили масс-спектрометры различных типов. Однако полет космического аппарата в верхней атмосфере сопровождается выделением с его поверхности частиц газа. Вокруг корабля образуется своя «атмосфера». Плотность ее может меняться в зависимости от освещенности Солнцем, высоты полета и т. д. Причем учесть такие изменения трудно, а они ведут к ошибкам в измерениях параметров атмосферы с помощью масс-спектрометров. При использовании метода ультрафиолетового поглощения влияние «атмосферы» корабля можно полностью исключить. Эксперимент «Ультрафиолетовое поглощение» позволял также сравнить полученные данные с результатами уже выполненных масс-спектрометрических измерений.

Второй эксперимент — «Искусственное солнечное затмение» — был предложен учеными Института земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР. Эксперимент мог быть выполнен только с участием обоих кораблей во время их совместного полета. Космический корабль «Аполлон», имеющий круглое сечение, взял на себя роль Луны, а с борта «Союза» фотографировалось затмение. Определяющее значение в эксперименте сыграли точный расчет движения и согласованные действия экипажей, осуществлявших маневры.

Кроме наблюдения короны в задачу эксперимента входило фотографирование «атмосферы» вокруг корабля «Аполлон». С борта «Союза» осуществлялся также поиск корональных лучей на ночном небе, при небольшом погружении Солнца за горизонт.

Два эксперимента были связаны с проблемами биологии. В одном из них исследовались так называемые зонообразующие грибки — особый вид плесени, не требующий для развития каких-то специальных условий и питательной среды. Размножаются грибки с помощью своеобразных кольцевых спор, причем каждые сутки один гриб выбрасывает по одному кольцу. Эксперимент ставился с целью изучения проблемы генетических изменений, а также влияния радиации на живой организм. Для проведения этого эксперимента советские ученые разработали специальный прибор «Ритм-1».

Другой биологический эксперимент — «Микробный обмен» — имел задачу оценить характер естественного обмена микроорганизмами в условиях космического полета между членами экипажа и между экипажами разных кораблей. Полученные данные используются для выработки рекомендаций по предотвращению заболеваний людей в длительных космических полетах.

И наконец, последняя группа совместных экспериментов была связана с изучением влияния невесомости на процессы плавления и кристаллизации различных материалов. Эксперименты были предложены американскими учеными и объединены под общим условным названием «Универсальная печь». Советская часть научной программы этих исследований разрабатывалась в Институте металлургии АН СССР.

«Универсальная печь» была установлена в стыковочном модуле корабля «Аполлон», а образцы для испытаний



размещались на корабле «Союз». Для исследования влияния невесомости на процесс плавления смеси металлов с различными удельными характеристиками был выбран алюминий, содержащий определенным образом расположенные вольфрамовые шарики. Смесь нагревалась в условиях невесомости до 1100°. Цель эксперимента — изучить принципиальную возможность создания металлургическим путем в условиях невесомости композитных материалов с заранее сформированной структурой из элементов с существенно различными удельными весами. В земных условиях такой процесс невозможен.

Получение монокристаллов полупроводников из жидкого расплава изучалось на примере германия, содержащего по весу 20% кремния. Процесс шарообразования в условиях невесомости исследовался на примере плавления порошка алюминия.

Экспериментом «Универсальная печь» заложены основы для производства в будущем монокристаллов в орбитальных космических станциях. Исходные материалы будут заготовляться на Земле и доставляться в космос, а готовые изделия — спускаться на Землю.

Уже в ходе полета корабля «Аполлон» было принято решение о проведении еще одного совместного научного эксперимента. Впервые в мировой практике космических исследований выполнялись наблюдения рентгеновских источников с борта двух пилотируемых аппаратов. На «Аполлоне» находился рентгеновский телескоп, аналогичный телескопу «Филин», установленному на станции «Салют-4». Одновременные или близкие по времени наблюдения позволяют провести взаимное сопоставление измерений, осуществить анализ потока излучения с разным временным масштабом, исключить влияние систематических погрешностей в приборах.

Таким образом, если на первом этапе сотрудничество СССР и США при космических исследованиях ограничивалось в основном обменом и обсуждением полученных результатов, сопоставлением методик и, в лучшем случае, координацией некоторых проектов, то совместным полетом «Союза» и «Аполлона» сделан первый шаг к «совместимости» программ двух космических держав в прямом смысле слова. Он означает качественно новый этап в развитии космонавтики, имеющий большое значение для ее будущего.

Вопросами изучения и использования космоса в том или ином плане ныне занимается значительное число общественных и межправительственных организаций. Только в семье так называемых специализированных учреждений ООН проблемами освоения космоса интересуются Международный Союз электросвязи, Всемирная метеорологическая организация, Организация Объединенных Наций по вопросам образования, науки и культуры, Всемирная организация здравоохранения, Международная организация гражданской авиации и др. Среди общественных научных организаций вопросы космических исследований имеют непосредственное отношение к деятельности ряда научных союзов и комитетов, объединяемых Международным советом научных союзов. В разработку правовых аспектов освоения космоса свой вклад внесли Ассоциация и Институт международного права.

Эти и многие другие организации содействуют развитию международного сотрудничества в исследовании и использовании космического пространства. Наряду с ними существует небольшая группа организаций, специально созданных для координации, регулирования или осуществления международных и национальных программ изучения и освоения космического пространства. К их числу принадлежит Комитет по космическим исследованиям — КОСПАР. Он был учрежден по инициативе Международного совета научных союзов в октябре 1958 г. с целью продолжения сложившегося в период Международного геофизического года сотрудничества в изучении верхних слоев атмосферы и космоса. Комитет объединяет ведущие научные учреждения более 35 стран и 10 международных научных союзов, деятельность которых связана с космическими исследованиями.

Среди межправительственных организаций, занимающихся космическими проблемами, ведущее место принадлежит Комитету ООН по использованию космического пространства в мирных целях. Комитет, в который входят 37 государств, является центром сотрудничества в деле мирного использования космического пространства. По всем вопросам, которые обсуждались в Комитете, Советский Союз вносил свои конструктивные предложения.

В течение последних лет достигнут значительный прогресс на пути международного сотрудничества по правовым вопросам освоения космоса. 10 октября 1967 г. был



подписан Договор о принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела. С 3 декабря 1968 г. силу международного закона приобрел второй международный договор по космосу — Соглашение о спасении космонавтов, возвращении космонавтов и возвращении объектов, запущенных в космическое пространство.

Основной смысл этих документов, принятых по инициативе Советского Союза, заключается в создании такого правопорядка в космосе, который в максимальной степени содействовал бы развитию широкого и равноправного сотрудничества государств по исследованию и использованию космического пространства в мирных целях.

«Космос должен быть ареной научных исследований, международного сотрудничества, а не ареной враждебных столкновений»,— эти слова, сказанные Л. И. Брежневым на митинге в честь героического полета летчика-космонавта Г. Т. Берегового, выражают существо политики Советского Союза в области освоения космоса.

Первым проложив звездную дорогу человечеству, Советский Союз ставит свои достижения в исследовании и использовании космического пространства на службу мира и международного сотрудничества.

Глава 9

# ПЕРСПЕКТИВЫ КОСМИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ *

В настоящее время космические исследования вступают в новую фазу. Они становятся нормальным видом научно-исследовательской деятельности, а космос — рабочим местом, лабораторией ученых. После первых, можно сказать, рекогносцировочных экспериментов началась эпоха систематических исследований, и грядущие десятилетия несомненно будут отмечены еще более крупными достижениями.

Главными задачами исследования околоземного пространства в ближайшие годы останется дальнейшее изучение верхней атмосферы Земли, магнитосферы, солнечно-земных связей. Мы только приближаемся к пониманию таких явлений природы, как полярные сияния, магнитные бури, радиационные пояса Земли. Единственный путь разгадать механизмы их возникновения — постановка комплексных опытов на Земле и в космосе и одновременное изучение этих явлений в целом.

Работы по геофизике постепенно перерастают рамки околоземного космического пространства и выходят в межпланетную среду. Изучение протекающих там процессов крайне необходимо для более детального выяснения солнечно-земных связей и определения воздействия Солнца на Землю. Решаться эти проблемы будут на базе крупных автоматических станций, несущих на себе сложный комплекс приборов.

Помимо пассивных, чисто измерительных методов все бóльшую роль будут играть активные эксперименты в космосе — активное вторжение в процессы, происходящие в космической среде, с помощью источников плазмы, электронных и ионных пучков. Такие эксперименты позволят,

* Прогнозы и проекты, о которых рассказывается в данной главе, в разное время публиковались в советской и зарубежной печати.



в частности, проверить многие гипотезы о строении магнитосферы и поведении частиц в ней, механизме образования полярных сияний, а в конечном итоге — поставить вопрос об управляемом воздействии на околоземное пространство.

Намечается дальнейшее развитие внеатмосферных исследований Солнца в рентгеновском, ультрафиолетовом, инфракрасном, субмиллиметровом и радиодиапазонах спектра, будут создаваться специализированные солнечные спутники.

Исследования физики Солнца связаны не только с тем, что процессы на нашем светиле определяют физическое состояние межпланетной среды, атмосфер планет и жизнь на Земле. Солнце является ближайшей к нам звездой и поставляет информацию о процессах в звездах. Изучение Солнца дает возможность объяснить вопросы преобразования и передачи энергии от центрального источника в фотосферу и далее; происхождение, эволюцию и распределение магнитного поля Солнца; природу дифференциального вращения, солнечной активности и высокоэнергетических явлений на Солнце; химический состав и природу фотосферы, хромосферы и короны.

Будет продолжаться и дальнейшее развитие исследований Луны, Венеры, Марса на базе ракетно-космической техники. Впереди массовое создание средств для изучения планет, их поверхности, недр атмосфер, радиационных и магнитных полей.

Накопленный опыт космических исследований показывает, что широкий круг научных задач, прежде всего задач, связанных с изучением Луны и планет, может и должен решаться с помощью автоматов. Перспективным направлением является реализация проектов исследований планет автоматами, обладающими высокой степенью автономности при перемещении по поверхности небесных тел, способностью восприятия окружающей среды, ее анализа и принятия решений о дальнейших действиях в зависимости от обстановки. Создание подобных автоматических средств связано с решением проблем, объединяемых понятиями искусственный интеллект и интегральные роботы.

Тем не менее непосредственное участие человека в экспериментах на борту космических аппаратов является необходимым фактором космических исследований и имен-

по человеку принадлежит будущее в космосе. Автоматы же прокладывают ему дорогу. Полет Ю. А. Гагарина ознаменовал одно из величайших завоеваний человеческой мысли XX в. Вслед за «Востоком» стартовали новые и новые космические корабли. Люди побывали уже и на Луне. В итоге всех этих полетов было доказано, что человек может жить и работать в космосе, совершать планетные путешествия. Одной из ближайших задач на этом пути будет, видимо, создание длительно действующих орбитальных космических лабораторий.

Какие горизонты открывает создание на околоземной орбите крупного научного комплекса? Что даст человечеству решение этой проблемы?

Прежде всего неоценимо народнохозяйственное значение орбитальных станций. Мы уже говорили о задачах, которые могут решаться с их помощью. Можно назвать и такие проблемы, как картирование земной поверхности. До сих пор почти половина территории нашей планеты (по данным ЮНЕСКО, около 40%) не имеет подробных карт. Топографы орбитальных станций смогут с высокой точностью устанавливать координаты весьма удаленных пунктов, уточнять положение объектов на аэрофотоснимках, определять координаты островов, рифов, мелей. Обозревая огромные участки планеты, они помогут существенно ускорить картографирование труднодоступных районов.

Орбитальные лаборатории окажут неоценимую услугу и в исследовании природных ресурсов планеты. Изучение состава земной коры, неоднородностей ее массы, обследование гравитационных и магнитных аномалий с борта орбитальных космических станций помогут открыть неизвестные ранее залежи полезных ископаемых.

С орбиты можно исследовать водные ресурсы Земли. На фотографиях, полученных из космоса, отчетливо видны снеговые и ледовые покровы. Определение соотношения свободных от снега и заснеженных территорий представляет особый интерес для прогноза паводков, позволяет определять заливаемые водой поймы и дельты рек, крупные водоемы с застойной и проточной водой. Анализ снимков позволяет установить и область выхода подземных вод на поверхность, засоленность почв, их эрозию. И все это в масштабе целых стран. Созданная на базе орбитальных станций всемирная гидрологическая служба даст возможность получить исчерпывающие представле-



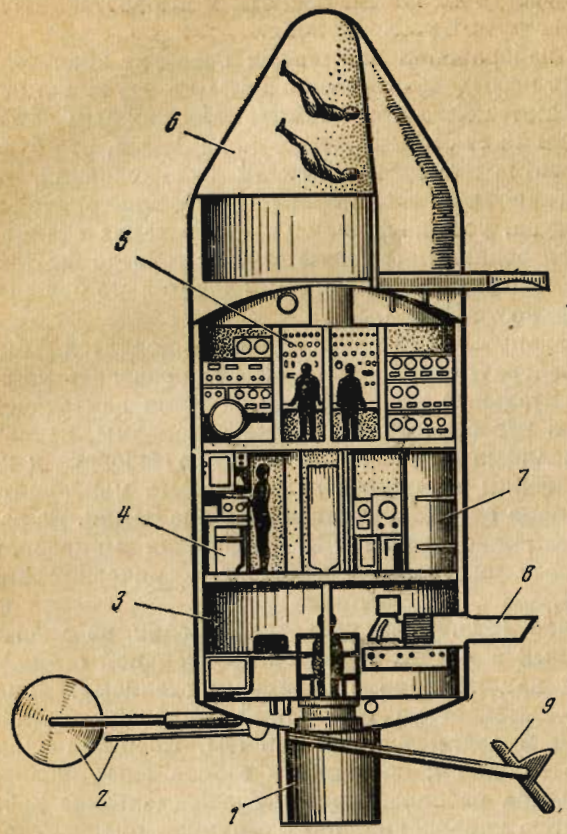
ния о водных ресурсах нашей планеты и выработать научные рекомендации их расходования.

Научные лаборатории на орбитах позволят значительно расширить исследовательские работы по изучению околоземного космического пространства. Постоянным объектом исследования станет магнитное поле Земли, что будет способствовать повышению точности судовождения, решению навигационных задач в авиации. Магнитометрическая аппаратура, установленная на борту таких станций, позволит производить магнитную съемку гораздо быстрее, нежели наземными методами, и над значительно большей частью поверхности Земли.

На орбитальных космических станциях появятся и биологические лаборатории. Биологи смогут проводить широкие фундаментальные исследования влияния длительного пребывания в невесомости на живые организмы, изучать вопросы, связанные с приспособленностью человека к необычным условиям космического полета. Не менее интересна и проблема существования жизни вне Земли. Ее разрешению, возможно, помогут исследования микробного содержания верхних слоев атмосферы, химический анализ метеоров.

На рисунке (стр. 164) представлен один из многих опубликованных в печати проектов орбитальной станции, выполненной как цилиндр с двойными стенками. Такая конструкция вытекает из требований тепловой, противорадиационной и антиметеорной защиты. Внешний экран выполнен из бериллия, внутренняя стенка алюминиевая. Внутри цилиндра располагаются исследовательские лаборатории и центр управления. В конструкции предусмотрены наружные камеры для проведения исследований непосредственно в космической среде.

Экипажи орбитальных станций будут проводить ряд исследований индустриального характера, так как ученые полагают, что многие производственные процессы гораздо легче осуществить в космосе, чем на Земле. Так, сила притяжения в земных условиях способствует оседанию тяжелых компонентов в застывающих жидкостях, в то время как легкие компоненты остаются на поверхности. Возможно, в условиях невесомости такие жидкости будут охлаждаться и затвердевать с равной степенью плотности. Такие предметы, как шарикоподшипники, линзы, зеркала и многое другое, можно будет производить в космосе с




**Проект орбитальной станции жесткой конструкции для проведения геофизических, астропомических и медико-биологических исследований:**

*1* — космические лаборатории,
*2* — антенна,
*3* — астрономическая и геофизическая лаборатории,
*4* — биохимическая лаборатория,
*5* — центр управления,
*6* — ракетный аппарат,
*7* — медицинская лаборатория,
*8* — телескоп,
*9* — телескопический рефлектор



такой точностью, которая невозможна в земных условиях. Преимущества в качестве, экономия в энергии, например в производстве шарикоподшипников в космических условиях, их прочность и долговечность вполне оправдают затраты по созданию «орбитального завода». Электростатические поля, капиллярные силы и силы поверхностного натяжения могут стать инструментами при обработке литья в космосе. Огромные перспективы откроются перед оптической промышленностью, в частности в производстве больших линз высокого качества, что особенно важно для астрономов.

Очевидно, уже в ближайшие годы на околоземных орбитальных станциях будут созданы уникальные астрономические обсерватории. Отличные возможности для своих исследований получат и астрофизики.

Можно представить относительно недорогую космическую астрономическую обсерваторию с двумя большими телескопами. Сама станция будет второй ступенью двухступенчатой ракеты. В процессе выхода на орбиту вторая ступень, снабженная одним ЖРД, представит собой бак для топлива, внутри которого в специальном отсеке размещены все механизмы управления и различное оборудование. В носовой части будет находиться капсула с экипажем станции. Впоследствии капсула станет средством возвращения на Землю. В момент выведения на орбиту баки станции заполнены топливом, экипаж находится в капсуле. После выхода на орбиту баки продуваются струей азота. Одновременно производится многократное изменение ориентации ракеты для прогрева бака солнечными лучами. Затем один из членов экипажа, перейдя в скафандре из капсулы в центральный отсек, герметизирует бак и вскрывает люки отсеков оборудования. После проверки азотом на герметичность бак заполняется воздухом и в него переходят остальные члены экипажа. Центральный отсек переводится в рабочее состояние, а затем открываются щиты носовой части, на внутренней поверхности которых размещены солнечные батареи. Станция получает ток. Один из членов экипажа выходит в скафандре наружу и монтирует внешнее оборудование.

Для создания крупных орбитальных космических станций придется, очевидно, применить сборку на орбите из отдельных элементов, доставленных туда заранее. Сборка на орбите значительно приблизит сроки создания круп-

ных станций. Их монтаж непосредственно на орбите из секций и блоков, доставляемых с Земли, позволит получить конструкцию, наиболее приспособленную к орбитальным условиям. В этом случае конструкцию станции не нужно будет рассчитывать на те значительные аэродинамические, инерционные и тепловые нагрузки, которые сопутствуют взлету и полету на активном участке траектории. Если же станция будет выводиться на орбиту непосредственно с Земли, эти нагрузки приведут к утяжелению конструкции, хотя продолжительность действия их составит ничтожную долю от общего времени существования станции на орбите. В случае необходимости можно будет уже собранную станцию отстраивать в соответствии с изменяющимися научно-техническими задачами.

Орбитальные станции будут компоноваться из самых разнообразных сборных элементов, например из корпусов последних ступеней ракет-носителей или специальных типовых секций, из которых можно собирать станции различного целевого назначения. Каждая секция может представлять собой, например, лабораторию определенного назначения или жилой отсек и иметь оборудование, которое после сборки станции войдет составной частью в общую систему энергоснабжения и обеспечения жизнедеятельности экипажа. Наиболее целесообразная геометрическая форма типовой станции — сфера или цилиндр. Секции такой формы имеют наименьший вес при заданном полезном объеме. Они удобны для сборки и хорошо вписываются в контур ракет-носителей. Собранная из цилиндрических и сферических блоков станция может иметь различную конфигурацию.

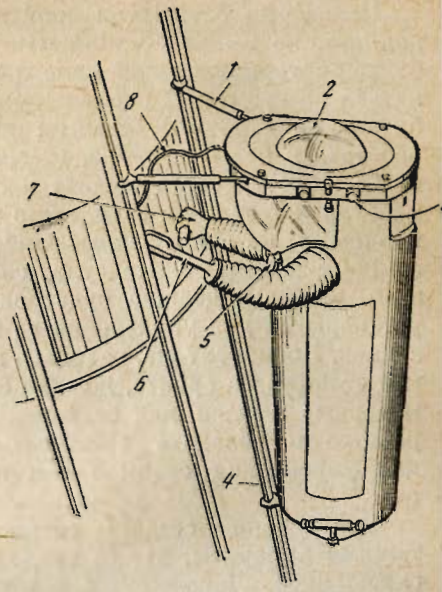
Типовое строительство в космосе позволит сократить время, необходимое для монтажа орбитальных станций, максимально механизировать операции сборки.

Для наружных работ космонавты-монтажники будут иметь скафандры с автономной системой жизнеобеспечения. Для сохранения определенного положения в пространстве необходимо будет снабдить космонавта системой стабилизации. В нее войдут чувствительные элементы, например гироскопы, и исполнительные органы — миниатюрные реактивные двигатели. Для перемещения вне станции космонавт-монтажник должен будет иметь и индивидуальные средства передвижения: поясные миниатюрные двигатели, реактивные пистолеты и т. д.



Монтажная капсула:

*1* — установочный стабилизатор;
*2* — люк;
*3* — маневренные сопла;
*4* — внешний рельс;
*5* — осветитель;
*6* — специальный съемочный инструмент;
*7* — съемная перчатка;
*8* — силовой кабель, связь и воздушный шланг




Однако продолжительные работы вне станции все же представляют значительные трудности для космонавтов. Невесомость, например, будет затруднять выполнение многих, даже самых элементарных операций по сборке. Не помогут здесь ни фал, ни инструменты с минимальным реактивным моментом и слабой энергией удара — одно прикосновение к обшивке может отбросить космонавта на значительное расстояние от корабля.

Быть может, придется полностью отказаться от резьбовых соединений в стыковочных узлах сборной конструкции, заменив их сваркой, либо разработать специальные приспособления для сборки, которые исключили бы необходимость вращательных движений, например инструмент, обладающий нулевым реактивным моментом.

Некоторые конструкторы предлагают использовать при работе космонавта на внешней поверхности корабля специальное снаряжение в виде треножника, верхняя часть которого охватывает спину космонавта, а ножки с шарнирным соединением прочно приклеиваются к наружной обшивке корабля. Космонавт получит возможность работать двумя руками.

Некоторые работы на орбите космонавты смогут выполнять, не выходя в открытый космос, а используя небольшие герметические капсулы, которые будут доставляться на орбиту на борту космического корабля (или орбитальной станции). В этих капсулах человек сможет работать и без скафандра, стесняющего движения космонавта. Для удобства работы и обеспечения безопасности капсула может быть сцеплена с обслуживаемым объектом прочными, но легко закрывающимися и открывающимися замками-захватами. Капсула, обладающая шестью степенями свободы, должна будет снабжаться двигательными установками для управления ее перемещением и стабилизацией. Космонавт же, находясь в капсуле и занятый сборкой станции на орбите, должен будет иметь определенные моторные навыки для сохранения ориентации в пространстве и обладать зрительно-моторной координацией для управления своим телом и капсулой в пространстве.

Будут также созданы специальные летательные монтажные аппараты, что-то вроде космических кранов-буксировщиков, управляемых человеком. Такой аппарат будет предположительно иметь герметичную кабину для двух человек, автономную двигательную установку для маневрирования на орбите, различную аппаратуру для управления и связи, в том числе счетно-решающие устройства. Для выполнения монтажных работ он получит механические руки — манипуляторы, которыми можно производить всевозможные операции. Руки-манипуляторы станут изготовляться из металлических труб, в сочленениях которых будут установлены небольшие электродвигатели, приводящие их в движение. На наружных стенках корпуса астробуксира в специальных зажимах будут подвешены крепежные детали и необходимые при монтаже инструменты, последовательно снимаемые в процессе работы механическими руками.

Силовая установка астробуксира может состоять из жидкостных ракетных двигателей, крепящихся на шарнирах. На борту астробуксира будет, кроме того, небольшая энергетическая установка для питания аппаратуры управления и системы жизнеобеспечения экипажа.

Предполагается, что астробуксир будет полностью собираться на Земле и не потребует никаких доработок в космосе. После завершения основных своих задач он может применяться для корректировки орбиты станции и ее наружного ремонта.



Орбитальные станции свяжут с Землей транспортные корабли, рассчитанные на многократное использование, так называемый космический челнок. В идеале челнок должен выполнять взлет с земли так же, как обычный самолет, набирать высоту до заданной орбиты, доставлять в точку назначения свой груз, входить снова в атмосферу, совершать посадку на обычной аэродромной дорожке и быть готовым к следующему полету после техобслуживания и заправки. Подобная транспортная машина, обслуживающая отрезок «Земля—орбита», пока еще нереальна для сегодняшнего состояния науки и техники, но приближающиеся к ней промежуточные конструкции, которые могли бы быть созданы к концу 70-х годов, уже существуют в чертежах.

Схема полета и устройство такого транспортного корабля показаны на рисунке (стр. 170). Корабль состоит из трех ракетных блоков: два блока первой ступени расположены по бокам блока второй ступени. Двигательные установки всех трех блоков включаются одновременно, причем двигательная установка блока второй ступени до отделения блоков первой ступени использует перепускаемое из них топливо. Отделившиеся блоки первой ступени, используя выдвижные крылья и турбовентиляторные двигатели, возвращаются в район запуска. После выполнения задач полета блок второй ступени сходит с орбиты и возвращается на Землю в район запуска, используя выдвижные крылья и турбовентиляторные двигатели.

Однако какой бы колоссальный прогресс ни был достигнут в технике космических кораблей, транспортные перелеты Земля—космос—Земля останутся неэкономичными до тех пор, пока мы не научимся использовать естественные ресурсы Солнечной системы. Сейчас приходится везти на космических кораблях средства для передвижения не только на пути от Земли, но и для возвращения. Мало сказать, что это удваивает трудности полета — это по крайней мере учетверяет их.

В космосе мы можем обнаружить геологические образования и среды в столь же широком разнообразии, что и на Земле. На наших глазах начинается непосредственное освоение лунной и планетной целины. Мы уже знаем, что на Луне есть равнины и возвышенности, менее примет-

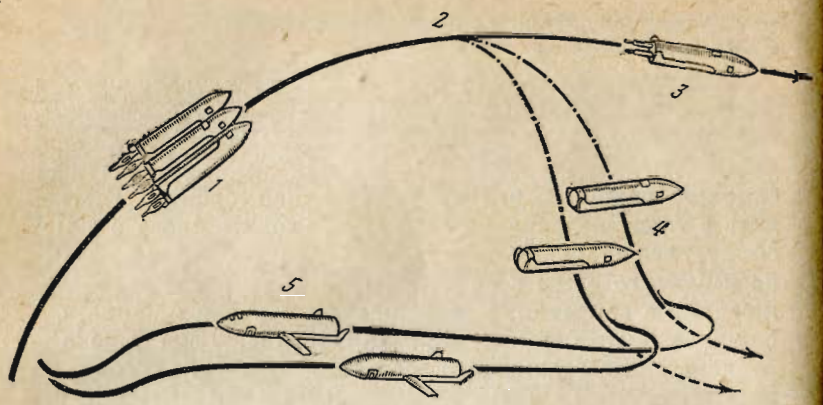



**Схема полета транспортного корабля:**

*1* — конец участка вертикального подъема,
*2* — отделение блоков 1-й ступени,
*3* — выход блока 2-й ступени на орбиту,
*4* — вход блоков 1-й ступени в плотные слои атмосферы,
*5* — возвращение блоков 1-й ступени в район запуска

ные для глаза каньоны, глубокие провалы в кратерах, почти вертикальные склоны, извилистые долины, похожие на русла высохших рек, низкие купола, которые могут оказаться крышами огромных «пузырей», вздувшихся в раскаленной породе, огромные ковры некогда жидкого материала (возможно, лавы).

На Луне будут создаваться сначала временные, а затем постоянные лунные обитаемые базы.

Для лунных поселенцев прежде всего нужно создать достаточно комфортабельные жилища. Для этой цели выгодно использовать искусственные или естественные углубления в лунных горных массивах, которые предохранят обитателей от метеоритов и радиационной опасности. Не исключено, что на Луне человек обнаружит пещеры и «трубы», подобные тем, которые на Земле образуются неподалеку от вулканов реками расплавленной породы. Но на Луне сила притяжения меньше, а поэтому такие «трубы» могут оказаться бóльшими, чем на Земле. Разумеется, такие жилища должны быть герметизированы, снабжены



шлюзовыми устройствами для выхода во внешнее безвоздушное пространство.

Многие ученые считают, что на Луне первоначально будут сооружены жилища и подсобные помещения из надувной затвердевающей пластмассы, которые будут накачивать кислородом, привезенным с Земли. Затем этот кислород предполагается непрерывно генерировать с помощью химических очистительных систем. Возможно также, для этой цели будут использоваться растения. Ведь именно они производят кислород, которым мы дышим на Земле. В луной базе они могли бы регенерировать атмосферу, поглощая выдыхаемый людьми углекислый газ и выделяя кислород.

Появится необходимость добывать кислород на месте, и не только кислород, но и как можно больше других постоянно расходуемых веществ и материалов.

Конечно, лучшим источником кислорода была бы вода, состоящая на 90% из этого элемента. Но если нет воды в чистом виде, то для этой цели можно использовать почвенные и горные породы, которые богаты кристаллизационной водой. Эту воду можно «выпарить» в солнечном коллекторе при температуре около 3000° С. Такую температуру создадут солнечные лучи, сконцентрированные системой линз и зеркал.

Если на Луне есть карбонат кальция, то, разлагая его в солнечном коллекторе, можно получать кислород, углерод и окись углерода. Правда, для этого потребуется температура около 4000° С. Подсчеты показывают, что при площади коллектора в 0,84 м² удастся получать 265 л кислорода в час, что обеспечит жизнь 15 человек.

Металлы и кремний, наверное, придется добывать из окислов — есть много шансов встретить на Луне богатые рудные месторождения.

Кислород, вода, продукты питания, топливо и запасы электроэнергии в аккумуляторах, вероятно, будут накапливаться в течение лунного дня в таких количествах, которые потребуются и для продолжительной лунной ночи — периода бездействия солнечных установок.

Своеобразные проблемы связаны с созданием лунного транспорта, способного надежно действовать в суровой лунной обстановке и в среде с облегченной тяжестью. Уже сейчас не испытывается недостатка в проектах различных лунных вездеходов.

Как известно, в ходе разработок были проанализированы самые различные типы движителей: гусеничный, шагающий и даже прыгающий. Однако наиболее оптимальным был признан колесный. Высокая надежность сочетается в нем с экономичностью и простотой конструкции.

Значительная длина системы колес позволяет машине преодолевать широкие трещины и выступы. При этом типе движителя трущиеся детали могут быть надежно защищены от воздействия космического вакуума и проникания лунной пыли. Колеса, имеющие индивидуальные приводы, дают возможность продолжать движение даже при выходе из строя нескольких из них.

Для передвижения космонавтов по лунной поверхности предлагается также луноход на газовой подушке. Согласно расчетам в условиях лунного тяготения и вакуума для обеспечения перемещения лунохода достаточно будет давления газа $3{,}5 \cdot 10^{-4}$ кг/см$^2$. Луноход рассчитан на двух космонавтов. Механизмы управления, запас газа и основной двигатель аппарата монтируются на центральной площадке.

По мнению ряда ученых, луноходы на газовой подушке обеспечат бóльшую скорость передвижения и более высокую проходимость, чем колесные. Они смогут развивать скорость до 50 км/ч, преодолевать кратеры диаметром до 3 м и камни диаметром до 0,6 м.

Гусеничный лунный вездеход с ракетной системой — еще один вариант лунного вездехода. Оснащенный тремя устойчивыми гусеничными опорами и ракетами, он может ползти по лунной поверхности и делать короткие перелеты над ней. Такой вездеход обладает очень высокой маневренностью. Он может разворачиваться практически на месте и с места двигаться в любых направлениях.

Этот вариант вездеходов рассчитан на длительные автономные экспедиции с многочисленным экипажем. Он сможет проходить расстояния в сотни километров. Источники энергии для него — топливные элементы, аккумуляторы и радиоизотопные термоэлектрогенераторы.

Со временем Луна покроется сетью герметичных лунных жилищ и предприятий. В многочисленных лунных лабораториях будут проводиться эксперименты и астрофизические исследования, невозможные на Земле. На базе



лунных ископаемых будут построены уникальные промышленные комплексы. С деятельностью человека на Луне будет связано огромное количество новых проектов и совершенно необычных решений в области строительства.

В связи с интенсивным освоением Луны возникает проблема большого числа транспортных полетов с целью доставки на лунную поверхность ученых, инженеров и обслуживающего персонала. Считается, что самым эффективным средством сообщения между Землей и Луной может оказаться аэрокосмический самолет.

Взлет его будет горизонтальным, как у современных самолетов. Ракетно-прямоточные двигатели и устройства для сжижения воздуха обеспечат разгон до гиперзвуковых скоростей. Пассажирский отсек отделится от самолета-носителя при перегрузке немногим более 1,5 $g$ во время полета по баллистической траектории за пределами атмосферы, после чего самолет начнет снижение для посадки на аэрокосмодром, а пассажирский отсек на конечную траекторию полета к Луне выведут ракетные двигатели, сообщив ему необходимую скорость.

Двигатели корабля будут работать почти непрерывно в течение всего полета, иначе ему пришлось бы сообщать вращательное движение для создания искусственной силы тяжести. На большей части траектории лунный корабль будет ускоряться, затем он развернется на 180° для торможения и перехода на орбиту спутника Луны.

Даже при очень совершенных ракетных двигательных установках лунный космический корабль не сможет осуществить посадку на поверхности Луны без дополнительных ступеней одноразового действия. Поэтому вместо посадки корабля на Луну можно предусмотреть его встречу с космической станцией, находящейся в либрационной точке, где пассажиры переходят в специальный посадочный аппарат.

При освоении планет, судя по всему, будет сохранена та же последовательность, что и для Луны: сначала посылка в окрестности планеты разведывательных автоматических зондов, затем мягкая посадка на поверхность планеты автоматических станций, наконец, первые экспедиции, знаменующие начало заселения планеты и использование ее богатств.

Исследования Венеры и Марса имеют большое значение в первую очередь для понимания происхождения и эволюции Солнечной системы вообще и Земли в частности. Изучение Марса представляет интерес и с точки зрения биологической. На примере американской программы «Викинг» отчетливо видно смещение центра тяжести научных исследований в сторону комплексных экспериментов, включающих как широкий круг опытов по изучению органической химии поверхности Марса, так и проведение чисто биологических экспериментов.

И если одной из планет, на которую ученые возлагали наибольшие надежды, была до недавнего времени Венера, то сейчас на первое место вышел Марс. Условия на Венере сильно ограничивают ее исследования даже с помощью беспилотных аппаратов. Очевидно, человеку будет еще труднее создать условия для высадки на этой планете в ближайшем будущем. Марс — планета более гостеприимная.

Проблема полета человека на другие планеты заключается, однако, не столько в сложности условий на этих небесных телах, сколько в расстоянии до них. Так, например, Марс в периоды противостояния (раз в два года) находится в 56 млн. км от Земли, т. е. почти в 150 раз дальше от нас, чем Луна. С расстоянием связан ряд других проблем. Для путешествия на Марс с возвращением на Землю человеку придется преодолеть сотни миллионов километров в космосе, а это займет около трех лет. Ни один из современных космических кораблей не в силах нести на своем борту такое количество запасов кислорода и пищи, чтобы обеспечить на этот период жизненные условия даже небольшому экипажу. Для экспедиции из 10 человек понадобилось бы иметь запасы воды, кислорода и продуктов питания общим весом около 70 т. И это без учета возможной задержки. Поэтому для полета на Марс потребуется не обычный корабль, а Земля в миниатюре. Ученые называют это «системой замкнутого цикла», где было бы налажено использование отходов с целью постоянного восстановления атмосферы и воспроизведения продуктов питания на борту.

Вся жизнедеятельность человека в космическом полете должна будет протекать в неразрывном едином цикле, т. е. таким образом, чтобы все то, что выделяется, поглощалось, а все то, что поглощается, восстанавливалось,



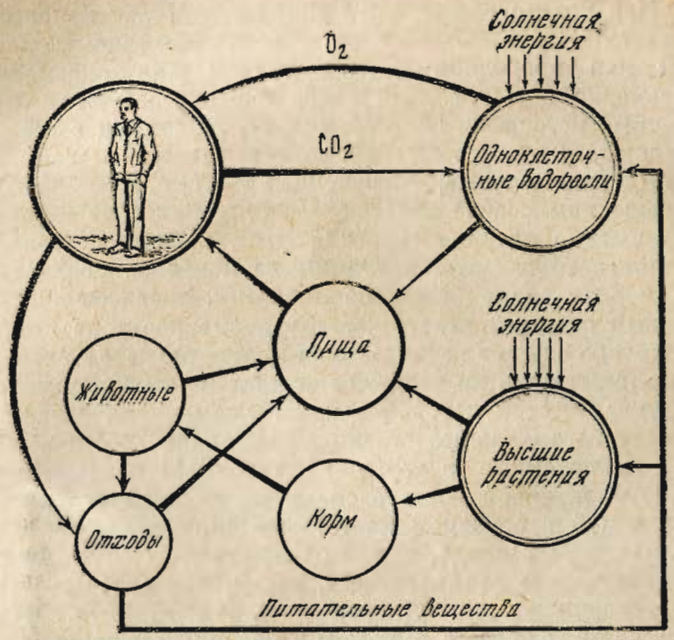



**Схема экологической системы замкнутого цикла**

чтобы вновь могло быть использовано. Выделения организма могут пойти на выращивание растений, которые употребляются человеком и животными в пищу; кроме того, растения, поглощая углекислоту и солнечную энергию, будут поставлять необходимый для организма кислород.

Чтобы круговорот вещества был стабильным, система должна включать организмы-производители, создающие органические вещества; организмы-потребители, питающиеся организмами-производителями; организмы-разрушители, разлагающие органические соединения отходов жизнедеятельности организмов первых двух видов до неорганического вещества; наконец, неживые компоненты системы, образующие среду, в которой обитают эти организмы. В качестве источника энергии в такой системе, как и в круговороте вещества на Земле, будет Солнце.

При полете человека к Венере или Марсу непригоден двигатель, работающий на обычном химическом топливе, так как продолжительность путешествия оказывается чрезмерно большой. Для этой цели потребуются более мощные источники энергии, точнее, источники с высокой степенью концентрации энергии в единице массы.

Ядерная энергия, заключенная в атоме, в миллион раз больше химической энергии. Поэтому наиболее вероятно, что именно ядерная энергия будет использоваться для межпланетных полетов. Одним из наиболее подходящих на первом этапе будет, по-видимому, твердофазный ракетный ядерный двигатель. «Сердцем» реактора в таком двигателе служит вертикальная цилиндрическая активная зона, состоящая из твердой матрицы из огнеупорного материала, внутри которой в правильном порядке располагаются вертикальные стержни расщепляющегося вещества, заключенные в трубу из тугоплавкого материала. Вокруг активной зоны распада расположен отражатель, состоящий в основном из того же материала, что и активная зона распада, т. е. из элементов или группы элементов малого атомного веса, таких, как водород, дейтерий, бериллий или углерод в форме графита. Между стержнями атомного горючего в правильном порядке расположены регулирующие стержни из соединений бора. В качестве расщепляющего вещества может быть использован чистый уран-235, но скорее всего будут применяться карбид урана или двуокись урана, имеющие меньшую рабочую температуру.

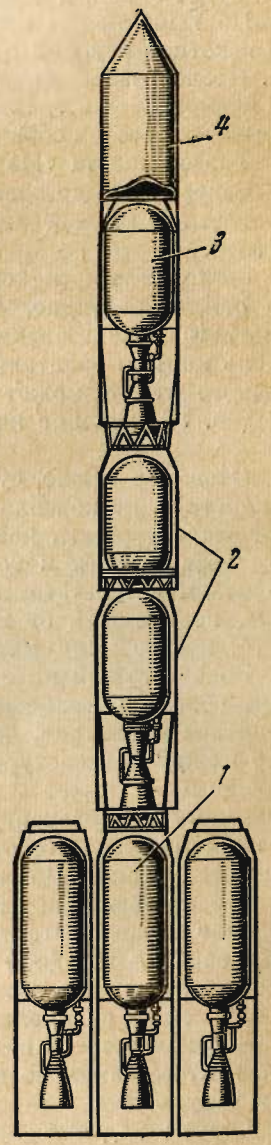
Межпланетный корабль будет иметь огромный вес. Поэтому сборка его должна осуществляться на орбите из отдельных полностью заправленных блоков. Первоначально на базовую геоцентрическую орбиту выводится собственно корабль (без космонавтов). Затем на эту же орбиту выводятся ракетные блоки с ядерными двигателями — стартовыми, для перевода корабля с геоцентрической орбиты на траекторию полета к Марсу и маршевыми, для перевода корабля с траектории полета к Марсу на ареоцентрическую орбиту для последующего перевода с этой орбиты на траекторию полета к Земле и, наконец, для перевода с этой траектории на геоцентрическую орбиту.

Все ракетные блоки выводятся на орбиту, полностью заправленные рабочим телом, но возможна подпитка с помощью транспортного аппарата многократного использования. Такой же транспортный аппарат доставит на марсианский корабль космонавтов и необходимые запасы.



Пилотируемый посадочный отсек марсианского корабля будет состоять из посадочной и взлетной ступеней. При подлете к Марсу посадочный отсек с помощью бортового двигателя сходит с ареоцентрической орбиты и совершает спуск в атмосфере Марса с использованием аэродинамического торможения. Когда скорость отсека снизится до местной скорости звука, будет сброшен теплозащитный экран тормозной двигательной установки, и отсек совершит посадку с помощью этой установки и парашютной системы.

В задачу первых космонавтов, высадившихся на поверхность Марса, будут входить магнитные, гравитационные и сейсмические исследования, сбор образцов грунта, получение атмосферных проб, поиски жизни, изучение поведения форм жизни в марсианских ус-




**Проект управляемого корабля для полета на Марс:**

*1* — ракетные блоки для перевода с геоцентрической орбиты на траекторию полета к Марсу,
*2* — ракетные блоки для перевода с траектории полета к Марсу на ареоцентрическую орбиту,
*3* — ракетный блок для перевода с ареоцентрической орбиты на траекторию полета к Земле,
*4* — марсианский корабль

ловиях, поиск воды и других природных материалов на планете. Для передвижения космонавтов посадочный отсек будет снабжен самоходным экипажем.

По выполнении программы исследований космонавты во взлетной ступени посадочного отсека стартуют с Марса. После возвращения экспедиции на корабль и перехода космонавтов в орбитальный отсек взлетные ступени посадочных отсеков сбрасываются.

Трасса полета «Марс — Земля» будет проходить вблизи Венеры. Это позволит при пролете около этой планеты провести ее исследования с помощью непилотируемого аппарата.

Экипажи марсианских кораблей будут доставляться на Землю, очевидно, транспортными кораблями многократного использования. В принципе марсианский корабль помимо орбитального отсека и пилотируемого посадочного отсека может включать и отсек для спуска на Землю. Утяжеление корабля в этом случае будет небольшим.

Очевидно также, будет целесообразным предусмотреть в конструкции корабля непилотируемый аппарат, который мог бы совершить посадку на поверхность Марса и затем возвратиться к кораблю с образцами марсианского грунта и результатами исследований. После оценки данных, полученных от непилотируемого посадочного аппарата, можно принимать решение о высадке экспедиции.

Значительный интерес представляет изучение окраинных областей Солнечной системы и планет-гигантов — Юпитера и Сатурна. Детализация их состава — соотношение между легколетучей, силикатной и железной составляющими — имеет принципиальное значение для понимания дифференциации протопланетного облака на разных расстояниях от Солнца и условий концентрации вещества планет. Повышенная яркость Юпитера в радиодиапазоне заставляет предполагать повышенное тепловыделение планет-гигантов, которые, может быть, таят в себе зачатки звездной энергетики, являются своего рода «несостоявшимися звездами». Понятен поэтому интерес, проявляемый специалистами к полетам к Юпитеру автоматических межпланетных станций. Можно надеяться, что в итоге таких полетов будут получены важные научные результаты.

Совсем недавно практически все ученые отвергали



возможность существования жизни на Юпитере вследствие «отравляющей» атмосферы этой планеты. Сегодня, однако, начинает осознаваться узость подобного взгляда. Современные космические теории предполагают, что около 4 млрд. лет назад Земля была окутана газом, подобным тому, который сейчас окружает Юпитер. Но ведь именно в таких условиях зародилась примитивная жизнь на Земле! Только на более поздней стадии, когда возникли растения, такие содержащие водород соединения в атмосфере, как метан и аммиак, были вытеснены кислородом. И только после этого появился животный мир.

Таким образом, можно полагать, что Юпитер находится на начальной стадии биологического развития. Этим можно объяснить и необычную окраску его атмосферы, типичную для многих сложных органических соединений. Благодаря астрономическим приборам, выведенным на околоземную орбиту, мы очень скоро узнаем, фантазия это или реальность. Но пройдет, очевидно, еще очень много времени, прежде чем к Юпитеру с его атмосферой, сотрясаемой страшными бурями и ливнями, с которыми не сравниться земным, будет послан пилотируемый межпланетный корабль. На протяжении этого столетия и значительной части следующего человек, видимо, сможет ступить только на близлежащие планеты Солнечной системы — Меркурий, Венеру, Марс. После осуществления пилотируемых полетов к Венере, Марсу и Меркурию возможности твердофазных ядерных ракетных двигателей будут, по-видимому, исчерпаны. Для продолжительного полета в еще не исследованные области Солнечной системы потребуются более экономичные двигательные установки.

Такими установками могут стать, например, импульсные ядерные реактивные двигатели (ЯРД) и термоядерные. Импульсный ЯРД внешнего действия использует энергию взрыва большого количества небольших зарядов, находящихся на борту ракеты. Эти заряды последовательно выбрасываются из ракеты и подрываются на некотором расстоянии от нее. При каждом взрыве часть расширяющихся газообразных осколков деления в виде плазмы с высокой плотностью и скоростью сталкивается с основанием ракеты — толкающей платформой. Ей передается количество движения плазмы, и платформа движется вперед с большим ускорением. Ускорение умень-

шается демпфирующим устройством до нескольких $g$ в носовом отсеке ракеты, что не превышает пределов выносливости человеческого организма.

В импульсном ЯРД внутреннего действия ядерный заряд взрывается в «камере сгорания», наполненной рабочим телом, которое нагревается и затем истекает из двигателя, создавая тягу. При этом все продукты взрыва и вся масса рабочего тела используются для создания тяги.

В термоядерном ракетном двигателе будет использоваться реакция превращения водорода в гелий. Конструкция термоядерного двигателя более проста. С точки зрения стоимости и экономичности он также превосходит импульсные ЯРД.

Оба типа двигателей (импульсный и термоядерный) обеспечат удельную тягу, соответствующую энергетическим требованиям полета в пределах Солнечной системы при допустимой продолжительности путешествий.

Если мы захотим оставить Солнечную систему и отправиться на одну из ближайших звезд, то скорости, которые могут обеспечить ядерные и термоядерные двигатели, окажутся недостаточными. Как известно, ближайшая неподвижная звезда — Проксима (Центавра) — находится от нас на расстоянии 4,3 светового года, т. е. свет, распространяющийся со скоростью 300 тыс. км/с, идет от нее до нас более четырех лет. Простой расчет показывает, что космическому кораблю для преодоления такого расстояния даже при скорости 100 км/с понадобится более 1200 лет.

Для того чтобы покрывать межзвездные расстояния, требуются скорости, близкие к скорости света. Единственный способ достичь такой скорости — использовать так называемые фотонные ракеты.

В современных схемах фотонная ракета несколько напоминает исполинский прожектор. Предполагается, что одна половина рабочего тела будет представлять собой вещество, а другая — антивещество, которые, вступая в реакцию, аннигилируют, т. е. превращаются в электромагнитное излучение. При этом излучению придается направленный характер — с помощью экрана (зеркала) поток фотонов отражается в сторону, противоположную направлению полета. Излучение и создает необходимую тягу.

Полет к ближайшим звездам займет годы или деся-



тилетия. Но можно ли будет достичь звезд, свет от которых доходит до Земли за сотни или даже тысячи лет? Казалось бы, на этот вопрос возможен только отрицательный ответ, поскольку время путешествия превышало бы среднюю продолжительность человеческой жизни. Теоретически возможны два решения этой проблемы.

Первое — одно поколение людей поселяется на борту межзвездного космического корабля, а через несколько поколений их потомки достигают отдаленных миров. Второе — создать метаболические препараты, которые будут способны соответствующим образом замедлять биологическую активность организма членов экипажа, так что

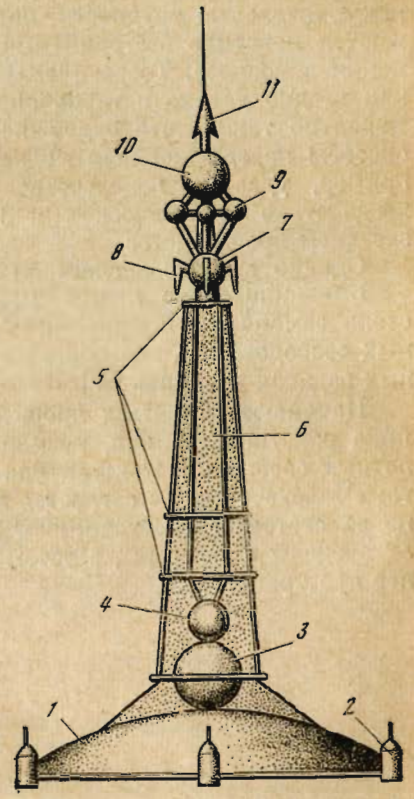



**Схема межзвездной фотонной ракеты:**

*1* — отражающая «чаша» (зеркало),
*2* — управляющие двигатели,
*3* — резервуары с антивеществом,
*4* — резервуары с веществом,
*5* — защитные экраны,
*6* — основной отсек,
*7* — жилые помещения космонавтов,
*8* — излучатели,
*9* — шаровые обсерватории,
*10* — центральный пост управления,
*11* — космический ракетоплан

продолжительность их жизни будет исчисляться несколькими столетиями.

Но существует и еще одна проблема. Согласно теории относительности Эйнштейна ритм времени на объекте, движущемся с большой скоростью, сокращается. И сокращение будет особенно ощутимым, когда скорость будет приближаться к скорости света. Полет до соседней галактики — туманности Андромеды — на фотонной ракете по времени, измеряемому на борту космического корабля, мог бы быть совершен за 9 лет. На Земле при этом прошло бы около 750 тыс. лет. Срок настолько большой, что за такое время поверхность Земли, ее климат могут измениться до неузнаваемости.

Хотя практическая реализация фотонных ракет и вообще межзвездных кораблей, очевидно, натолкнется на исключительные трудности, перед человечеством раскрываются поистине безграничные возможности распространения в космосе. Теоретически оно способно проникнуть как угодно далеко в глубь окружающей нас Вселенной. Вероятно также, что будут найдены иные, неракетные способы передвижения в межзвездном пространстве. Например, удастся использовать гравитационные волны, воздействие электрических и магнитных полей в межзвездном пространстве.

Однако все это — слишком отдаленные перспективы.

Ближайшие же планы межпланетных путешествий столь заманчивы и притягательны, что заставляют ученых сосредоточить внимание на них как на первоочередных задачах космонавтики.

Начинают сбываться пророческие слова основоположника ракетной техники, космонавтики и теории межпланетных сообщений Константина Эдуардовича Циолковского: «Человечество не останется вечно на Земле, но в погоне за светом и пространством сначала робко проникнет за пределы атмосферы, а затем завоюет все околосолнечное пространство».

## ОГЛАВЛЕНИЕ


**Глава 1. Начало космической эры** . . . . . 3
Самые первые . . . . . 7
В космосе — лаборатория . . . . . 13

**Глава 2. Трассы прокладывают автоматы** . . . 16
Корабли-разведчики . . . . . 16
Часовые науки . . . . . 19
Космическая система «Электрон» . . 23
Космические станции «Протон» . . 29
Автоматические станции «Прогноз» 34

**Глава 3. Объект исследований — Луна** . . . . 37
Космическая лаборатория . . . . . 37
В окололунном пространстве . . . . 40
Репортаж из Океана Бурь . . . . . 43
Лунный «геолог» . . . . . 48
Луноходы . . . . . 50

**Глава 4. К планетам Солнечной системы** . . . 54
Венера раскрывает тайны . . . . . 54
Марс далекий и близкий . . . . . 61

**Глава 5. В космосе человек** . . . . . 70
Первый — Ю. А. Гагарин . . . . . 70
На орбите «Союз» . . . . . 73
Орбитальная научная станция «Салют» 76

**Глава 6. Спутники прикладного назначения** . . 90

**Глава 7. Некоторые результаты космических исследований** . . . . . 97
Космические лучи . . . . . 97
Альбедо и атмосфера Земли . . . . 103
Астрономическая обсерватория . . . 110
Служба погоды . . . . . 114
Система космической связи . . . . 122
Навигация через космос . . . . . 132

**Глава 8. Космос — арена международного сотрудничества** . . . . . 141

**Глава 9. Перспективы космических исследований** 160

**Михаил Иванович Штерн**

**КОСМОС — ЗЕМЛЕ**

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

Редактор **В. К. Низковский**
Художественный редактор **Ю. П. Трапаков**
Технические редакторы **Н. Н. Плохова, Т. С. Жарикова**
Корректор **Л. С. Агапова**

Сдано в набор 12/VII 1976 г. Подпис. к печ. 29/X 1976 г.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 2
Усл. печ. л. 10,5. Уч.-изд. л. 10,5. Тираж 56 000.
Т-16064. Тип. зак. 901
Цена 73 коп.

Издательство «Наука»
103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука»,
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10.