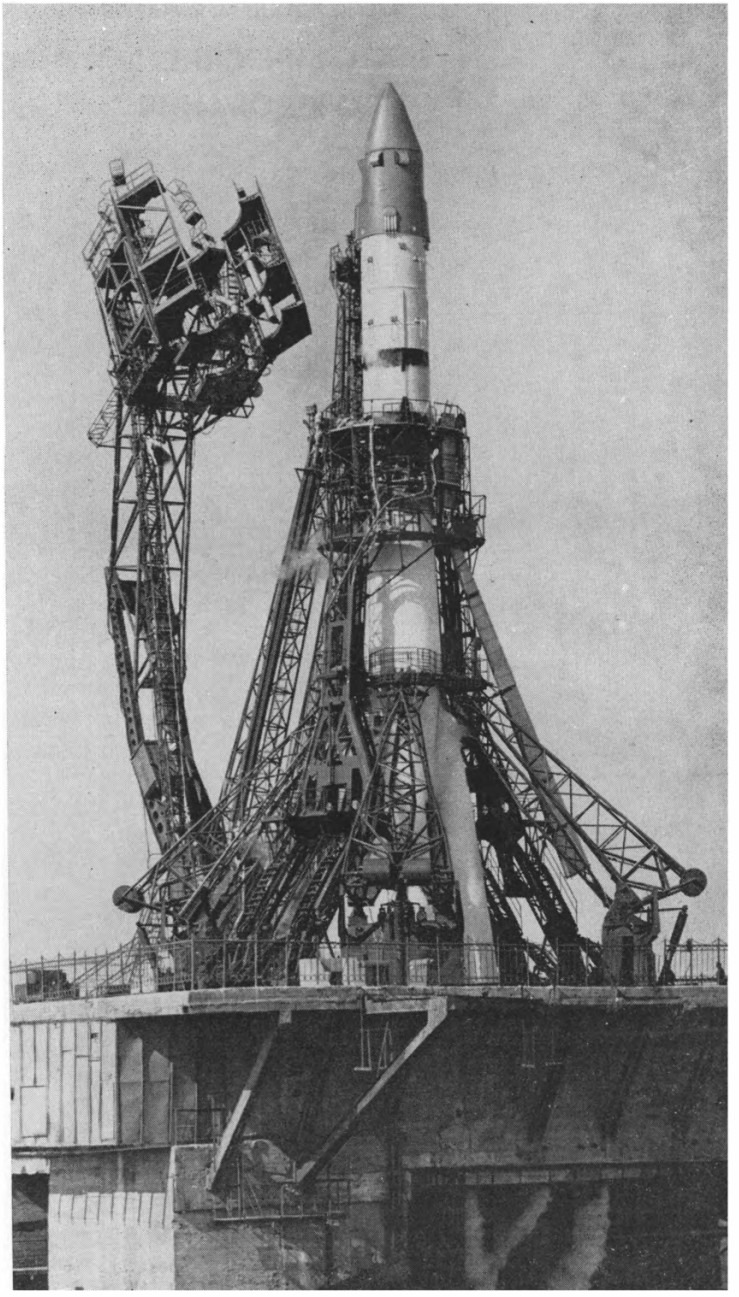
М.В. КЕЛДЫШ, М.Я. МАРОВ

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

М. В. КЕЛДЫШ, М. Я. МАРОВ

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА



АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ
им. М. В. КЕЛДЫША

М. В. КЕЛДЫШ, М. Я. МАРОВ

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1981

УДК 629.78

Келдыш М. В., Маров М. Я. КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ. М.: Наука, 1981. 192 с.

В основу данной книги положена одноименная статья М. В. Келдыша и М. Я. Марова в юбилейном сборнике «Октябрь и наука» (М.: Наука, 1977), существенно дополненная и расширенная. В книге дается общая картина развития космических исследований, показана их роль в решении фундаментальных научных проблем и практических нужд человечества.

Книга предназначена для читателей, интересующихся проблемами космических исследований.

Ответственный редактор
академик В. С. АВДУЕВСКИЙ

На стр. 2 фотография ракеты-носителя «Союз» с кораблем «Восход» перед стартом.

Рис. 22, 34, 69, 70 помещены на цветных вклейках

К $\frac{31901-595}{055(02)-81}$ 71—81 3607000000

© Издательство «Наука», 1981 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая вниманию читателя книга является последней работой выдающегося ученого современности, трижды Героя Социалистического Труда академика М. В. Келдыша, написанной в соавторстве с одним из его ближайших сотрудников профессором М. Я. Маровым. Основу ее составляет одноименная статья авторов, подготовленная для сборника «Октябрь и наука» и опубликованная в этом сборнике в сокращенном виде в 1977 г. Первоначальный вариант авторы намечали после дополнительной доработки издать отдельной книгой, однако из-за внезапной кончины М. В. Келдыша эта работа была завершена позднее, чем предполагалось. И хотя Мстислав Всеволодович не смог увидеть окончательного текста рукописи, в пей воплощены все его рекомендации и конкретные замечания. Введение, разделы I, III—V, VII, VIII, XII и заключение сохранились практически без изменения, с небольшими уточнениями. В разделе II использованы фрагменты стенограммы выступления М. В. Келдыша на собрании в январе 1977 г., посвященном 70-летию со дня рождения С. П. Королева. Также в связи с пожеланием М. В. Келдыша дополнительно введен раздел IX, написанный М. Я. Маровым, несколько расширены разделы VI, X, XI, увеличено количество иллюстраций.

Книга охватывает практически все направления, которые обобщенно называются космическими исследованиями. Ее отличают сжатость и доступность изложения, возможность проследить важнейшие этапы развития в нашей стране космических исследований, понять, какие исторические предпосылки и научно-технические основы обеспечили запуск первого в мире искусственного спутника Земли и первый полет в космос гражданина Земли — советского человека, коммуниста Юрия Алексеевича Гагарина.

В ней рассказывается о том, как развивались исследования верхней атмосферы Земли, околоземного космического пространства, Луны и планет Солнечной системы, какой толчок дали космические исследования развитию геофизики, астрофизики, ядерной физики, биологии и других фундаментальных наук. Показана эффективность выработанной в процессе реализации советской космической программы линии на всемерное использование автоматов для изучения природы Луны и других небесных тел с одновременным развитием пилотируемых полетов в околоземном космическом пространстве с целью создания многоцелевых длительно функционирующих орбитальных комплексов. Авторы не ставили перед собой цели одинаково подробно и полно рассказать о всех многочисленных аспектах изучения и освоения космического пространства, хорошо понимая, что

такая задача вряд ли выполнима. К тому же перегруженность отдельными деталями, вероятно, сделала бы книгу менее полезной читателям, специально не занимающимся космическими исследованиями, которым она прежде всего адресована.

В кратких обзорах современного состояния отдельных направлений изучения космоса изложение основывается главным образом на результатах отечественных и частично зарубежных исследований. Большое внимание уделено вопросам практического использования космоса в интересах народного хозяйства, в интересах всего человечества. К ним относится, с одной стороны, создание специальных связных, метеорологических и других космических систем, а с другой стороны, непосредственное воздействие достижений «космических» отраслей промышленности на обычные земные изделия, материалы, технологию. Значительное место уделено работам, проводимым в рамках международного сотрудничества по программам «Интеркосмос», демонстрирующим верность первой страны победившего социализма своему интернациональному долгу.

В книге нет ссылок на оригинальные работы, равно как и не называются авторские коллективы или отдельные исследователи, результаты которых используются в тексте. Такой подход продиктован стремлением авторов сделать изложение достаточно популярным и одновременно сохранить объем книги в разумных пределах. Все, о чем здесь рассказано, служит вместе с тем убедительным и реальным воплощением результатов работ многочисленных коллективов ученых, инженеров, техников, рабочих, вложивших свой талант, знания и мастерство в создание и развитие ракетно-космической техники, в осуществление космических экспериментов.

Советский Союз открыл человечеству дорогу в космос. Это эпохальное достижение было подготовлено трудами блестящей плеяды ученых и конструкторов — пионеров отечественного ракетостроения. Рядом с именами основоположника космонавтики К. Э. Циолковского и создателя ракетно-космических систем С. П. Королева по праву называют имя М. В. Келдыша, стоявшего у истоков работ по изучению и освоению космического пространства в нашей стране. Он внес громадный вклад в решение теоретических проблем, связанных с выводом искусственных небесных тел на околоземные орбиты, полетами к Луне и планетам Солнечной системы, до конца своей жизни руководил разработкой и практическим осуществлением космических программ, отдав этому направлению своей многогранной деятельности много сил и творческой энергии. Он упорно работал над претворением в жизнь мечты о завоевании человечеством всего околосолнечного пространства, глубоко веря, что космос станет одним из наиболее притягательных и благородных устремлений будущих поколений. Эти мысли, эту убежденность читатель найдет на страницах книги.

Академик А. Н. ТИХОНОВ

ВВЕДЕНИЕ

В летописи выдающихся научно-технических достижений XX столетия космическим исследованиям по праву принадлежит одно из главных мест. Глубочайшим социальным смыслом наполнено сознание того, что начало историческому процессу выхода человечества за сферу земного притяжения, непосредственному изучению и практическому освоению безграничных пространств за пределами Земли было положено первым государством рабочих и крестьян всего спустя сорок лет после победы Великой Октябрьской социалистической революции в отсталой царской России. Запуск в Советском Союзе первого искусственного спутника Земли явился убедительным воплощением величия ленинских идей, небывалого прогресса страны, энтузиазма, смелости и мастерства советских людей.

Еще совсем недавно было много сомнений и даже споров о целесообразности развития космических исследований, так как они требуют расходования значительных материальных средств. Однако научные и практические результаты этих исследований, достигнутые всего за два десятилетия, рассеяли эти сомнения. За это время были сделаны огромные шаги в исследовании и освоении космоса: первый космический полет человека, выход человека в открытое космическое пространство, исследования Луны с помощью автоматических космических аппаратов, полеты автоматических станций к планетам Солнечной системы, посадка на их поверхность и передача изображений окружающего ландшафта; вынос сложных астрономических инструментов на околоземные орбиты за пределы земной атмосферы; высадка людей на поверхность Луны, создание обитаемых орбитальных станций, обеспечиваемых транспортными и грузовыми кораблями, и длительные экспедиции экипажей космонавтов; создание систем метеорологических, связных и навигационных спутников, начало работ в области космического землеведения, космической технологии и др. Благодаря космическим исследованиям мы многое узнали о природе околоземного и межпланетного космического пространства, о влиянии процессов на Солнце на геофизические явления, о природе Луны и ближайших к нам планет, о многообразных объектах в беспредельных просторах Вселенной, о возможностях жить и работать в космосе. Результаты космических исследований находят все более широкое и разнообразное практическое применение.

Непосредственное проникновение в космос оказывает огромное влияние на мировосприятие и психологию современного человека, на общественную жизнь. Человек перестал чувствовать себя ограниченным предела-

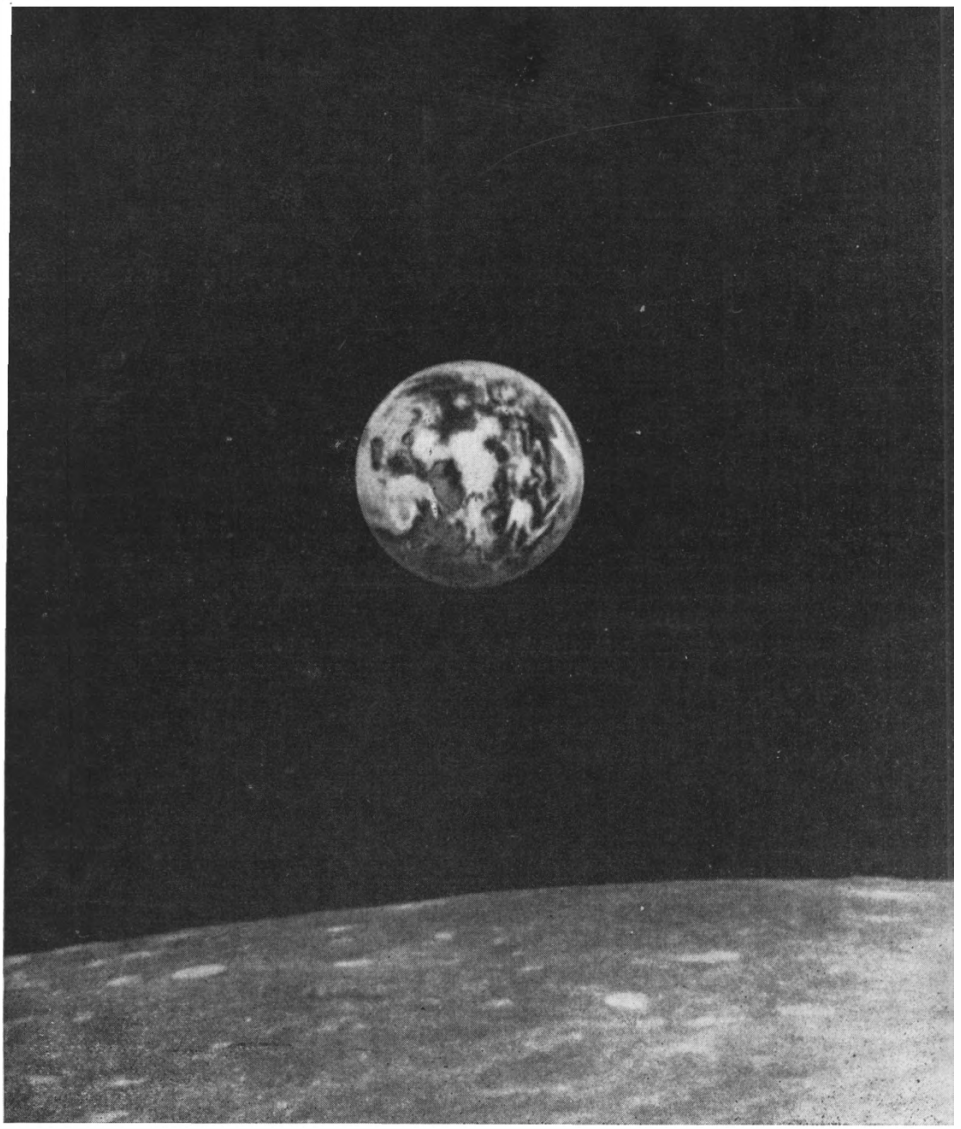


Рис. 1. Вид Земли из космоса (снимок с «Зонда-7»)

ми нашей планеты. Выйдя в космическое пространство, он получил возможность взглянуть на Землю как бы со стороны (рис. 1). Принципиальная возможность достижения других планет, иных миров расширила сферу нашего мышления, внесла в него значительные изменения. Сознание безграничных возможностей науки и техники в овладении силами природы, укрепившееся с развитием космических исследований, несомненно, оказало благотворное влияние на усилившееся за последнее время в мире чувство ответственности за судьбы всей нашей планеты.

Освоение космоса явилось исторически предопределенным этапом на пути неуклонного прогресса человеческого общества. Оно имеет громадное значение не только для дальнейшего познания Вселенной. Сам процесс перехода к взаимодействию человека с природой на Земле во все более расширяющихся масштабах, глобальному характеру использования ресурсов и воздействия на окружающую среду неизбежно должен был привести к появлению принципиально новых средств изучения собственной планеты и контроля за ее состоянием, к расширению сферы деятельности на примыкающие к ней области космического пространства. Развитие ракетно-космической техники, непрерывно стимулируемое растущими потребностями ее применения в различных областях науки, экономики, культуры, призвано сыграть важнейшую, возможно решающую, роль в решении прежде всего таких актуальных проблем, как сырьевая, энергетическая, экологическая и др. Основываясь на историческом опыте, можно поэтому утверждать, что, подобно другим крупнейшим свершениям человечества, последствия выхода в космос многократно превзойдут в отдаленной перспективе сегодняшний непосредственный эффект и окажут глубочайшее воздействие на весь последующий ход эволюции нашей цивилизации.

I
ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Космос всегда будоражил воображение людей, будил их фантазию. С давних пор человек чувствовал, что его жизнь и процессы, происходящие в природе, сильнейшим образом зависят от небесных явлений — смены дня и ночи, времен года, затмений Луны и Солнца, от превратностей погоды. Небо всегда казалось самым таинственным, потому что оно было наиболее недоступно, и с ним тесно связывались религиозные представления, которые отвечали потребностям объяснить непонятные, грозные стихийные явления. И человек искал начало всего земного на небе.

Астрономия, наука об устройстве мироздания, у всех народов возникла с древнейших времен. В течение тысячелетий далеко продвинулись представления о Вселенной. И можно только удивляться силе познания, которая позволила человеку, оставаясь на Земле, так много узнать о необъятных просторах Вселенной.

Около 150 г. н. э. греческий астроном Клавдий Птолемей написал свой знаменитый труд «Великое математическое построение астрономии в 13 книгах» («Альмагест»), ставшее первым систематизированным сводом астрономических знаний в рамках представлений о геоцентрической системе мира. Система Птолемея позволяла предвычислять положения небесных тел путем искусственного построения очень сложных траекторий, объяснить сущность которых, конечно, не могла, так как принимала видимые перемещения планет за истинные движения относительно неподвижной Земли. Такое объяснение в состоянии была дать только принципиально иная теория, в основу которой, по образному выражению ее автора, был положен принцип «переворачивания видимости». Эпоха Высокого Возрождения, явившаяся кульминационным периодом великого поворота в социальном развитии человечества, в развитии гуманизма, науки и культуры, отмечена гениальным открытием Николая Коперника. Революционным актом назвал Ф. Энгельс издание в 1543 г. его бессмертного творения «Об обращении небесных сфер», в котором великий польский астроном и мыслитель решительно отбросил геоцентрическую систему мира Птолемея и создал новую, гелиоцентрическую, положив тем самым начало освобождению естествознания от теологии и открыв широкий путь научному мировоззрению нового времени. Наблюдения Г. Галилея, впервые направившего в 1610 г. созданный им телескоп на звездное небо, блестяще

подтвердили учение Н. Коперника. В пропаганду и развитие этого учения большой вклад внесли Д. Бруно и И. Кеплер.

Кеплер, проанализировавший многолетние астрономические наблюдения Т. Браге (сделанные, заметим, с удивительной точностью за несколько десятилетий до изобретения телескопа!), показал, что Земля и другие планеты движутся вокруг Солнца не по кругам, а по эллипсам, и сформулировал три знаменитых закона движения планет. Открытие закона всемирного тяготения И. Ньютоном, опубликовавшим в 1686 г. свой замечательный труд «Математические начала натуральной философии», явилось переходом от кинематического к динамическому объяснению движений в Солнечной системе и ознаменовало собой окончательную победу коперниковского учения. В разработку основных математических принципов и методов возникшей, по существу, в этот период небесной механики большой вклад внесли крупнейшие математики и астрономы XVIII в. Л. Эйлер, А. Клеро, Ж. Даламбер, Ж. Лагранж, П. Лаплас.

Создание разнообразных астрономических инструментов, обладающих высокой разрешающей способностью и большой точностью, обеспечило небывалый прогресс астрономии. Все последующее развитие ее экспериментальных средств было тесно связано с достижениями физики и техники. Важнейшую роль здесь сыграло использование высокочувствительных приемников излучения, криогенной техники. Одно оставалось неизменным: до последнего времени все астрономические наблюдения велись только через оптическое окно прозрачности земной атмосферы, занимающее помимо видимой очень небольшую часть инфракрасной части спектра.

Примерно с 1945 г. в астрономии начался новый период. Стали бурно развиваться радиометоды — радиоастрономия и радиолокация, позволившие получить громадное количество новых ценных сведений и понять сущность многих процессов и явлений, происходящих во Вселенной. Дальнейшее совершенствование техники и методов наблюдений открыло огромные возможности для лучшего понимания этих процессов и явлений. Но только с запуском первого спутника человечество получило новый исключительно мощный инструмент научного познания, революционизировавший наши представления о природе окружающего мира.

Во Вселенной возникают излучения практически во всех диапазонах электромагнитных волн, которые несут важнейшую информацию о процессах и явлениях, происходящих повсеместно — на Солнце и на планетах, в звездах, туманностях и галактиках, в межпланетном, межзвездном и межгалактическом пространстве. Атмосфера, как хороший экран, предохраняет все живое на Земле от губительного воздействия наиболее энергичной части этих излучений, но одновременно безнадежно «обрезает» как коротковолновую, так и длинноволновую области спектра. Остаются только два небольших «окна прозрачности» в оптическом и радиодиапазонах. Вот почему вынос астрономических приборов в космос, за границу основ-

ной толщи земной атмосферы, открыл качественно новый этап в развитии астрономии, привел к ошеломляющему потоку открытий последнего десятилетия в новых областях ультрафиолетовой, рентгеновской и гамма-астрономии. В этом одно из наиболее ярких проявлений стремительно возрастающих темпов познания окружающего мира в современную эпоху.

Первостепенное значение имеет познание наиболее близкой к Земле части Вселенной — нашей Солнечной системы. Космическая техника предоставила громадные возможности для непосредственных измерений в ранее недоступных областях околоземного, межпланетного пространства и на других небесных телах. Впервые человечеству открылся лик планет и их спутников, удивительная природа соседних миров. Чрезвычайно важной оказалась обеспечиваемая космическими аппаратами глобальность охвата при изучении процессов и явлений, происходящих на Земле и в ее окрестностях, на планетах и в окружающем их пространстве. Стало возможным сопоставление ключевых физико-химических механизмов, лежащих в основе этих процессов и явлений, выявление общих и специфических закономерностей формирования существующих на планетах природно-климатических комплексов.

Чем глубже мы узнаем Вселенную, тем больше понимаем, какое многообразие космических факторов влияет на природные явления, происходящие на Земле. Уже давно известно, что приливные явления зависят от Луны и Солнца. Состояние ионосферы, а следовательно, явления распространения радиоволн, изменения погоды, полярные сияния и магнитные бури в значительной степени определяются деятельностью Солнца — его электромагнитным и вторгающимся в верхние слои атмосферы корпускулярным излучениями. Понимание и предсказание этих явлений — задача науки, имеющая огромную важность для практических нужд людей, населяющих нашу планету. Поэтому все большее значение приобретают возможности одновременного наблюдения за процессами, происходящими на Солнце, на земной поверхности, в атмосфере и околоземном пространстве, прогнозирование динамики их изменений. Расширение потребностей развивающейся цивилизации, ее прогрессирующее вторжение в механизм естественной природной регуляции приводят к непрерывному возрастанию роли космических средств в обеспечении повседневной хозяйственной деятельности человечества. Наблюдения из космоса, прежде всего их роль в службе метеопрогнозов, геодезии и картографии, связь и навигация через космос в короткий срок доказали свою высочайшую эффективность. Открылись также возможности использования факторов космического полета для изучения и целенаправленного осуществления процессов, которые не могут быть реализованы в условиях земных лабораторий.

Волнующей проблемой современной науки является вопрос о существовании жизни во Вселенной. В течение долгого времени люди надеялись встретиться с «братьями по разуму» на ближайших к Земле планетах.

Ныне с этими надеждами пришлось окончательно расстаться, и вероятность обнаружения даже простейших форм жизни (на уровне микробов, спор) в пределах Солнечной системы невелика, хотя сама по себе такая возможность сохраняется. В какой-то степени это удивительно, если учесть, что жизнь на Земле исключительно богата по своим формам и поразительно способна выдерживать самые, казалось бы, невероятные, экстремальные условия.

Наряду с этим продолжают обсуждаться возможности и перспективы обнаружения высокоразвитой жизни («внеземных цивилизаций») далеко за пределами Солнечной системы, на расстояниях, превышающих сотни и тысячи световых лет. Предпринимаются самые первые шаги в этом направлении, принципиальной основой которых является создание крупных радиотелескопов, обладающих сверхвысокой чувствительностью для приема и анализа структуры сигналов и большой мощностью для посылки в космос радиоимпульсов.

Громадным завоеванием науки нашего века стало проникновение человека в космос, дающее уверенность в том, что человек сможет достигнуть других миров. Это позволит не только радикально умножить наши знания о Вселенной, но и даст возможность человеку использовать природные богатства других миров для улучшения жизни на Земле.

Сейчас еще может показаться фантастичным сообщение с другими мирами. Но ведь в свое время казались не менее фантастичными дальние плавания по морям и океанам, полеты самолетов с континента на континент, однако все это было осуществлено благодаря прогрессу науки и техники. Уже сейчас совершены длительные полеты по орбитам вокруг Земли, которые показали, что нет принципиальных препятствий для перелетов с одной планеты на другую.

Осуществление космических полетов связано с решением крупных задач науки и с общим техническим прогрессом. Сюда относятся разработка новых принципов энергетики и создание реактивных двигателей, систем космической навигации и дальней космической связи, решение многочисленных задач по обеспечению условий для возможности длительного пребывания человека в космическом корабле и в космическом пространстве. Пройдет время, и современные двигатели покажутся нам несовершенными и малоэкономичными. В основу их лягут иные физические принципы, которые уже намечаются в настоящее время в связи с использованием ядерной энергии и новых принципов ускорения частиц. Квантовая электроника открывает огромные перспективы передачи информации на сверхдальние расстояния. Развитие космических полетов зависит от успехов большинства фундаментальных наук, и в этих полетах находит свое выражение концентрация многих выдающихся достижений этих наук.

II

СТАНОВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ

Мечты о полетах в космос, к звездам на протяжении многих веков владели умами людей. Когда сложилось представление, что планеты в большей или меньшей степени подобны Земле, появились мечты о межпланетных перелетах.

Начало научной теории космических полетов положили работы крупнейшего русского ученого Константина Эдуардовича Циолковского. Он в течение всей своей жизни занимался разработкой принципов межпланетных полетов. Большой вклад в разработку фундаментальных проблем реактивной техники и конструкций ракетных летательных аппаратов внесли также труды отечественных ученых И. В. Мещерского, Ф. А. Цандера, Н. И. Кибальчича и других.

В 1903 г. вышла одна из основных работ К. Э. Циолковского «Исследование мировых пространств реактивными приборами», в которой были указаны главнейшие направления развития ракетной техники. По этим направлениям действительно пошло последующее развитие исследований космоса. К. Э. Циолковским были изучены основные принципы баллистики ракет, предложена схема жидкостного ракетного двигателя, установлены закономерности, определяющие реактивную силу двигателя. Им были предложены схемы космических кораблей и даны широко вошедшие сейчас в практику принципы конструирования ракет. К. Э. Циолковский был страстным пропагандистом возможности осуществления космических полетов в недалеком будущем.

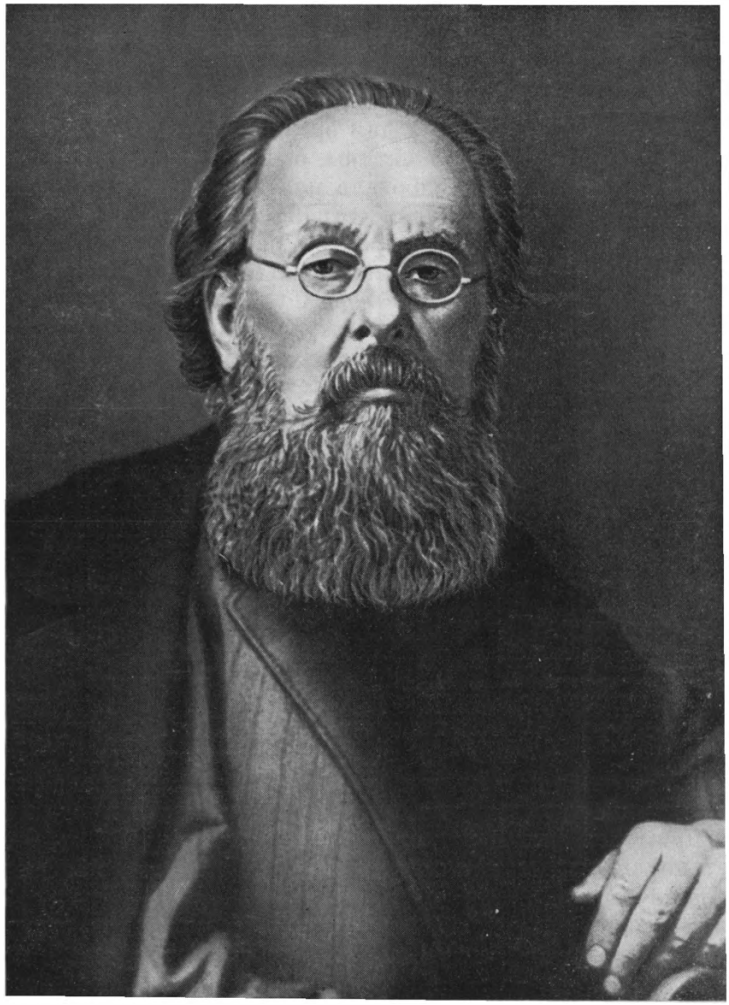
Впоследствии проблемы ракетных полетов стали активно разрабатываться в Советском Союзе, США, Франции, Германии и в других странах. В Советском Союзе к середине 20-х — началу 30-х годов сложился коллектив ученых и конструкторов, который горячо верил в осуществимость идей К. Э. Циолковского и упорно работал над их развитием и претворением в жизнь. Их инициатива получила поддержку правительства. В 1921 г. была создана Газодинамическая лаборатория (ГДЛ) в Ленинграде, а в 1932 г. Группа изучения реактивного движения (ГИРД) в Москве. В 1933 г. на их основе был организован Реактивный научно-исследовательский институт (РНИИ), сыгравший важную роль в разработке проблем реактивного движения и создании ракетных аппаратов, в том числе широко использовавшихся в период Великой Отечественной войны.

После окончания второй мировой войны, когда определенными кругами Запада был провозглашен период «холодной войны» и положение в мире становилось все более и более напряженным, партия и правительство придавали большое значение развитию ракетной техники для обороны страны и приложили большие усилия для организации ракетной промышленности. Были созданы новые коллективы, были привлечены научные и инженерные силы, которые уже работали над другими проблемами и имели большой опыт разработки сложных устройств, была привлечена промышленность. В результате широким фронтом развернулись работы по созданию мощных и совершенных ракетных систем. В 1946 г. начало свою деятельность Опытно-конструкторское бюро по разработке ракетной техники; работы по созданию жидкостных баллистических ракет возглавил выдающийся конструктор ракетно-космических систем академик Сергей Павлович Королев. Он стал главой технических сил, работавших над созданием ракетной техники, широко опираясь на конструкторские бюро и институты, работавшие в самых различных направлениях науки. Под его руководством был создан Совет главных конструкторов с целью разработки планов создания ракетной техники, координации усилий научно-исследовательских, конструкторских и производственных коллективов по их реализации. В него вошли крупные ученые и инженеры, работавшие над основными элементами ракеты — двигателями, системой управления, наземным оборудованием — и внесшие большой вклад в развитие ракетно-космической техники. С. П. Королев сумел объединить и направить всю эту армию ученых и конструкторов к единой цели — к созданию баллистических, а затем и космических ракет.

Благодаря такой организации очень быстро были созданы первые баллистические ракеты, в том числе ракета, несущая атомный заряд. На этом этапе, когда получила дальнейшее развитие советская школа ракетно-космической техники, в конструкцию ракет было внесено много нового, разработан и применен целый ряд оригинальных решений. Надо, например, отметить такие элементы, как несущие баки, отделяющаяся головка ракеты и многое другое.

Уже в этот период, при создании первых боевых ракет, стало ясно, какие широкие перспективы открывает ракетная техника для развития науки, культуры и народного хозяйства. Были развернуты работы по подготовке к космическим полетам, потребовавшие проведения больших научных исследований, развития ряда новых направлений науки и техники.

Первая из семейства боевых управляемых баллистических ракет (Р-1) с дальностью около 300 км стартовала в СССР 10 октября 1948 г., а с 1949 г. стали регулярно запускаться созданные на их основе высотные геофизические ракеты (так называемые «академические») для зондирования верхней атмосферы Земли, изучения ионосферы, получения ультрафиолетовых и рентгеновских спектров Солнца, медико-биологических исследо-



КОНСТАНТИН ЭДУАРДОВИЧ
ЦИОЛКОВСКИЙ
(1857—1935)



СЕРГЕЙ ПАВЛОВИЧ
КОРОЛЕВ
(1906—1966)

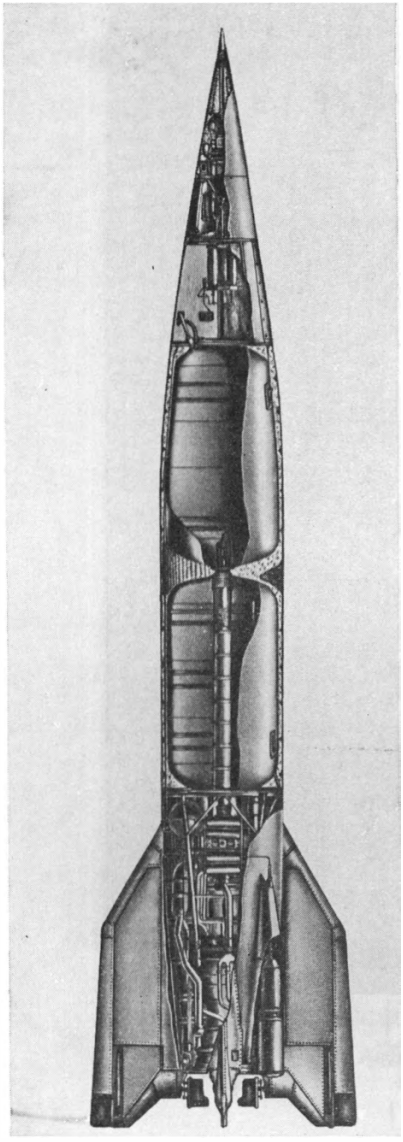


Рис. 2. Геофизическая ракета В-1А(1ВА)

ваний на животных и т. д. Сначала эти ракеты запускались до высоты больше 100 км, а в последующем — до высот свыше 500 км. Разработка межконтинентальной баллистической ракеты помогла решить многие новые проблемы и открыла перспективу создания первого поколения ракет-носителей и выхода в космос. Начиная с 1955 г. были развернуты работы по строительству в Казахстане крупнейшего стартового комплекса — космодрома Байконур.

Пуск первой межконтинентальной ракеты (МБР Р-7) состоялся 21 августа 1957 г. Создания такой ракеты настоятельно требовала сложная международная обстановка, и этот пуск серьезно отрезвил многих поборников «холодной войны». Переход к этому новому важнейшему этапу, крупному скачку в развитии ракетной техники, был подготовлен имевшимся большим научным заделом.

На базе межконтинентальной ракеты была создана ракета-носитель с искусственным спутником Земли. Выбранная двухступенчатая схема ракеты (так называемый пакет) была новая, и двигатели созданы по новой схеме, много нового было внесено в систему управления и в систему наземного оборудования. Двигатели четырех независимых блоков первой ступени и блока второй ступени ракеты включались одновременно на Земле, что обеспечивало большую начальную тягу. После израсходования топлива блоки первой ступени сбрасывались, а продолжавшая работать вторая ступень придавала ракете необходимую конечную скорость.

Для запуска спутника также уже имелся к этому времени достаточный научный задел. С середины 50-х годов

были начаты конкретные теоретические и практические разработки, непосредственно связанные с выводом искусственных тел на околоземные орбиты, полетами к Луне и планетам Солнечной системы. Большое внимание этим работам уделяли ЦК КПСС и Советское правительство. Были организованы специальные группы, занимавшиеся изучением проблем механики космического полета, автономной навигации, ориентации и стабилизации космических аппаратов; изучением тепловых режимов спутника и разработкой систем теплообмена в условиях космической среды; изучением поведения различных элементов и систем в условиях невесомости и в вакууме, проблемами передачи и обработки телеметрической информации и т. п. Эти группы положили начало многим новым направлениям современной космической науки и техники и развились в дальнейшем в крупные самостоятельные коллективы. Все это предопределило закономерность того эпохального достижения, каким стал запуск 4 октября 1957 г. первого в мире искусственного спутника Земли (ИСЗ), явившегося воплощением в жизнь идеи К. Э. Циолковского. Эта дата положила начало космической эре человечества.

Запуск спутника вызвал огромный резонанс в мире, высоко поднял авторитет Советского Союза в области научно-технического и промышленного потенциала и показал всему миру, на что способна социалистическая система. Огромная роль в создании первого искусственного спутника Земли и в последующем развитии ракетно-космической техники, обеспечившем завоевание нашей страной основных этапов исследования и освоения космического пространства, принадлежит С. П. Королеву.

III
ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ

Первый искусственный спутник Земли (ПС-1) был выведен на орбиту вокруг Земли с высотой перигея 228 км и высотой апогея 947 км. Он имел форму шара массой 83,6 кг (рис. 3). На нем были установлены два радиопередатчика, работавшие на частотах 20,005 и 40,002 МГц (длины волн соответственно 15 и 7,5 м). Это дало возможность провести исследования по распространению радиоволн в ионосфере. Выбор указанных длин волн позволил производить радионаблюдения за спутником не только специальным станциям, но и самым широким кругам радиолюбителей во всех частях земного шара. На волне 15 м его радиосигналы принимались на расстояниях, достигавших 10—12 тыс. км.

Для наблюдений спутника была организована широкая сеть станций оптических наблюдений при астрономических обсерваториях и университетах, оснащенная на первых порах относительно несложными инструментами, которая в дальнейшем получила большое развитие. Регулярные наблюдения за движением ИСЗ, совершенствование методик и инструментов обеспечили получение данных для расчета элементов орбит. В свою очередь данные об эволюции орбит использовались при анализе структуры и вариаций верхней атмосферы. На этом этапе были заложены необходимые основы организации в 60-х годах эфемеридной службы для развертывания работ в области геофизики и спутниковой геодезии.

Первый спутник просуществовал как космическое тело в течение 92 суток, совершив около 1400 оборотов вокруг Земли. 4 января 1958 г. он вошел в плотные слои атмосферы и прекратил свое существование. За время полета спутник дал ценную информацию о плотности атмосферы, о прохождении радиоволн через ионосферу.

Запуск первого искусственного спутника Земли имел громадное значение прежде всего потому, что он подтвердил правильность выбора путей решения сложной проблемы выведения на космические орбиты — разработки конструкции, создания двигателей ракеты-носителя, систем ее управления и автоматики, баллистики полета.

Замечательно, что меньше чем через месяц, 3 ноября 1957 г., был выведен на орбиту второй ИСЗ. В отличие от первого он не отделялся от последней ступени ракеты-носителя. На нем были размещены физические приборы, измерительные системы и контейнер с подопытным животным — собакой Лайка. Это был первый орбитальный полет живого существа в

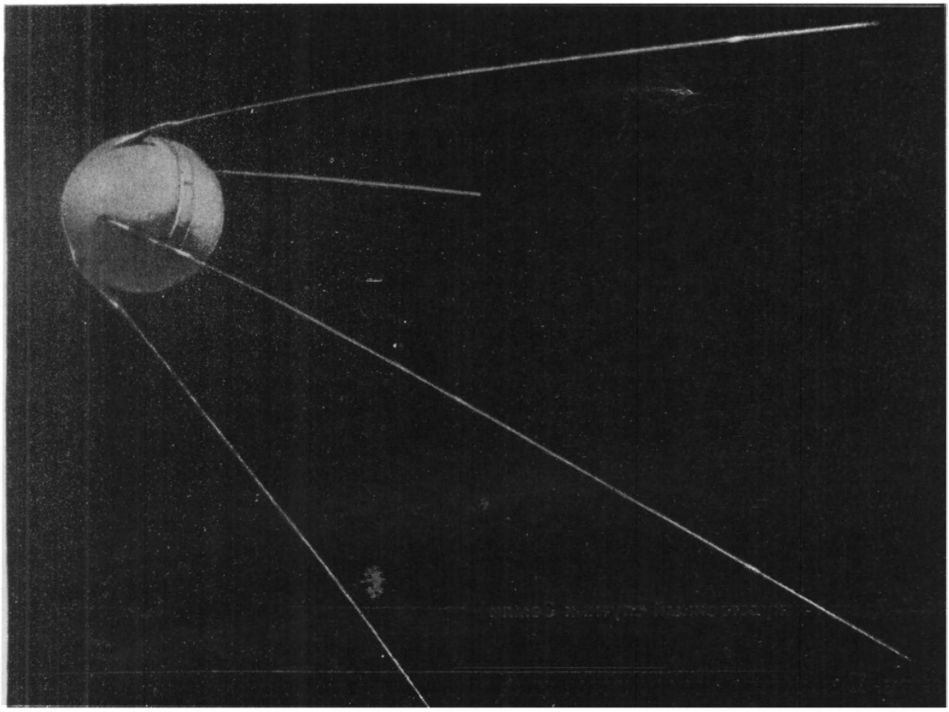


Рис. 3. Первый искусственный спутник Земли

космос. Общая масса аппаратуры, животного и источника энергопитания составила 508,3 кг. Помимо медико-биологических на втором спутнике были проведены исследования космических лучей и коротковолновой радиации Солнца.

В мае 1958 г. был запущен третий искусственный спутник Земли (рис. 4), который с полным правом можно назвать первой автоматической научной лабораторией в космосе. Масса спутника составила 1327 кг при общей массе установленной на нем научной и измерительной аппаратуры с источниками питания 968 кг.

На третьем спутнике был осуществлен большой комплекс геофизических исследований. Впервые были выполнены прямые измерения магнитного поля Земли на больших высотах, мягкой корпускулярной радиации Солнца, состава и плотности верхней атмосферы, измерена электронная концентрация в ионосфере, плотность метеорного вещества вокруг

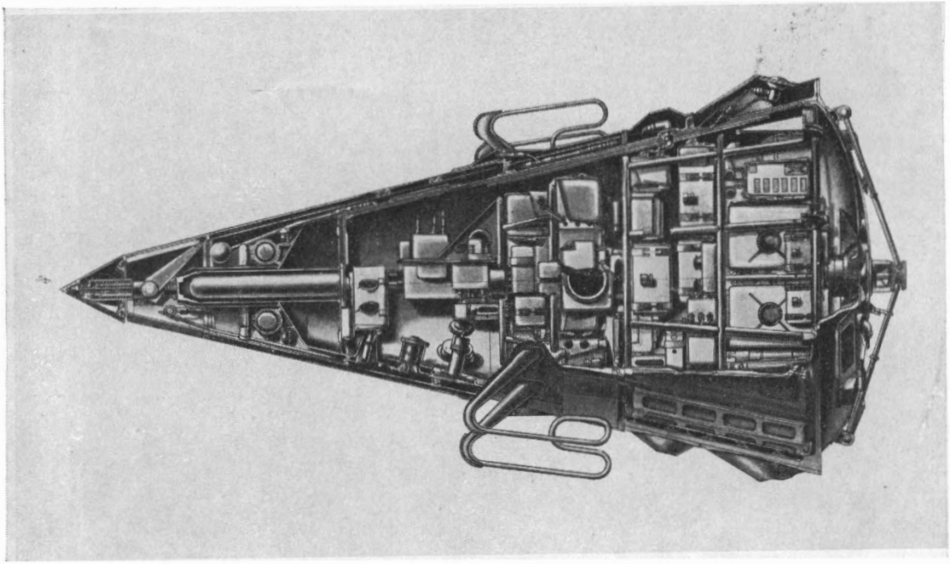


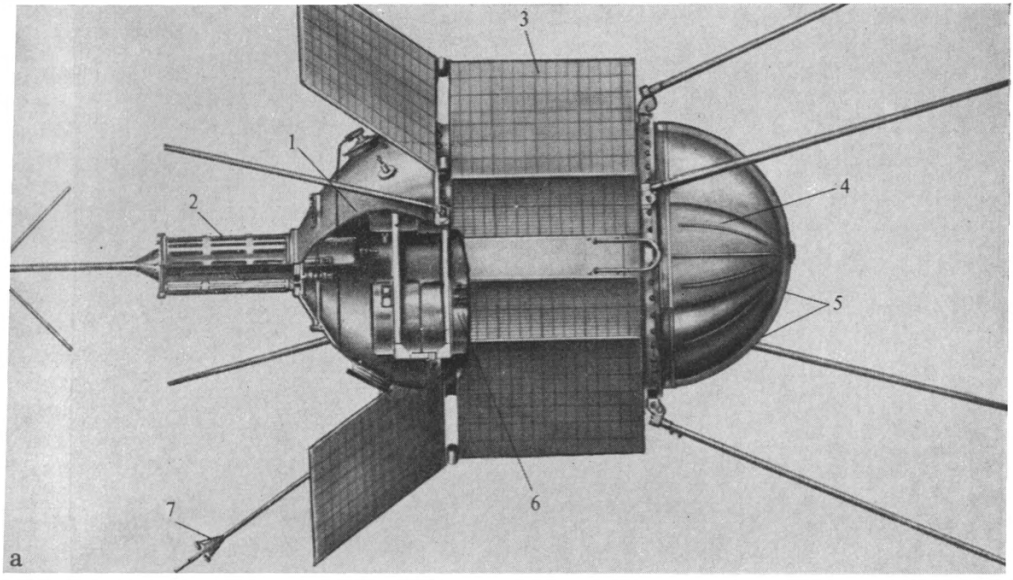
Рис. 4. Третий искусственный спутник Земли

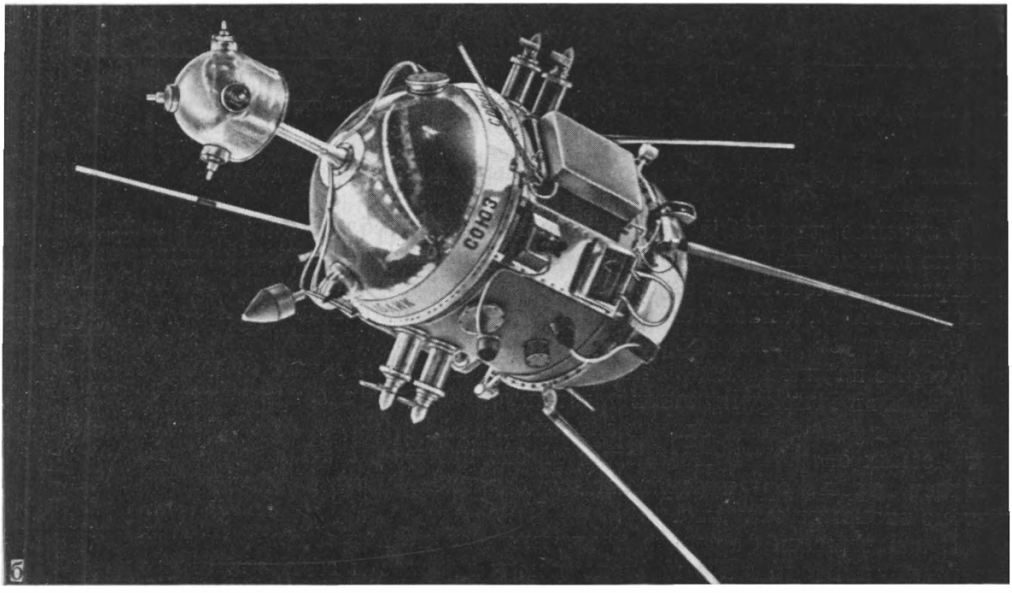
Земли. В качестве нового источника энергии на нем испытывались солнечные батареи, получившие в дальнейшем широкое применение на космических аппаратах.

С самого начала была продемонстрирована высокая эффективность искусственных спутников как нового инструмента научных исследований. Запущенные по программе Международного геофизического года в период максимума солнечной активности (1957—1958 гг.), первые советские, а с января 1958 г.— также американские ИСЗ позволили получить ряд сведений фундаментального значения о физических особенностях верхней атмосферы Земли и структуре околоземного космического пространства. Возникла новая область науки — космическая физика, использующая наряду с традиционными методами экспериментальной физики новые методы исследования, применительно к специфике изучаемой среды и бортовой аппаратуры. Результаты этих первых экспериментов стали необходимым

Рис. 5. Искусственные спутники Земли серии «Космос» ▶

а — «Космос-97»; б — «Космос-108». 1 — отсек для научной аппаратуры; 2 — молекулярный генератор; 3 — панели солнечных батарей; 4 — отсек буферных батарей; 5 — система терморегулирования; 6 — отсек обслуживающей аппаратуры; 7 — датчик положения спутника


1
2
3
4
5
6
7
а


СОЮЗ
б

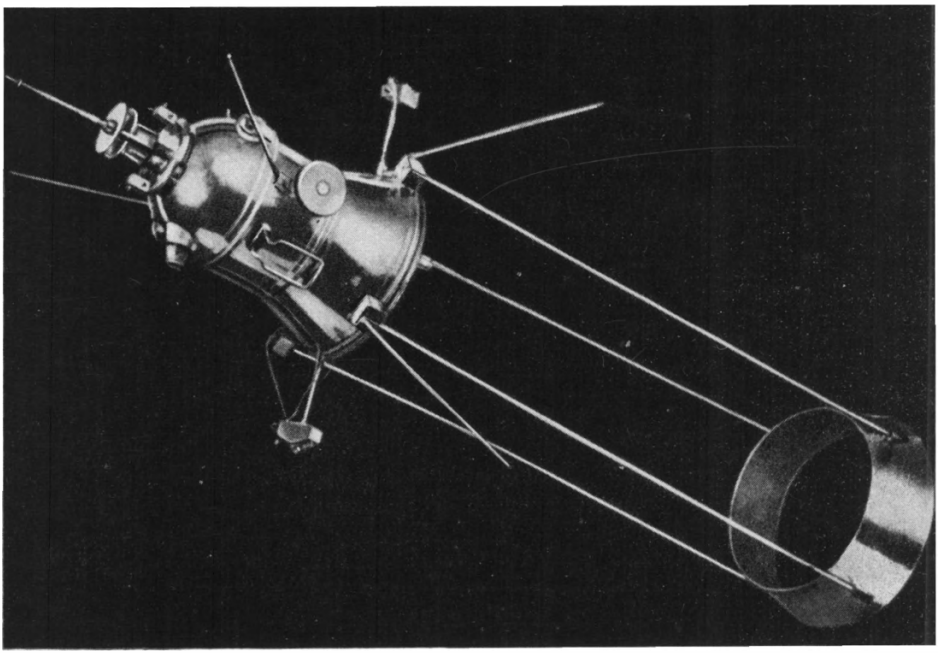


Рис. 6. Спутник «Космос-149» с аэрогироскопической системой стабилизации

этапом при формировании более полных и целенаправленных научных программ.

Изучение разнообразных геофизических проблем получило в нашей стране дальнейшее широкое развитие в рамках многоцелевой комплексной программы «Космос». Регулярные запуски спутников «Космос» начались с марта 1962 г., к настоящему времени их число превысило 1200.

Существует несколько основных модификаций спутников этой серии, некоторые из них показаны на рис. 5, 6. Каждую отличает высокая степень унификации конструктивных узлов и бортовых служебных систем, обеспечивающих функционирование объекта и выполнение определенного объема логических операций независимо от его конкретного назначения. Это позволяет хорошо организовать и четко спланировать производство, значительно экономит средства.

В зависимости от своего назначения спутники «Космос» запускаются на различные орбиты с наклонением к плоскости экватора от 49 до 82° и удалением от поверхности Земли от нескольких сотен до нескольких десятков тысяч километров. На борту их устанавливается разнообразная на-

учная аппаратура; радиотелеметрическая аппаратура с запоминающими устройствами, предназначенная для передачи на наземные станции данных научных измерений и контроля работы основных систем спутников; аппаратура командной радиолинии и другие служебные системы. В случае, если необходимо возвратить на Землю контейнер, в котором размещается научная аппаратура с результатами измерений, используются тормозные двигательные установки.

Космофизика стремительно развивается, постоянно пополняясь новыми сведениями о природе изучаемых процессов и явлений. Важную роль приобрело накопление экспериментальных данных, их статистический анализ, исследование отдельных тонких эффектов. Этой цели служат проводимые на спутниках «Космос» измерения параметров верхней атмосферы и ионосферы, интенсивности проникающей радиации и солнечных корпускулярных потоков, энергетических спектров заряженных частиц и всей совокупности процессов в околоземной плазме, плотности метеорного вещества, ядерного состава и вариаций интенсивности первичных космических лучей, солнечного коротковолнового излучения, отраженного и собственного (теплового) излучений Земли в инфракрасном и радиодиапазонах и др.

Помимо накопления данных о природе ближайших окрестностей Земли, изучения многообразных явлений в верхней атмосфере и околоземном космическом пространстве, проведения отдельных астрофизических, медико-биологических и других экспериментов спутники «Космос» служат для отработки в условиях космического полета различных конструкций, механизмов и систем и тем самым для совершенствования космической техники. Так, исследования излучений атмосферы и подстилающей поверхности Земли, исследования земного горизонта, сумеречных явлений и различного вида фонов в космическом пространстве использовались для отработки аппаратуры и методики дешифровки метеорологической информации, для создания систем ориентации спутников и космических кораблей. Из числа разнообразных систем ориентации и стабилизации помимо широко применяемой газореактивной изучались гравитационная, аэрогироскопическая (рис. 6) и электромаховичная и перспективы их использования. С целью совершенствования радиосвязи испытывались приемно-передающие устройства, снабженные квантовыми стандартами частоты, в качестве которых использовались бортовые молекулярные генераторы на аммиаке, работающие на двух встречных пучках молекул. Широкое применение нашли результаты исследований поведения в космическом вакууме различных материалов и устройств, в том числе трущихся пар, передаточных механизмов, смазок и др.

Большое значение имели эксперименты по автоматической стыковке на орбите двух космических аппаратов. Впервые она была успешно осуществлена на спутниках «Космос-186» и «Космос-188», а затем повторена

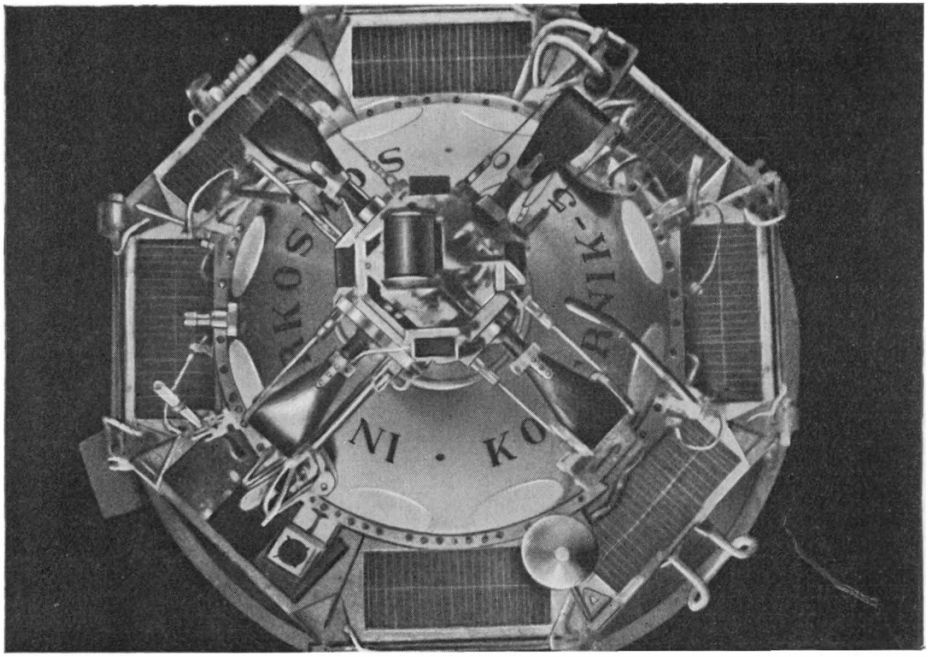


Рис. 7. Искусственный спутник Земли «Интеркосмос-Коперник-500»

на спутниках «Космос-212» и «Космос-213». Эксперименты по автоматической стыковке стали важным этапом в осуществлении программы создания транспортных кораблей «Союз» и открыли широкие перспективы монтажа на околоземных орбитах сложных многоцелевых космических комплексов.

В рамках программы «Космос» было положено начало созданию метеорологических и связных спутников «Метеор» и «Молния», проведена отработка системы вывода на орбиты «пакета» спутников одной ракетой-носителем. Несколько модификаций унифицированных объектов этой серии легли в основу создания спутников, запущенных в дальнейшем по программе «Интеркосмос» (рис. 7).

Задачи систематического углубленного изучения отдельных актуальных проблем космической физики привели к необходимости организации ряда специальных программ.

Для изучения явлений на Солнце и исследований по проблеме солнечно-земных связей наряду со спутниками «Космос» были созданы спутники

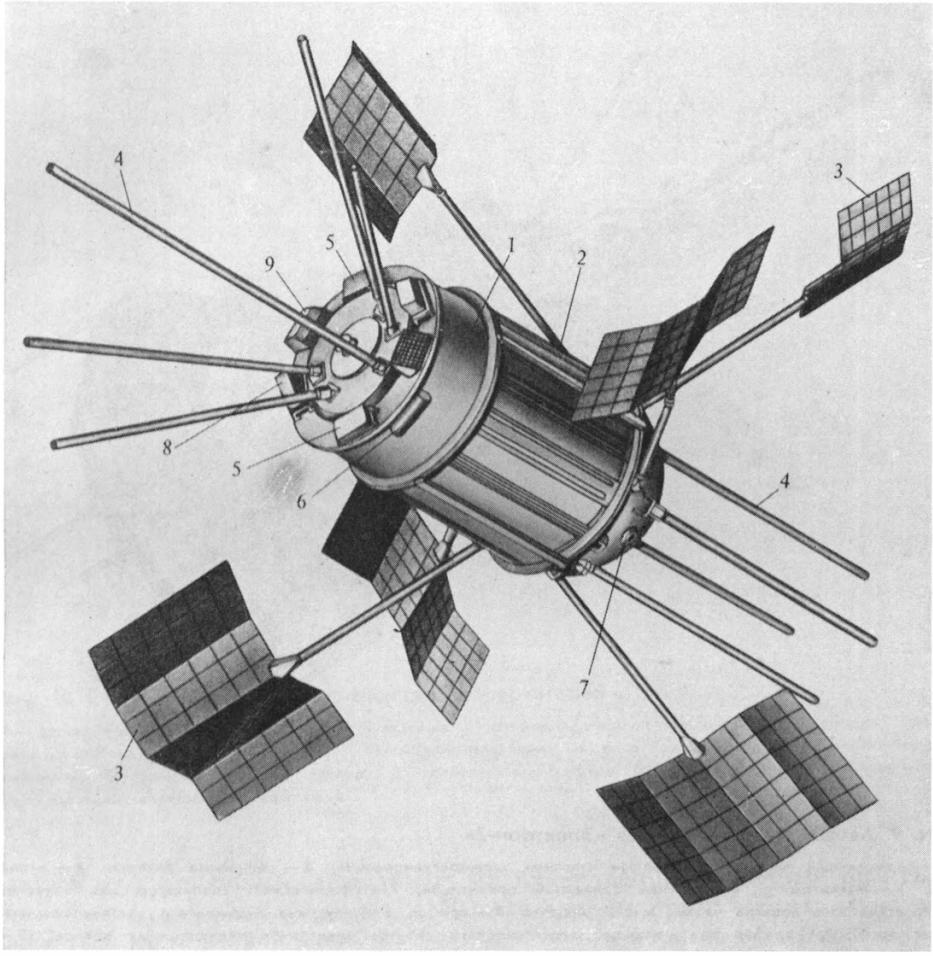


Рис. 8. Автоматическая станция «Электрон-1»

1 — герметичный корпус; *2* — жалюзи системы терморегулирования; *3* — солнечные батареи; *4* — антенны; *5* — детектор микрометеоритов; *6* — прибор для регистрации корпускулярного излучения; *7* — масс-спектрометр; *8* — детектор протонов; *9* — прибор для изучения энергетического спектра электронов радиационных поясов.

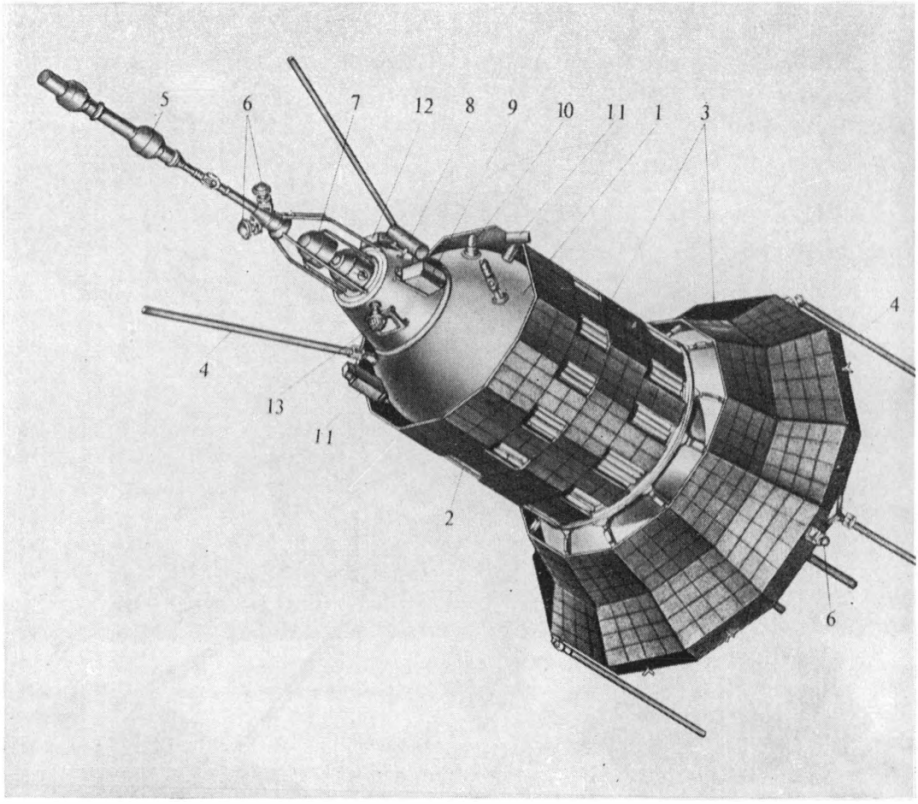


Рис. 9. Автоматическая станция «Электрон-2»

1 — герметичный корпус; *2* — жалюзи системы терморегулирования; *3* — солнечные батареи; *4* — антенны; *5* — магнитометр; *6* — датчики солнечной ориентации; *7* — сферический анализатор для изучения энергетического спектра частиц малой энергии; *8* — прибор для изучения химического состава космических лучей; *9* — прибор для изучения энергетического спектра электронов радиационных поясов; *10* — масс-спектрометр; *11* — прибор для исследования рентгеновского излучения Солнца; *12* — детектор протонов малых энергий; *13* — ловушки заряженных частиц

с сильно вытянутыми орбитами, выходящие за пределы области, контролируемой магнитным полем Земли,— магнитосферы. Две системы таких спутников под названием «Электрон» были запущены в январе и июле 1964 г., а с апреля 1972 г. начаты запуски специализированных гелиогеофизических обсерваторий «Прогноз».

Каждая из систем космических станций «Электрон» (рис. 8, 9) состоя-

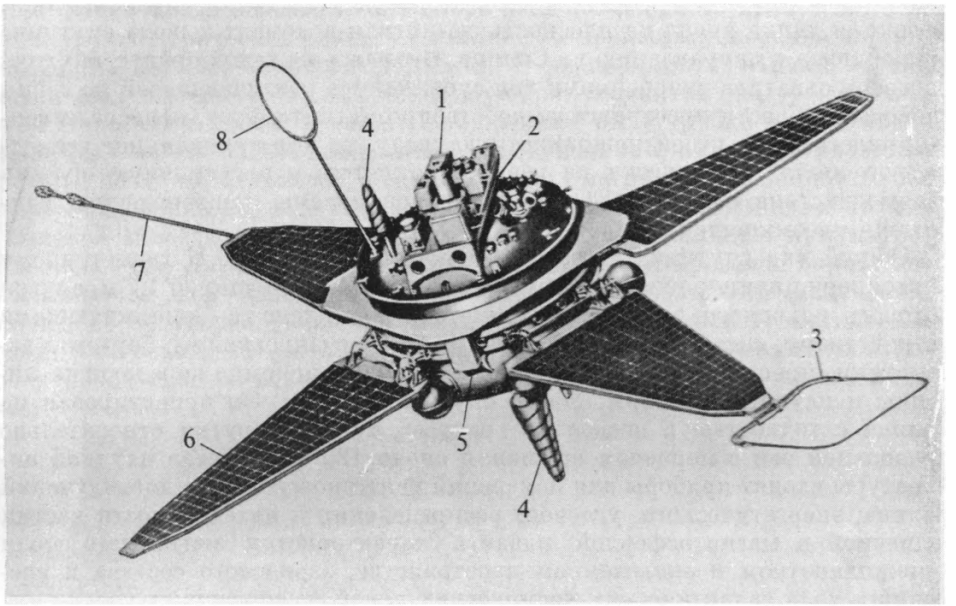


Рис. 10. Орбитальная гелиогеофизическая обсерватория «Прогноз»

1 — датчик солнечной ориентации; *2* — платформа с датчиками научной аппаратуры; *3* — антенна приемника длинноволнового радиоизлучения; *4* — малонаправленная антенна радиокомплекса; *5* — приборный контейнер; *6* — панель солнечной батареи; *7* — штанга магнитометра; *8* — антенна приемника низкочастотного излучения электромагнитного поля

ла из двух спутников, выводимых на существенно различные орбиты с помощью одной ракеты-носителя. Высота апогея первой орбиты была около 7 тыс. км, а второй около 70 тыс. км. Высота перигея обеих составляла ~400 км. Комплексный состав научной аппаратуры, большой наклон орбиты и одновременное проведение измерений на спутниках с большим и малым апогеем позволили открыть ряд новых явлений в областях магнитосферы, которые ранее не исследовались ни одним космическим аппаратом, и, что особенно важно, при различных взаимных положениях Солнца и Земли.

Высокоапогейные спутники «Прогноз» обладают значительно бо́льшими возможностями проведения комплексных исследований процессов солнечной активности и их влияния на физические явления на Земле, в ее ближайших окрестностях и в межпланетной среде. Они запускаются на орбиты с высотой в апогее около 200 тыс. км и в перигее от 500 до 900 км, причем

большинство орбит сориентировано в пространстве таким образом, чтобы проекция линии апсид на плоскость эклиптики в момент вывода спутника была близка к направлению на Солнце. Находясь на такой орбите, спутник способен охватить измерениями три существенно различающиеся по своим свойствам области пространства: собственно магнитосферу, непосредственно прилегающую к ней межпланетную среду, на которую влияние геомагнитного поля практически не распространяется, и пограничную область взаимодействия с магнитосферой солнечной плазмы, подверженную наибольшим возмущениям.

Общий вид спутника «Прогноз» показан на рис. 10. К герметичному контейнеру цилиндрической формы диаметром 1,5 м и длиной 1,2 м, внутри которого находятся радиотелеметрический комплекс с запоминающими устройствами, системы энергопитания, терморегулирования и бортовой автоматики, крепятся панели солнечных батарей, приемно-передающие антенны и научные приборы. Масса спутника 845 кг. Он ориентирован на Солнце с точностью в несколько градусов путем закрутки относительно продольной оси с периодом вращения около 120 с. В состав научной аппаратуры входят приборы для измерений рентгеновского и радиоизлучений Солнца, энергетического, углового распределения и интенсивности частиц солнечной и магнитосферной плазмы, характеристик магнитного поля в межпланетном и околоземном пространстве, зарядового состава и временно́го хода галактических космических лучей и энергичных частиц, генерируемых в солнечных вспышках, интегральной дозы радиации от частиц различного происхождения и др.

Изучению процессов, происходящих в магнитосфере и ионосфере, служат также активные эксперименты в космосе — исследование поведения заряженных частиц, инжектируемых с высотных ракет. По своей методике подобные измерения, начатые в США в 1969 г., приближаются к исследованию плазмы в физических лабораториях на земле. Первые активные эксперименты по программе «Зарница» были начаты в нашей стране в 1973 г. и продолжены в 1975 г. с использованием установленной на метеорологической ракете МР-12 электронной пушки, разработанной в Институте электросварки им. Е. О. Патона. Они позволили получить ряд данных о процессах в ионосфере на высотах около 100 км при наличии искусственного источника ионизации, в частности о физической природе возникающего при инжекции свечения, особенностях генерации радиоволн и их рассеянии на ионосферных неоднородностях и др. Более сложные эксперименты по зондированию магнитосферы быстрыми электронами и ионами и образованию искусственных полярных сияний были осуществлены в 1975 г. в рамках советско-французской программы «Аракс» и по программе «Сполох». Проведение экспериментов с электронами особенно интересно, поскольку они позволяют зондировать атмосферу на большие расстояния, перемещаясь из одного полушария в другое за время, составляющее доли секун-

ды. В свою очередь использование ионов дает возможность полнее изучать структуру электрических полей, их влияние на процессы ускорения частиц, механизмы плазменной неустойчивости. В эксперименте «Аракс» пучок частиц был выброшен электронной пушкой, поднятой на ракете над о-вом Кергелен в Тихом океане. Находясь как бы в трубке вокруг «опирающейся» на эту область магнитной силовой линии, он сперва удалялся от Земли почти на 25 тыс. км, а затем достигал магнитосопряженной точки в северном полушарии в районе Архангельска, возбуждая эмиссии атомов и молекул атмосферы. В эксперименте «Сполох» с помощью кумулятивного взрывного устройства с высотной ракеты инжектировался барий, ионизовавшийся под действием солнечного коротковолнового излучения, так что последующее движение частиц контролировалось геомагнитным полем. Измерения деформации пучков при дрейфовых движениях электронов и ионов способствовали выяснению ряда процессов в околоземной плазме.

IV
ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ

Исследования, проведенные на искусственных спутниках и высотных ракетах учеными разных стран, полностью изменили наши представления об околоземном космическом пространстве, выявили глубочайшие причинные связи между деятельностью Солнца и многими процессами в атмосфере Земли. Большинство современных представлений о структуре и вариациях параметров нейтральной атмосферы на высотах приблизительно от 150 до 1500 км обязано данным об эволюции орбит искусственных спутников Земли. Эти данные позволяют получить довольно цельную и непротиворечивую картину.

Одним из важнейших результатов явилось обнаружение существенно динамического характера атмосферы выше 100—150 км. У поверхности Земли в средних широтах предельные изменения температуры не превышают 50—60°, примерно в этих же пределах колеблется температура в пределах первых ста километров над земной поверхностью — в стратосфере и мезосфере. В то же время выше 100 км, в термосфере и экзосфере, вариации температуры приблизительно на порядок величины больше. Соответственно заметно изменяется плотность атмосферы.

Основные вариации температуры и плотности условно можно разделить на две большие группы. К первой относят вариации, связанные с солнечным коротковолновым излучением, разогревающим верхнюю атмосферу и зависящим от состояния солнечной активности и времени суток. Сюда же можно отнести часто наблюдаемую 27-дневную повторяемость в колебаниях плотности, связанную с периодом собственного вращения Солнца при наличии длительно существующих локальных активных областей на его поверхности. Вторая группа вариаций обычно подразделяется на эффект геомагнитных возмущений и сопоставимый по величине с суточными вариациями полугодовой эффект. Эта группа, очевидно, связана с воздействием потоков солнечной плазмы на магнитосферу Земли. Помимо названных отмечены относительно небольшие широтные и сезонные колебания температуры и плотности верхней атмосферы, а также волновые движения с амплитудой до 25% и периодами от нескольких минут до нескольких часов, среди которых четко выделяются 8- и 12-часовые приливные моды.

Наиболее сильные изменения верхняя атмосфера претерпевает в течение 11-летнего цикла солнечной активности. Температура на высотах око-

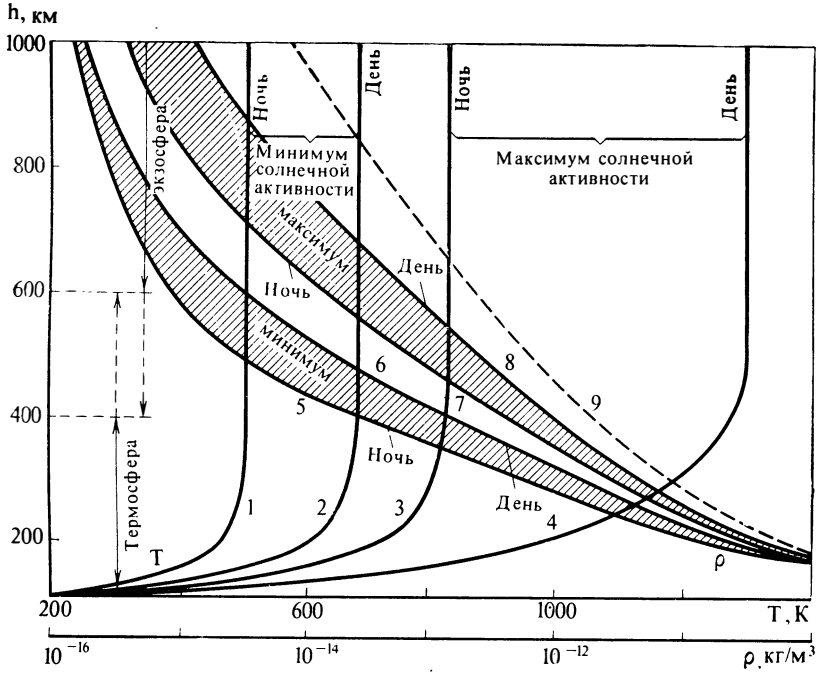


Рис. 11. Распределения температуры T и плотности ρ верхней атмосферы Земли в зависимости от высоты с учетом времени суток и уровня солнечной активности

1—4 — дневные и ночные профили температуры при минимальной и максимальной фазах 11-летнего солнечного цикла; 5—8 — дневные и ночные профили плотности при минимальной и максимальной фазах 11-летнего солнечного цикла; 9 — дневной профиль плотности при наиболее высоком уровне солнечной активности

ло 300 км изменяется в течение суток от 600—800 К в период минимальной фазы солнечного цикла до 1000—1400 К в период максимальной фазы. Таким образом, средние температурные вариации на верхней границе гермосферы (выше которой рост температуры, обусловливаемый прямым поглощением солнечной коротковолновой радиации, практически прекращается и атмосфера становится изотермической) составляют примерно 600 К. Однако за счет разогрева при геомагнитных возмущениях предельные изменения температуры могут превышать 1000 К, особенно в высокоширотных областях. Что касается плотности, то в годы минимума солнечной активности верхняя атмосфера сжимается, а в годы максимума расширяется. При этом с учетом суточных и полугодовых вариаций средняя плотность на высотах около 300 км изменяется в несколько раз, тогда как на высотах 500—600 км более чем в сто раз (рис. 11).

Особенно регулярный характер носят суточные вариации температуры и плотности: минимальные значения обоих этих параметров приходятся приблизительно на 4—5 ч утра, тогда как температура достигает максимума в 16 ч, а наибольшая плотность наблюдается на 2 ч раньше. Это связано с особенностями формирования суточного атмосферного вздутия и атмосферной динамикой. Атмосфера подвержена наибольшим суточным изменениям на высотах 400—500 км. С уменьшением солнечной активности максимум суточных вариаций смещается на более низкие высоты.

Большой интерес представляет природа вариаций, связанных с геомагнитной активностью. Даже при относительно слабых геомагнитных возмущениях происходят глобальные изменения температуры и плотности верхней атмосферы, причем относительный эффект этих возмущений особенно велик в минимуме цикла солнечной активности. Во время сильных магнитных бурь в зонах полярных сияний регистрировалась температура до 3000 К. Изменения плотности достигают на высоте 500 км в средних широтах восьми раз. Полугодовая вариация плотности проявляется в наличии двух максимумов: в июне—июле и (меньшего максимума) в декабре—январе. Она охватывает больший, чем суточная вариация, диапазон высот — от 90 до 1200 км. Наибольшие изменения плотности (до 3 раз) наблюдаются вблизи 500 км, зависимости от фазы солнечного цикла почти нет. Причины этой вариации до конца не выяснены, возможно, она связана с происходящими изменениями гелиошироты центров активности солнечных пятен, но не исключено, что в основе лежат сезонные изменения, происходящие в нижней атмосфере — тропосфере и стратосфере.

Масс-спектрометрические исследования на ракетах и спутниках позволили получить довольно полную информацию о составе верхней атмосферы Земли. Было установлено, что от поверхности до высоты 110—120 км состав нейтральной атмосферы остается практически постоянным и поддерживается турбулентным перемешиванием. Выше этого уровня из-за увеличения средней длины свободного пробега частиц начинается гравитационно-диффузионное разделение газов, состав атмосферы изменяется согласно барометрическому закону отдельно для каждой газовой составляющей. Наличие диффузионного разделения на высотах около 120 км впервые было зарегистрировано при полетах советских геофизических ракет в 1959 г.

Состав атмосферы на больших высотах решающим образом зависит от температуры. Приблизительно до 180 км сохраняется основная составляющая атмосферы у земной поверхности — молекулярный азот. Выше преобладает более легкий атомарный кислород, образующийся при диссоциации молекул кислорода под действием ультрафиолетового излучения Солнца. На еще бо́льших высотах атмосфера состоит из самых легких газов — гелия и водорода (рис. 12). В зависимости от температуры отношение гелия к атомарному кислороду максимально между 500 и 700 км, а водорода

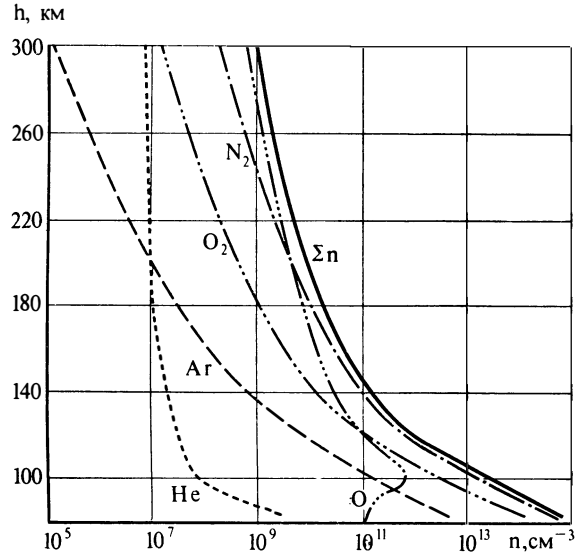


Рис. 12. Модель нейтрального состава верхней атмосферы Земли (средние условия солнечной активности)

По оси ординат — высота над поверхностью, по оси абсцисс n — концентрация нейтральных компонент

к гелию — между 900 и 1800 км. При этом если концентрация азота и молекулярного кислорода в верхней атмосфере увеличивается при возрастании температуры, то для водорода, наоборот,— при разогреве атмосферы растет скорость его убегания в космическое пространство (диссипация) и содержание в атмосфере падает. Однако на больших высотах водород всегда преобладает. Более сложные вариации претерпевает гелий, относительное содержание которого повышается в минимуме солнечной активности, причем в летнем полушарии оно меньше, чем в зимнем (так называемое «зимнее гелиевое вздутие»). Этот эффект особенно заметен над полюсами: выше 600 км содержание гелия над зимним полюсом приблизительно в 10 раз больше, чем над летним.

В последние годы все более серьезное внимание уделяется комплексному изучению состава, температуры и плотности верхней атмосферы в их взаимосвязи, проведению координированных исследований атмосферных параметров во всем диапазоне высот, от стратосферы до основания экзосферы (критического уровня, с которого начинается диссипация) и с широким охватом по широте и долготе. Для измерений используются разнообразные методы, причем большое число измерений осуществляется

одновременно различными приборами, что позволяет проводить необходимые сопоставления и сводить к минимуму инструментальные и методические ошибки. Среди этих исследований важную роль играют непосредственные измерения различного типа движений, включающих зональные и меридиональные ветры, вертикальный перенос, широкий спектр волновых процессов. Большой интерес вызвало обнаружение в термосфере горизонтальных зональных ветров, которые возникают под действием барических градиентов, образующихся из-за неравномерного разогрева атмосферы и дующих со скоростями 100 и более м/с. Из анализа вековых изменений наклонений орбит спутников был сделан вывод о существовании в среднем опережающего вращения верхней атмосферы на высотах 150—450 км (от 1,1 до 1,6 раза по отношению к угловой скорости вращения Земли на экваторе).

Использование спутников и ракет позволило по-новому поставить изучение структуры ионосферы, электронной и ионной концентрации и температуры. Советские исследователи использовали в основном три метода: изучение свойств когерентных радиоволн, излучаемых с борта спутника или ракеты; установку на спутнике различного рода зондов-ловушек заряженных частиц, дающих возможность отбирать частицы с определенным знаком заряда и диапазоном энергий, и метод импедансного зонда — измерение электронной концентрации по изменению емкости антенны, помещаемой в плазму.

Было изучено распределение электронной и ионной концентраций над главным максимумом ионизации до высоты более 1000 км, исследованы вариации состояния ионосферы, спектры ионосферных неоднородностей и градиенты электронной концентрации. Измерения электронной температуры показали, что в дневное время она намного превосходит температуру нейтральной атмосферы. Это связано с тем, что электроны, образовавшиеся в результате ионизации атмосферных газов ультрафиолетовым излучением Солнца, так называемые «свежие» фотоэлектроны, имеют избыточную энергию, которую передают в процессе соударений электронам, молекулам и атомам среды.

В исследованиях на искусственных спутниках Земли было прослежено распределение и состав положительных ионов и их широтные вариации до высот порядка 1000 км. Получено большое количество масс-спектров, на которых четко видны ионы молекулярного и атомарного кислорода, окиси азота, водорода, обнаружены значительные вариации ионного состава в зависимости от местного времени и некоторых других факторов. Эти и многочисленные зарубежные результаты дали возможность построить модель состава ионосферы, показанную на рис. 13.

Нижние слои ионосферы до высоты примерно 150 км состоят преимущественно из ионов окиси азота NO^+. В сопоставимых количествах присутствуют здесь ионы молекулярного кислорода O_2^+. Начиная с этого уров-

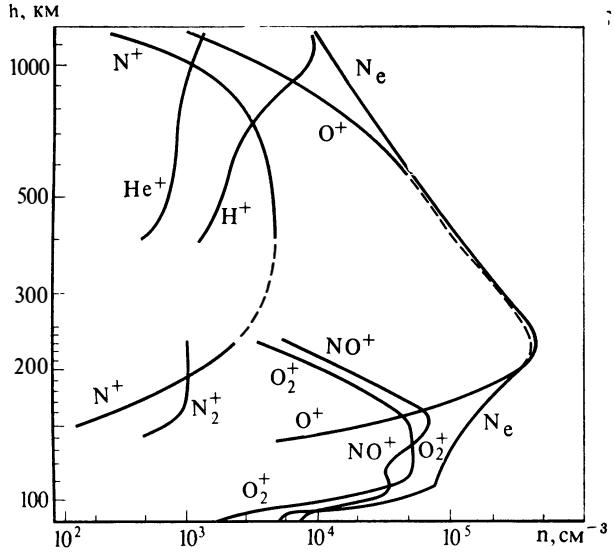


Рис. 13. Модель ионного состава верхней атмосферы Земли (средние условия солнечной активности)

По оси ординат — высота над поверхностью, по оси абсцисс — концентрация; $n(X+)$ — концентрация ионов, Ne — электронов

ня до высот порядка 800—1000 км ионосфера в годы максимума солнечной активности в основном состоит из ионов атомарного кислорода O^+, а в период минимума уровень преобладания этих ионов снижается до 600—800 км. С высоты приблизительно 1000 км начинается зона ионов атомарного водорода — протоносфера. Вклад ионов гелия на всех высотах относительно невелик (см. рис. 13).

На высотах около 100 км были обнаружены в заметных количествах ионы металлов — магния, железа, кальция и кремния, имеющие, по-видимому, метеорное происхождение. Дрейф этих долгоживущих ионов в условиях больших градиентов ветров на тех же высотах приводит к появлению так называемого спорадического слоя E. Вообще, следует подчеркнуть, что ветровые движения в верхней атмосфере вызывают различные вариации ионосферных параметров и, в частности, появление неоднородностей вследствие возникающего при этих движениях электрического поля. Существование электрических полей в верхней атмосфере подтверждается исследованием дрейфовых движений захваченных частиц в магнитосфере.

Громадному прогрессу наших знаний о физических условиях в верхней атмосфере и ионосфере в сильной степени способствовало выяснение

определяющих энергетических факторов и изучение комплекса разнообразных фотохимических реакций, сопровождающих трансформацию потоков солнечного коротковолнового излучения. От эффективности протекающих реакций и динамических процессов главным образом зависит тепловой баланс атмосферы на больших высотах и наблюдаемые значительные изменения структуры, температуры и плотности. В определенной степени подтверждаются представления о более существенной, чем считалось ранее, связи этих изменений с поведением атмосферы в нижележащих областях. В частности, несомненно важную роль в разогреве верхней атмосферы играет энергия внутренних гравитационных волн — разновидности низкочастотных акустических волн, генерируемых в основном приливными силами в процессах планетарной циркуляции и крупномасштабного ветрового переноса в тропосфере.

Исследования структуры и вариаций нейтральной верхней атмосферы имеют исключительно важное практическое значение. Они обеспечивают возможности надежного вывода искусственных спутников на расчетные орбиты и прогнозирования времени их существования, получение необходимых точностей при расчетах активных и пассивных систем ориентации, стабилизации и управляющих воздействий при маневрировании космических аппаратов и т. п. Изучение структуры и динамики ионосферы — ее временны́х вариаций, пространственных неоднородностей, внезапных возмущений — позволило повысить надежность прогнозирования условий радиосвязи.

Обилие новых данных об особенностях верхней атмосферы и ионосферы и возможности их обобщения в рамках теоретических моделей стимулировали возникновение новой науки — аэрономии, которая в последние годы обогащается результатами исследований при помощи космических аппаратов верхних атмосфер соседних планет — Венеры и Марса.

V
ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ, СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА

Исследования на искусственных спутниках Земли и межпланетных космических аппаратах позволили сформулировать по крайней мере качественную, а в ряде случаев и количественную картину физических процессов, протекающих в околоземном пространстве на расстояниях в десятки и сотни земных радиусов, и их связи с процессами в межпланетной среде. Этому прежде всего способствовало открытие радиационного пояса, изучение квазистационарных характеристик и динамических процессов в потоках солнечной плазмы — «солнечном ветре», исследование особенностей его взаимодействия с магнитным полем Земли. Перед геофизикой поставлен ряд сложных задач, связанных с выяснением механизма передачи импульса и энергии солнечного ветра внутрь магнитосферы и процессов их перераспределения, с чем в свою очередь непосредственно связаны проблемы происхождения захваченной радиации и таких грандиозных явлений природы, как магнитные бури и полярные сияния.

Экспериментальное подтверждение теоретических предсказаний о существовании в межпланетном пространстве потоков плазмы в результате непрерывного гидродинамического расширения солнечной короны в гравитационном поле Солнца явилось крупным результатом космических исследований уже вскоре после запуска первых спутников и космических ракет.

Наблюдения плазмы в межпланетном пространстве вне магнитного поля Земли впервые были осуществлены на советских космических ракетах, запущенных к Луне в 1959 г. Эти наблюдения, проводившиеся при помощи трехэлектродных ловушек заряженных частиц, показали, что уже на высоте около 20 тыс. км над Землей концентрация заряженных частиц падает приблизительно до 100 частиц/см^3. Одновременно были зарегистрированы идущие от Солнца потоки положительных ионов на расстояниях более 100 тыс. км от Земли, плотность которых оказалась всего несколько частиц в 1 см^3. Это позволило сделать вывод, что оценки величин потоков и концентрации заряженных частиц в межпланетном пространстве, существовавшие до 1959 г., были завышены примерно в 100 раз.

Измерения характеристик солнечной плазмы на американских спутниках подтвердили результаты этих исследований. Были осуществлены прямые измерения направленных скоростей потоков ионов солнечной плазмы, которые оказались близкими к величинам, предсказывавшимся ранее динамической моделью межпланетной плазмы, порядка 400 км/с. Последую-

щие длительные и непрерывные наблюдения потоков солнечной плазмы, проводившиеся на советских и американских космических аппаратах, окончательно подтвердили гипотезу о солнечном ветре. Они привели к выводу, что частицы солнечного ветра обладают энергиями в десятки электронвольт для электронов и порядка 1 кэВ для протонов и что потоки этих частиц вместе с «вмороженными» в них магнитными полями существуют постоянно и заполняют межпланетное пространство.

К интересным результатам привели первые наблюдения нейтральной компоненты межпланетной среды с помощью аппаратуры, устанавливавшейся на автоматических межпланетных станциях. Данные регистрации интенсивности солнечного ультрафиолетового излучения, рассеянного на атомах водорода, позволили зарегистрировать протяженную водородную корону Земли, простирающуюся до расстояний в 20 земных радиусов, где концентрация оказалась равной 1—10 атомов/см^3. В межпланетной среде концентрация нейтрального водорода еще меньше, приблизительно 10^{-2}—10^{-3} атомов/см^3. Атомы нейтрального водорода находятся, по-видимому, в равновесии с чрезвычайно разреженной межпланетной плазмой.

Значительно уточнились наши представления о структуре магнитного поля как в окрестностях Земли, так и на больших удалениях от нее. Первые измерения магнитного поля Земли были проведены на третьем советском искусственном спутнике и продолжены на спутниках серий «Космос», «Электрон», «Прогноз», а также на космических ракетах. Эти измерения позволили определить степень соответствия различных магнитных карт реальному распределению поля над территорией СССР. С помощью спутников «Космос» была произведена детальная магнитная съемка над 94% земной поверхности. В результате получены данные об особенностях глобального распределения величины и направления главной компоненты геомагнитного поля, т. е. его постоянной составляющей, определяемой источниками внутри Земли, и прослежена взаимосвязь главного поля с переменной составляющей, создаваемой воздействием внешних источников. Потенциал магнитного поля еще со времен Гаусса разлагают в ряд по сферическим функциям. На высотах полета спутников магнитное поле подвержено сильным вариациям. При его теоретическом описании требуется использовать большое число гармоник. Удовлетворительное представление экспериментальных данных дало разложение с использованием 120 коэффициентов гауссова ряда. Большой интерес представляют также данные о непериодических изменениях (о вековом ходе) элементов геомагнитного поля, поскольку они несут ценную информацию о сложных физических процессах гидромагнитных течений и колебаний, происходящих в земных недрах, и создают определенные предпосылки для их лучшего понимания и прогнозирования изменения напряженности поля.

Исследования характеристик межпланетного магнитного поля показали, что магнитные поля в магнитно-спокойное время близки к 3—5 гам-

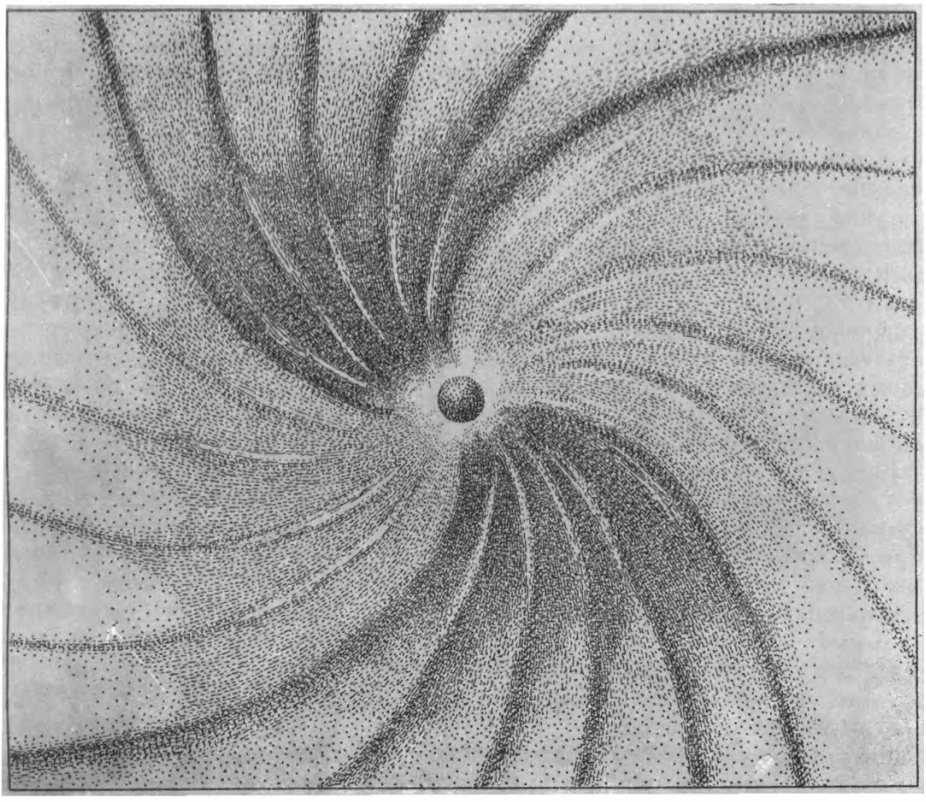


Рис. 14. Секторная квазирадиальная структура межпланетного магнитного поля

мам, а при больших возмущениях могут достигать величины в несколько десятков гамм. Среднее направление вектора магнитного поля лежит в плоскости эклиптики, само поле имеет секторную квазирадиальную структуру, и его силовые линии изогнуты в спираль Архимеда вследствие вращения Солнца, с которым они жестко связаны, так что угол между силовой линией и радиальным направлением на орбите Земли в среднем равен около 55° (рис. 14). Вместе с тем наблюдались случаи значительного изменения направления поля относительно этой линии. Можно предположить, что поле обладает волокнистой структурой из-за глобального характера квазидипольного поля Солнца, сильно растянутого потоками солнечного ветра.

В современной космической физике чрезвычайно актуальной является проблема взаимодействия небесного тела с потоками солнечной плазмы. Природа предоставила в распоряжение исследователей несколько примеров обтекания, принципиальное отличие которых состоит прежде всего в том, обладает ли планета собственным магнитным полем. Крайними моделями служат обладающие сильными полями Земля и Юпитер, с одной стороны, и практически лишенные полей Луна и Венера — с другой, хотя в случае Венеры эффект взаимодействия из-за наличия атмосферы носит существенно иной характер, чем в случае Луны. Промежуточные случаи представляют собой Марс (слабое магнитное поле, есть атмосфера) и Меркурий (заметное магнитное поле, атмосфера практически отсутствует). В свою очередь имеющий наиболее сильное магнитное поле Юпитер по ряду особенностей похож на пульсар, в чем проявляется общность физических механизмов, действующих на различных объектах во Вселенной. Мы ограничимся здесь схематическим рассмотрением физической картины наиболее изученных процессов в окрестности Земли.

Земля постоянно «обдувается» солнечным ветром, который деформирует геомагнитное поле на больших расстояниях (порядка 10 земных радиусов $R_\oplus$) и сносит на ночную сторону силовые линии, выходящие из полярных районов. Эти силовые линии и связанная с ними плазма образуют магнитный шлейф Земли, состоящий из двух ветвей (силовых трубок), разделенных «нейтральным» слоем, в котором напряженность поля близка к 1 гамме. Магнитный шлейф Земли простирается на расстояние не менее $1000\,R_\oplus$, а у Юпитера, обладающего значительно более мощной магнитосферой,— на несколько астрономических единиц, возможно, за орбиту Сатурна. Так как солнечный ветер является сверхзвуковым, то при обтекании магнитосферы образуется ударная волна, проходя через которую плазма сильно уплотняется, а скорость ее падает ниже скорости звука. Между ударной волной и границей магнитосферы расположен слой горячей, турбулизованной солнечной плазмы с сильно флуктуирующим магнитным полем — магнитослой (рис. 15), толщина которого возрастает с ростом углового расстояния от лобовой точки, однако почти не зависит от степени геомагнитной возмущенности. Вблизи лобовой точки толщина переходной области составляет в среднем $2—4\ R_\oplus$. Эта переходная область, по-видимому, является основным резервуаром частиц, пополняющих радиационный пояс. Большую роль в этом процессе играет слой столь же горячей плазмы, расположенный между северной и южной ветвями шлейфа Земли (плазменный слой). В целом можно сказать, что топология магнитосферы и положение ее границы (магнитопаузы) определяется интенсивностью (скоростью и плотностью) натекающей солнечной плазмы и влиянием межпланетного магнитного поля.

Радиационный пояс представляет собой замкнутую зону заряженных частиц, захваченных магнитным полем Земли, распространяющуюся на

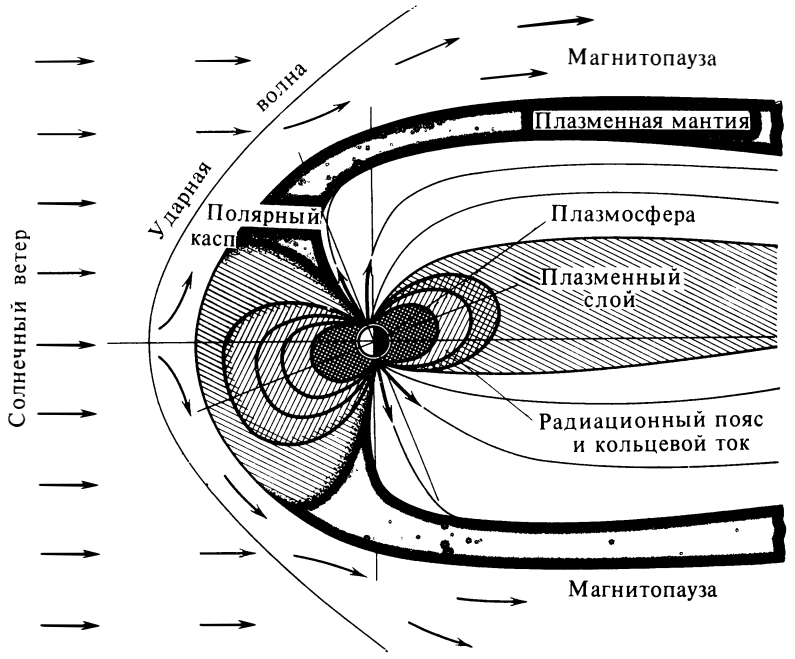


Рис. 15. Общая картина околоземного космического пространства (структура магнитосферы Земли, модель взаимодействия с солнечным ветром)

расстояние в десятки тысяч километров от ее поверхности. Средняя энергия захваченных частиц внутри магнитосферы значительно превышает энергию частиц в невозмущенной солнечной плазме. Следует заметить, что первоначальное разделение зоны захваченной радиации на «внутренний» и «внешний» пояса определялось особенностями применявшейся аппаратуры и в настоящее время носит несколько условный характер. Вся область радиационных поясов заполнена протонами и электронами, однако их энергетический спектр и интенсивность изменяются по мере удаления от Земли. Поэтому протоны и электроны разных энергий имеют максимумы распределений на различных расстояниях от Земли. Во «внутреннем» поясе на расстояниях менее 3 $R_\oplus$ и во внешней зоне захваченной радиации, между 4 и 6 $R_\oplus$, потоки электронов с энергией в десятки и сотни тысяч электронвольт существенно преобладают над потоками протонов, а в промежуточной области преобладающими оказались потоки протонов с энергиями в сотни тысяч и миллионы электронвольт.

Структура, динамика радиационного пояса и разнообразные процессы, протекающие в магнитосфере и на ее границе, всесторонне изучались на

спутниках «Космос», «Электрон», «Прогноз», на космических ракетах. Большую роль сыграли теоретические исследования по физике околоземной плазмы, вскрывшие ряд важных процессов инжекции, ускорения и потерь частиц. Средняя плотность частиц в радиационном поясе регулируется балансом между источником поступления и потерями. По существующим представлениям основной источник частиц — это электроны и протоны, переносимые во внутренние области магнитосферы с ее границы флуктуирующими электрическими и магнитными полями, а потери определяются главным образом рассеянием быстрых частиц на электромагнитной турбулентности, источником которой в магнитосфере служит циклотронная неустойчивость. Характерными проявлениями механизма циклотронной неустойчивости, сопровождающимися высыпанием частиц, являются пульсирующие полярные сияния, различные типы низкочастотных излучений магнитосферного происхождения, возбуждение микропульсаций магнитного поля.

Частицы захваченной радиации, заполняющие магнитосферу, движутся по сложным траекториям, определяемым вращением вокруг силовой линии, колебанием между полушариями и долготным дрейфом. Если угол, образуемый векторами скорости частицы и напряженности магнитного поля (питч-угол) в районе отражения (зеркальной точки) не обращается в 90°, частица сохраняет скорость поступательного движения и гибнет при соударениях с атмосферными атомами и молекулами.

Частицы, теряемые в атмосфере Земли, были впервые зарегистрированы на третьем советском искусственном спутнике. В дальнейшем выяснилось, что помимо зон полярных сияний интенсивные потери частиц могут происходить в областях отрицательных геомагнитных аномалий, прежде всего в районе Южно-Атлантической аномалии. Особенно важная роль в этих процессах Южно-Атлантической аномалии стала ясна после измерений на втором советском корабле-спутнике, когда обнаружилась высокая интенсивность частиц больших энергий на малых высотах в этом районе. Перенос частиц с больших высот и их высыпание в области аномалии в результате актов рассеяния на атомах атмосферы и магнитного рассеяния приводит к пространственно-временны́м вариациям интенсивности, которые подробно исследовались советскими учеными. Помимо медленных потерь в радиационном поясе наблюдались быстрые ускорения и потери (сброс) частиц во время сильных магнитных возмущений, радиальная диффузия и искажение дрейфа частиц под влиянием генерируемых в ионосфере электрических полей и т. д. В целом же внутренние области радиационного пояса оказались довольно стабильными, потоки частиц здесь меняются мало. Чем больше расстояние от Земли, тем больше вариации интенсивности, зависящие от геомагнитной активности.

На границе магнитосферы при обтекании солнечным ветром формируются системы электрических токов. Они вызывают деформацию сило-

вых линий, а деформация внешних частей магнитосферы приводит к асимметричной форме радиационного пояса. Искажение формы силовых линий было непосредственно измерено на спутнике «Электрон». Значительные вариации пространственной структуры и размеров магнитосферы под влиянием изменения солнечной активности многократно отмечались в экспериментах на спутниках «Прогноз». Во время мощных хромосферных вспышек наблюдалась особенно сильная ее деформация со стороны, обращенной к Солнцу, и ряд характерных эффектов на внутренней границе переходного слоя за фронтом ударной волны, в магнитопаузе.

Частицы радиационного пояса обладают значительной проникающей способностью и могут создавать опасные дозы облучения. Поэтому одной из задач, возлагавшихся на спутники уже на самых первых порах, стало регулярное наблюдение за радиационной обстановкой в околоземном космосе. Особую актуальность эти наблюдения приобрели в начале 60-х годов, после серии высотных ядерных взрывов. Наибольший эффект вызвал американский эксперимент «Старфиш» 9 июля 1962 г., когда взрыв был произведен на высоте 300 км над о-вом Джонстон в Тихом океане. В результате него в верхнюю атмосферу были инжектированы электроны с большой энергией (до 5—6 МэВ), и образовался искусственный пояс радиации, представлявший особенно большую опасность для космонавтов.

Трассы полетов пилотируемых космических кораблей на высотах 180—450 км подробно изучались во время полетов кораблей-спутников и спутников «Космос». Прослеживалась связь в распределении интенсивности электронов со структурой реального геомагнитного поля. Были построены радиационные карты для этих высот, изучена топология заполнения жесткими частицами областей геомагнитных аномалий и динамика постепенного спада интенсивности частиц искусственного происхождения. Искусственный радиационный пояс практически исчез лишь к 1968—1969 гг.

Для геофизики наибольший интерес представляет сравнительно малоэнергичная компонента околоземной плазмы — «мягкие» электроны с энергиями приблизительно до 10 кэВ и протоны с энергиями до 100 кэВ, получившие название геоактивных корпускул или авроральной радиации. Мощные потоки мягких электронов впервые были обнаружены в ночное время на высотах 1—1,8 тыс. км на третьем советском спутнике, что подтвердило представления о важной роли геоактивных корпускул в энергетике верхней атмосферы. Их вторжение в земную атмосферу, очевидно, происходит после мощного ускорения во внешних областях магнитосферы частиц солнечного ветра, обладающих примерно в тысячу раз меньшими энергиями. С потоками авроральной радиации при изменениях солнечной активности непосредственно связано возникновение одного из красивейших явлений природы — полярных сияний, а также магнитных бурь и многих других состояний возмущенности на поверхности Земли и в ее ближайших окрестностях, таких, как аномальные поглощения радиоволн в

полярных областях, вариации температуры верхней атмосферы, повышение степени ионизации в ионосфере, возникновение низкочастотных электромагнитных и инфразвуковых волн, токов в слабопроводящей почве и в океанах и др.

Исследования энергетического, углового (относительно магнитных силовых линий) и пространственного распределения корпускулярного излучения, проводившиеся на спутниках «Космос», выявили ряд интересных особенностей в динамике развития состояний геофизической возмущенности, особенно в периоды возникновения полярных сияний. Полярные сияния происходят преимущественно на высотах от 80 до 150 км, но могут охватывать и гораздо больший диапазон высот, вплоть до 1000 км. Они объясняются свечением атомов и молекул верхней атмосферы в спектральных полосах и линиях — главным образом кислорода, азота, водорода. Этим свечением определяется наблюдаемая гамма цветов, среди которых наиболее характерны красные, зеленовато-желтые и бело-голубые тона. Преобладающий цвет зависит от типа сияния и высоты расположения максимума свечения. Различные типы полярных сияний возникают в зависимости от вторжения в атмосферу электронов или протонов и непосредственно связаны с общим «наполнением» магнитосферы, вариациями магнитного поля и токовыми системами в ионосфере. При большой взаимной обусловленности всех этих явлений важную роль приобрело осуществление скоординированных программ измерений на спутнике с одновременными наблюдениями на широко разветвленной сети наземных геофизических обсерваторий. Такие программы проводились в нашей стране с участием ученых других стран в периоды проведения экспериментов на спутниках «Космос-261», «Космос-348» и «Ореол».

VI
ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА

Не только условия в околопланетном пространстве, но и непосредственно на планете, и прежде всего условия жизни на Земле, определяются нашим светилом — Солнцем. Практические потребности человечества неумолимо требуют изучения физики Солнца, его излучений во всех диапазонах электромагнитных волн и корпускулярного излучения. Интерес к изучению гелиофизических явлений обусловлен также тем, что Солнце, дающее нам информацию о процессах в звездах, является уникальной лабораторией плазменных исследований и, видимо, единственным доступным для изучения естественным стационарным термоядерным реактором.

Исследования на высотных геофизических ракетах и специализированных солнечных спутниках, запускавшихся в СССР по программам «Космос» и «Интеркосмос», и на целом ряде американских спутников и высотных ракет позволили изучить спектры Солнца в недоступных для наземных телескопов ультрафиолетовой и рентгеновской областях, получить данные о поляризации рентгеновского и гамма-излучения, проследить вариации интенсивности излучения и отдельных спектральных характеристик с изменением солнечной активности. В результате открылись возможности подробного изучения многих явлений, происходящих в солнечной атмосфере — хромосфере и короне, измерений температуры, плотности, химического состава, структуры активных областей.

Оказалось, что активные области в короне, излучающие рентгеновские кванты, называемые корональными конденсациями, имеют высокую температуру и могут существовать на Солнце в течение длительного времени, до месяца. Излучение солнечной короны, температура которой составляет 1—2 млн. градусов, складывается из почти постоянной компоненты, излучаемой невозмущенной короной («спокойное Солнце»), и более горячего излучения, возникающего в активных ее областях. Вторая часть излучения может сильно изменяться в зависимости от количества и свойств активных областей. Это в свою очередь приводит к тому, что общий поток коротковолновой радиации меняется с ходом 11-летнего цикла солнечной активности. Детальные исследования связи ультрафиолетового и рентгеновского излучения спокойного Солнца с вариациями солнечного радиоизлучения в диапазонах сантиметровых и дециметровых волн, также генерируемых в короне, привели к возможности следить за изменениями интенсивности

потоков солнечной коротковолновой радиации по радиоданным, получаемым на Земле.

Достижения физики Солнца за два прошедших десятилетия поставили перед учеными актуальные задачи глубокого изучения механизма генерации солнечной энергии, особенностей генерации частиц с различным зарядовым и изотопным составом; исследования физических явлений, обусловливающих вспышечную активность; быстропеременных процессов на Солнце, процессов ускорения плазмы и извержения ее в межпланетное пространство; изучения законов преобразования энергии внутренних конвективных движений в энергию магнитного поля и другие формы энергии.

В связи с получавшимися отрицательными результатами экспериментов по регистрации на Земле предсказываемого теорией количества высокоэнергичных солнечных нейтрино, образующихся в процессе ядерного синтеза гелия из водорода, а также недавно открытыми пульсациями Солнца с периодом около 2,5 ч остро встал вопрос о том, имеет ли солнечная энергия термоядерное происхождение. Очевидно, решающий ответ на этот вопрос дадут эксперименты по обнаружению солнечных нейтрино низких энергий, предсказания темпа регистрации которых в отличие от нейтрино высоких энергий не зависят от модели генерации энергии Солнца. Для этого потребуется использование в качестве детекторов не хлора, как это было до сих пор, а галлия и лития. Создание специальных установок нейтринной астрофизики, располагающихся в глубоких шахтах под землей, связано с большими затратами, однако важность дальнейшего развития этого направления, в том числе для физики Солнца, не вызывает сомнений.

Физическая природа вспышек на Солнце также остается пока, к сожалению, до конца не понятой. С этим грандиозным природным явлением связано огромное выделение энергии, интенсивное рентгеновское излучение, сильные изменения спектрального состава потоков ультрафиолетового излучения, мощные выбросы плазмы. Ведущая роль в теоретических и экспериментальных исследованиях физических процессов и явлений, обусловливающих и сопровождающих феномен вспышек, в разработке методов их прогнозирования принадлежит советским ученым. Изучение пространственной структуры и динамики развития солнечных вспышек позволило установить, что они непосредственно связаны с магнитными полями на поверхности солнечной фотосферы и что в активных областях создаются мощные токовые системы, где сила тока превышает 10^{11} А. Магнитная энергия накапливается над фотосферой, в солнечной атмосфере (хромосфере и короне), в виде токовых слоев вблизи нулевых линий магнитного поля, где достигает 10^{32} эрг. Наиболее обоснованными являются представления о механизме вспышки как о достаточно хорошо известном процессе плазменной неустойчивости, проявляющемся в различных астрофизических объектах, установках термоядерного синтеза и др. При разрушении

токовых слоев и изменении структуры поля вследствие неоднородности движений в такой сильно замагниченной плазме (так называемое пересоединение силовых линий) происходит взрывное высвобождение электромагнитной энергии. Это приводит к ускорению частиц, генерации мощных потоков коротковолнового излучения, выбросу горячих плазменных сгустков. Так, жесткое рентгеновское излучение, по-видимому, обусловлено взаимодействием направленных вдоль силовых линий магнитного поля пучков энергичных электронов с высокоионизованными атомами короны или хромосферы. За счет энергии поля эти электроны могут ускоряться до релятивистских скоростей, а высвобождение энергии при торможении должно приводить к быстрому разогреву локальных областей и выбросу вещества. Этим представлениям не противоречат, в частности, полученные с высоким разрешением рентгеновские спектры вспышек, содержащие сотни линий «горячих» ионов металлов.

Процесс вспышки с высвобождением огромного количества накопленной энергии обычно происходит в течение нескольких минут. Резкое возрастание выбрасываемых Солнцем потоков энергичных заряженных частиц (солнечных космических лучей) оказывает сильнейшее активное воздействие на геофизические явления и практическую деятельность человечества. Синоптические наблюдения за изменением интенсивности и состава солнечных космических лучей, изучение их связи с наблюдаемыми активными областями на Солнце, особенно с тонкой структурой и магнитными полями, дают ценную информацию, необходимую для прогнозирования радиационной обстановки в околоземном и межпланетном космическом пространстве. Важную роль здесь играют эксперименты на спутниках «Прогноз», которые позволили получить ряд ценных сведений о пространственном распределении и временны́х вариациях потоков протонов и электронов различных энергий, наблюдаемых за границей магнитосферы, выявить корреляционные зависимости этих потоков со всплесками жесткого рентгеновского излучения и солнечными вспышками.

Было найдено, что вероятность появления и интенсивность рентгеновских всплесков значительно выше в сильно развитых зонах активности (где локализуется наибольшее число групп солнечных пятен), чем в малоактивных областях. Характерной особенностью во временно́м распределении зарегистрированных всплесков является тенденция к группированию их в ассоциации при продолжительности отдельных всплесков в десятки минут. Возможно, что зависимость возрастаний в этих ассоциациях от времени связана с пространственной структурой активных областей. Периодичность всплесков также свидетельствует в пользу описанных выше представлений о механизме вспышки как результате ускорения частиц за счет плазменной неустойчивости в сильных электрических полях, возникающих при конвективных движениях плазмы в областях магнитных пятен. Обнаружен особый тип рентгеновских симптомов, регп-

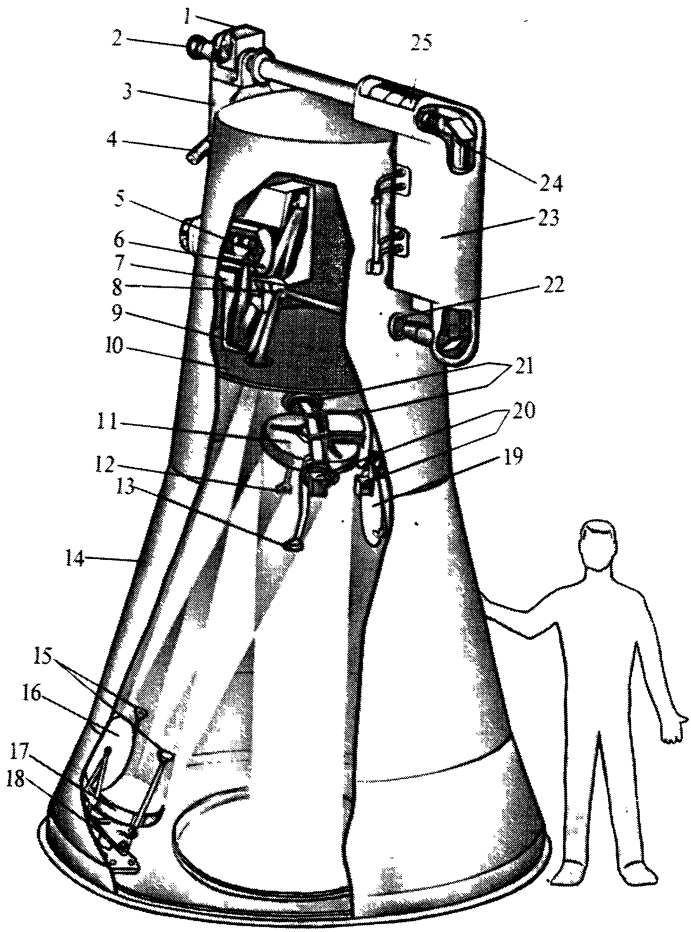


Рис. 16. Орбитальный солнечный телескоп ОСТ-1 и его размещение на станции «Салют-4» (указано стрелкой на рис. справа, см. с. 51)

1 — фоторегистратор; *2* — окуляр визирного устройства; *3* — визирное устройство; *4* — ручки управления следящим и главным зеркалом; *5* — кассета; *6* — шлюзовая камера; *7* — спектрограф; *8* — щель спектрографа; *9* — дифракционная решетка; *10* — экран; *11* — следящее зеркало; *12, 13, 15* — испарители алюминия; *14* — корпус; *16* — крышка главного зеркала; *17* — главное зеркало; *18, 21* — редукторы; *19* — крышка следящего зеркала; *20* — грубые датчики; *22* — иллюминатор; *23* — коллиматорное устройство; *24* — точный датчик; *25* — УФ-фильтр

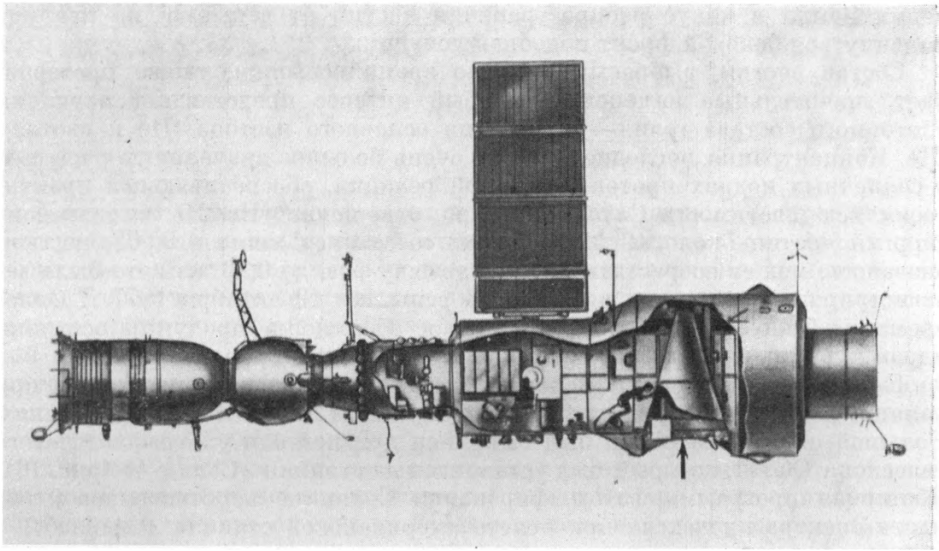


Рис. 16 (продолжение)

стрировавшихся приблизительно за 10 ч до начала оптической фазы вспышки, что имеет важное значение для прогнозирования этих явлений.

Большой интерес представляет ряд обнаруженных эффектов, сопровождающих феномен вспышки. К их числу следует отнести, например, необычную природу возрастания потоков заряженных частиц (по-видимому, протонов) в широком диапазоне энергий. Их особенностями являются резкие передний и задний фронты интенсивности, хотя типичный временной профиль всплеска интенсивности протонов характеризуется относительно медленным — до нескольких десятков минут — нарастанием. Вслед за этим наблюдается довольно крутой спад длительностью 1,5 мин и затем резкое падение интенсивности до исходного «фонового» уровня. Интерпретация столь необычных профилей возрастаний может быть связана с существованием компактных магнитных образований (своего рода магнитных ловушек) в межпланетной среде. Такие ловушки могли бы образовываться на месте узкого пучка силовых линий межпланетного магнитного поля, непосредственно связанного с районом генерации частиц, и перемещаться в межпланетной среде со скоростью солнечной плазмы. Определенным подтверждением этих представлений служит анализ явлений в период мощной вспышки 4 августа 1972 г., когда к моменту вхож-

дения Земли в конус распространения частиц от вспышки на нее мог надвинуться боковой фронт подобной ловушки.

Состав частиц, выбрасываемых во время вспышки, также претерпевает значительные изменения. Особый интерес представляет вариация изотопного состава гелия — отношения основного изотопа ^{4}He к изотопу ^{3}He. Концентрация последнего имеет очень большое значение для идущей в солнечных недрах протон-протонной реакции, обеспечивающей практически всю светимость Солнца. Обычно отношение ^{3}He/^{4}He в диапазоне энергий частиц около 10 МэВ/нуклон составляет меньше 0,003, но, как оказалось, может возрастать почти в тысячу раз, до 0,26, как это было зарегистрировано во время аномальной вспышки 12 октября 1977 г. Одновременно было обнаружено значительное обогащение продуктов вспышки ядрами группы железа, а также магния, алюминия, кремния.

В последнее время интенсивно развиваются исследования Солнца при помощи солнечных телескопов, устанавливаемых на орбитальных станциях. Большой объем измерений был выполнен при помощи ультрафиолетового телескопа ОСТ-1, который был установлен на станции «Салют-4» (рис. 16). Обширная программа фотографирования Солнца в коротковолновой области спектра проведена при полете американской станции «Скайлэб».

VII
ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ

Немногим более чем через год после запуска первого искусственного спутника Земли начался новый этап в исследованиях космического пространства — полеты космических ракет к Луне и планетам Солнечной системы. Только полеты космических аппаратов дали возможность выяснить многие принципиальные особенности природы Луны и планет, обеспечив тем самым бурное развитие современной планетологии. За несколько лет космических исследований Луны и планет получена огромная информация, которая была недоступна на протяжении всей предыдущей истории астрономических наблюдений.

2 января 1959 г. советская космическая ракета, достигнув второй космической скорости, вышла из поля тяготения Земли, прошла на расстоянии менее 6 тыс. км от центра Луны и вышла на орбиту вокруг Солнца, став первой искусственной планетой.

12 сентября 1959 г. была запущена советская космическая ракета «Луна-2», достигшая поверхности Луны. Впервые аппарат, созданный руками человека, достиг другого небесного тела. Приборы автоматической станции позволили установить отсутствие у Луны существенного магнитного поля (в пределах 50—100 гамм), а также отсутствие у нее радиационного пояса (в пределах 10% от космического фона).

Для осуществления полета к Луне была создана новая ступень ракеты-носителя, чтобы сообщить вторую космическую скорость автоматической станции массой около 400 кг. Система управления обеспечила вывод ракеты на заданную траекторию полета и достижение Луны. Радиосвязь для передачи информации поддерживалась вплоть до самой Луны на расстояниях порядка 400 тыс. км.

Следующая космическая ракета со станцией «Луна-3» на борту (рис. 17), стартовавшая 4 октября 1959 г., облетела Луну и позволила получить первые сведения о ее обратной стороне, невидимой с Земли. Такая задача могла быть решена только космическими средствами. Автоматическая станция с расстояния 60—70 тыс. км сделала ряд снимков обратной стороны Луны, которые телевизионным путем передавались на Землю.

Замечательно, что для осуществления этого эксперимента были использованы не только силы тяги, создаваемые ракетными двигателями, но и силы тяготения Луны и Земли. Они использовались для того, чтобы создать

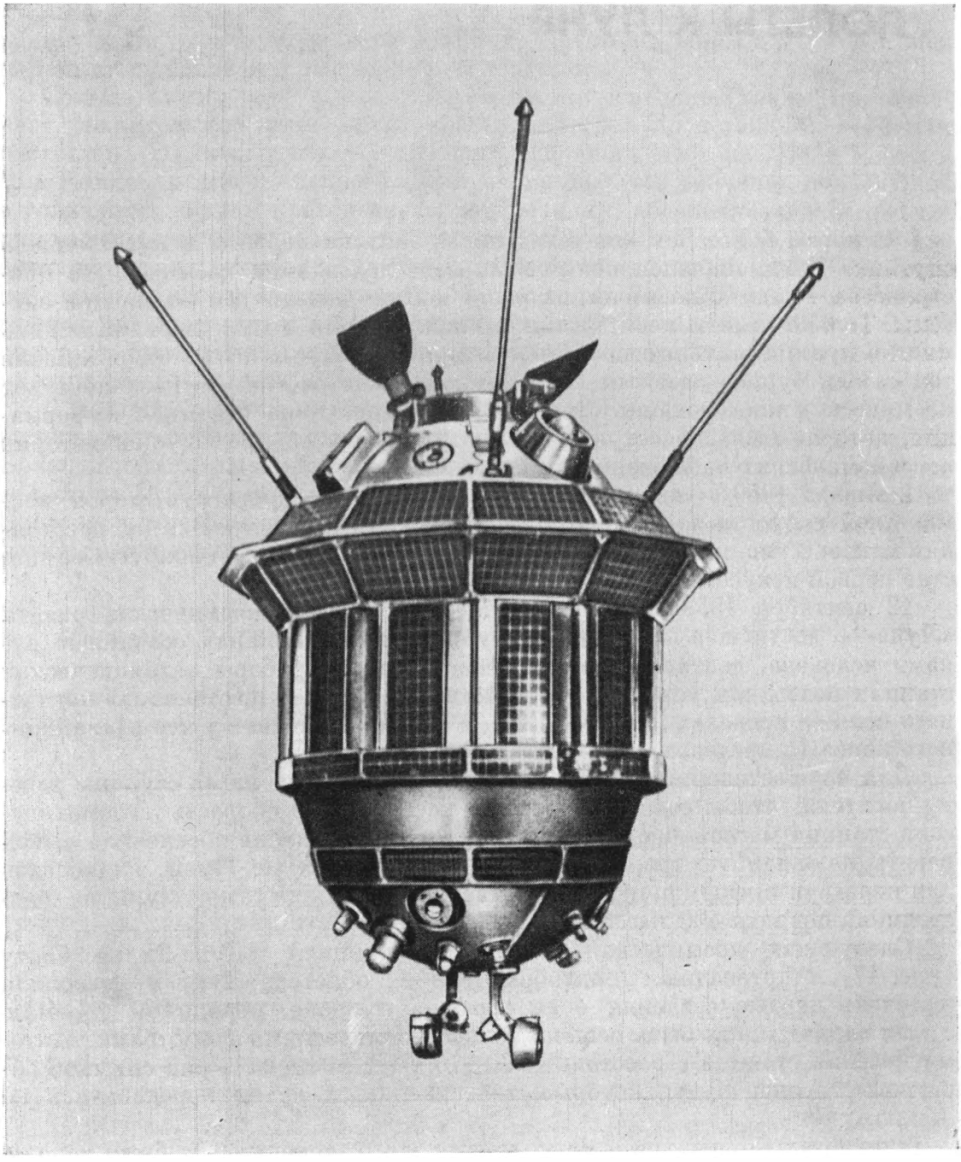


Рис. 17. Автоматическая станция «Луна-3»

орбиту, близкую к эллиптической (рис. 18). Этот шаг знаменателен еще тем, что впервые был создан ориентированный спутник. А ориентация спутника для решения многих проблем, и в частности для решения проблемы полета человека в космос, для обеспечения посадки на Землю, имеет громадное значение.

Система ориентации станции «Луна-3», использующая оптические датчики Луны и Солнца, гироскопические датчики для успокоения вращения и сжатый газ с системой автоматически управляемых сопел, обеспечила наведение фотоаппаратов на Луну и их удержание в пространстве в процессе фотографирования. Во время работы станция управлялась автоматически и по радиокомандам с Земли. В результате этого полета были получены первые фотографии обратной стороны Луны.

В дальнейшем, при полетах автоматических станций «Зонд-3», «Зонд-5—8», были получены новые серии фотографий лунной поверхности очень высокого качества, сделанные с более близкого расстояния. Наименьшие размеры объектов, видимых на снимках, составляют 15—20 м, тогда как на лучших снимках видимой стороны Луны, сделанных с Земли, можно различить только объекты размером порядка 0,5—1 км. На этих фотографиях видно, что на обратной стороне Луны мало морей и вся она более светлая и более гористая. На ней обнаружены обширные впадины, названные «талассоидами» (т. е. мореподобными образованиями), кратерные цепочки огромной протяженности, а плотность крупных кратеров оказалась более высокой, чем на видимой стороне. Снимки, полученные автоматическими станциями «Луна» и «Зонд», дали возможность составить карты лунной поверхности и создать лунный глобус.

Достижение второй космической скорости и первые полеты космических ракет к Луне открыли новый крупный этап в развитии космической техники — полеты автоматических станций в межпланетное пространство и к планетам Солнечной системы.

В период 1961—1965 гг. в Советском Союзе были запущены первые межпланетные и космические аппараты к планетам Венера и Марс. Станция «Венера-2» прошла на расстоянии 24 тыс. км от поверхности Венеры, а станция «Венера-3», совершив перелет по траектории, направленной к центру масс планеты, впервые достигла ее поверхности.

На этом этапе был выдвинут ряд новых больших задач в развитии космической техники. Это прежде всего баллистические и энергетические вопросы, связанные с выводом автоматических станций на межпланетные трассы; вопросы обеспечения надежного функционирования аппаратуры в условиях космического вакуума, космической радиации, при резко отличных от земных тепловых режимах, обусловленных солнечным нагревом, излучением тепла в вакуум и выделением тепла работающими приборами. Это вопросы навигации в межпланетном пространстве и управления полетом, осуществления радиосвязи на сотни миллионов километров для пере-

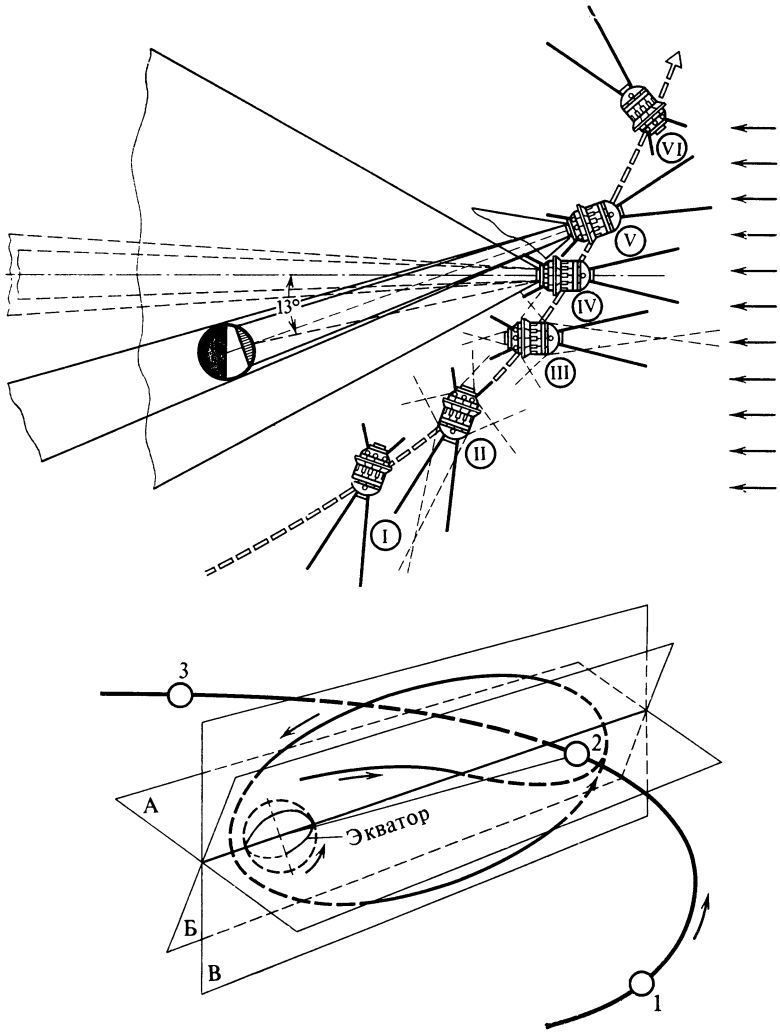


Рис. 18. Схема облета Луны автоматической станцией «Луна-3» и фотографирования обратной стороны Луны

I—VI — последовательные положения ориентации станции при фотографировании; *А* — плоскость орбиты Луны, *Б* — плоскость траектории станции до облета Луны, *В* — плоскость траектории станции после облета; *1* — положение Луны в момент старта ракеты, *2* — в момент облета, *3* — в конце витка траектории

дачи на станцию управляющих команд с Земли и передачи со станции на Землю информации о полете, научных данных, фототелевизионных изображений. Это, наконец, необходимость существенного уточнения фундаментальных астрономических постоянных (астрономическая единица, массы планет) и параметров движения планет.

Успех межпланетных полетов связан с энергетически оптимальным выбором траектории и схемы маневров. При ограниченной энергетике существующих ракетных систем на химическом топливе полеты к другим планетам практически осуществляются с выводом космических аппаратов на траектории только со скоростью, близкой ко второй космической. Это делает возможным такие полеты лишь в определенные периоды времени, обусловленные взаимным расположением планет. Такие периоды наступают приблизительно через 19 месяцев для полета к Венере и через 25 месяцев — к Марсу. Если в пределах этого периода намечены дата старта ракеты с Земли и дата сближения космического аппарата с планетой, то орбита аппарата в Солнечной системе, вне сферы действия Земли, определяется однозначно. Существенное отступление от этих оптимальных дат требует столь большого увеличения энергетики ракеты, что задача становится невыполнимой для современной техники.

Продолжительность полетов к Венере составляет около 4 месяцев, а к Марсу 6—7 месяцев. Чтобы без дополнительных воздействий ракета достигла орбиты Венеры, ее скорость должна быть на 3—4 км/с меньше орбитальной скорости Земли (~30 км/с), а чтобы достигнуть орбиты Марса, ее скорость должна на 3—4 км/с превышать орбитальную скорость Земли.

Требуемая энергетика ракеты определяется не только величиной скорости, которую надо сообщить космическому аппарату в конце участка разгона, но и углом наклона вектора скорости к горизонту. Чтобы космический аппарат вышел из сферы действия Земли, имея скорость в нужном направлении, при его непрерывном ускорении может потребоваться в конце участка разгона скорость, направленная под большим углом к горизонту. Этого можно избежать, если применить метод разгона с выходом на промежуточную орбиту искусственного спутника Земли. В Советском Союзе была разработана такая система запуска космических аппаратов к Луне и планетам Солнечной системы. Спутник, несущий на борту космическую ракету, выводится на почти круговую орбиту с минимальными потерями. Разгон космической ракеты, стартующей с борта спутника, производится почти в горизонтальном направлении, что энергетически выгоднее. Выбором надлежащим образом плоскости орбиты спутника, места и времени старта с орбиты обеспечивается выход космического аппарата из сферы действия Земли с нужным направлением скорости. Применение такого баллистического маневра по существу позволяет как бы стартовать с наиболее оптимальной точки земного шара.

Обработка радиолокационных измерений расстояний до планет, а в дальнейшем — высокоточных измерений траекторий движения межпланетных космических аппаратов позволили существенно уточнить фундаментальные астрономические постоянные и параметры движения планет. Достаточно сказать, что уже к середине 60-х годов по результатам проводившейся Институтом радиотехники и электроники Академии наук СССР радиолокации Венеры и Марса ошибка в определении астрономической единицы (расстояния от Земли до Солнца), составлявшая десятки тысяч километров, была уменьшена почти в тысячу раз. Тем не менее существующие неточности теорий, описывающих движение планет, а главное — всегда присутствующие ошибки при разгоне аппарата от Земли требуют, чтобы была предусмотрена возможность проведения коррекции его движения. Например, при полете к Венере отклонение в абсолютной величине скорости в конце участка выведения на 1 м/с приводит к отклонениям вблизи планеты на величину порядка 30 тыс. км. Поэтому на борту космического аппарата устанавливается корректирующая двигательная установка с определенным запасом топлива, достаточным для того, чтобы устранить максимально допустимые отклонения от расчетной траектории. Величина и направление корректирующего импульса рассчитываются по результатам высокоточных траекторных измерений, и соответствующие команды передаются на борт аппарата.

Система астроориентации, использующая в качестве опорных светил Солнце и какую-либо звезду, позволяет ориентировать ось корректирующего двигателя в пространстве в любом направлении, что дает возможность не только обеспечивать попадание в заданную точку планеты, но и изменять время встречи с планетой. Последнее необходимо для того, чтобы подлет аппарата к планете происходил в период его радиовидимости наземными средствами Центра дальней космической связи.

На участке подлета применяется также система автономной астронавигации, использующая при построении базисной системы координат аппарата в качестве одной из опорных точек саму планету (например, край освещенной части ее диска). В этом случае в состав системы входит бортовая вычислительная машина для расчета программных разворотов и временно́й последовательности других операций.

Первые полеты дальних космических аппаратов имели, конечно, ограниченный, рекогносцировочный характер. Дальнейшие шаги в этом направлении были связаны с решением новых больших принципиальных задач — посадкой автоматических станций с научными приборами непосредственно на поверхность Луны и планет, созданием их искусственных спутников.

Новым важнейшим этапом в исследованиях Луны стал полет автоматической станции «Луна-9», которая 3 февраля 1966 г. произвела мягкую посадку вблизи лунного экватора, на восточной окраине Океана Бурь.

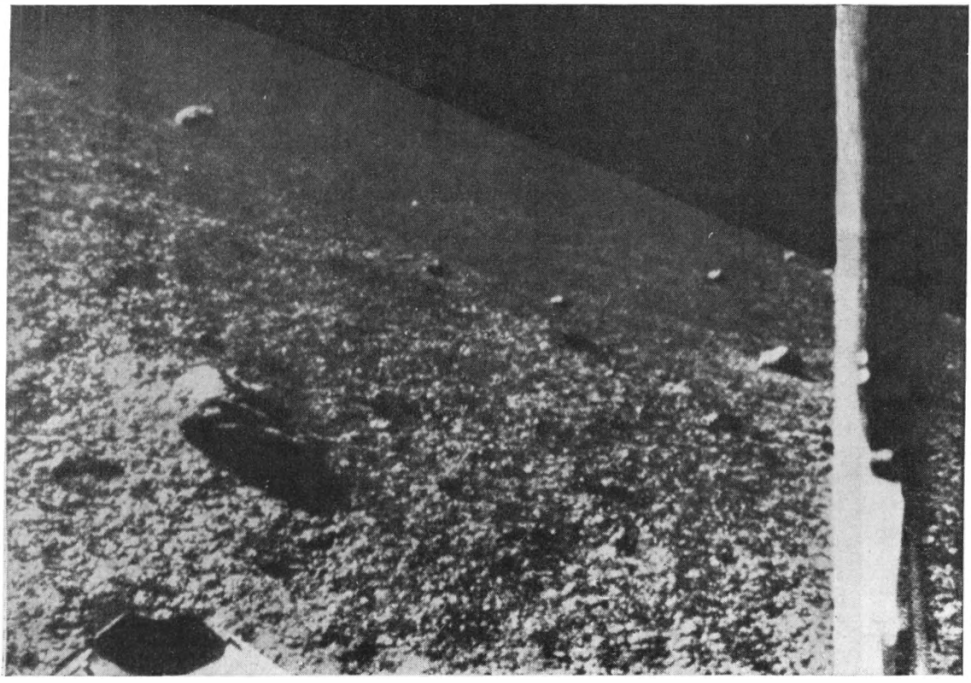


Рис. 19. Фрагмент панорамы лунной поверхности, переданной автоматической станцией «Луна-9»

Впервые была осуществлена мягкая посадка космического аппарата на поверхность другого небесного тела. Это открыло новые широкие возможности для изучения Луны. На Землю была передана панорама лунного ландшафта, и человек впервые увидел лунную поверхность в непосредственной близости (рис. 19).

Станция «Луна-9» состояла из отсека с аппаратурой для работы на Луне, двигательной установки, предназначенной для проведения коррекции траектории и торможения при подлете к Луне, и отсеков, содержащих аппаратуру управления (рис. 20). Масса станции «Луна-9» была равна 1583 кг. Управление торможением и посадкой проводилось по радиокомандам и автоматическими приборами на борту станции (рис. 21). Для мягкой посадки на Луну, лишенную атмосферы, необходимо было осуществить управление моментом начала торможения и регулирование тяги двигателя в период торможения таким образом, чтобы скорость движения станции снизить до нуля непосредственно перед соприкосновением с

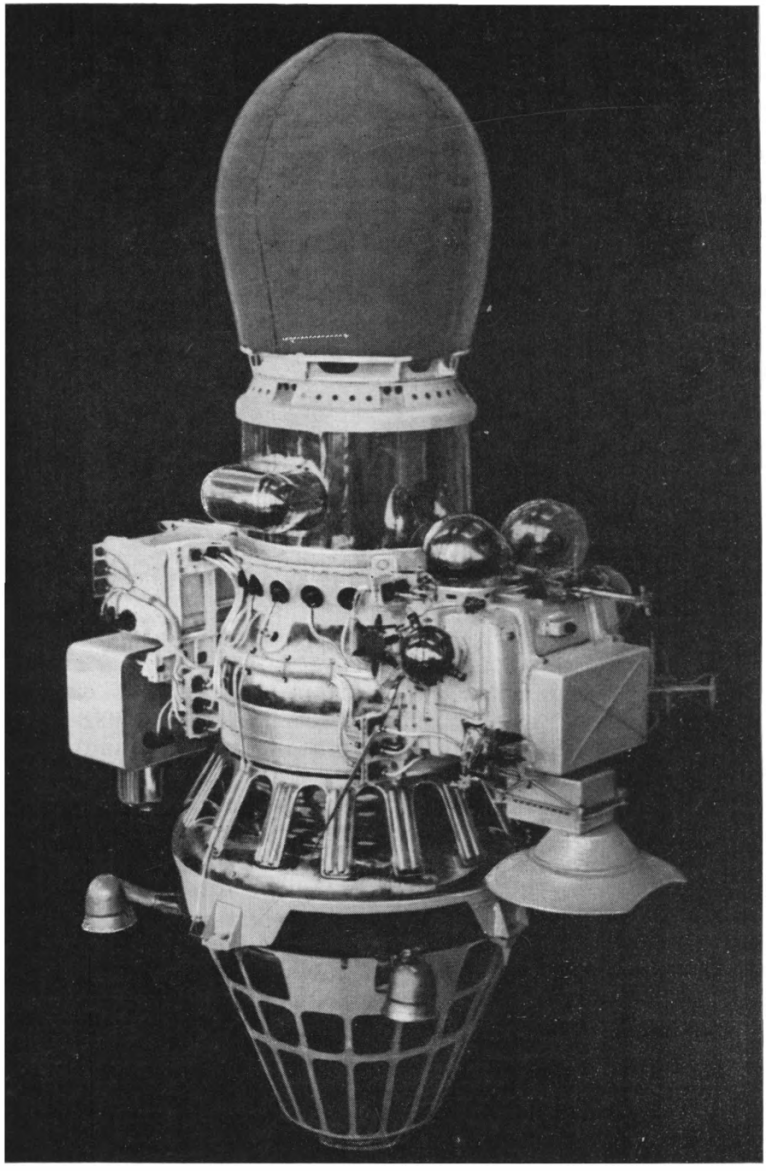


Рис. 20. Общий вид автоматической станции «Луна-9»

поверхностью Луны. Система прилунения обеспечила гашение скорости с 2600 до нескольких метров в секунду на малой высоте. За несколько метров до поверхности Луны станция была отделена от двигательной установки и прилунилась рядом. Раскрылись ее антенны, начался обзор лунного ландшафта и передача его изображения на Землю.

Переданные фотографии позволили различить на поверхности Луны детали размером в несколько миллиметров. Лунные породы в районе посадки оказались достаточно прочными, так как не было существенного погружения станции в грунт. Между тем ранее высказывались предположения о толстом пылевом слое, покрывающем Луну, в который мог бы погрузиться посадочный аппарат. На самом деле на лунной поверхности не было обнаружено заметных следов пыли. Поверхность Луны оказалась очень шероховатой, с множеством мелких углублений, бугорков и камней. Примерно аналогичный ландшафт был передан автоматической станцией «Луна-13», совершившей посадку на лунную поверхность в обширной равнине «морского» типа в декабре 1966 г., на расстоянии около 400 км от места посадки «Луны-9». Научная аппаратура, установленная на станции, дала ряд сведений о плотности лунного грунта и его механических свойствах, показала, что Луна обладает малой радиоактивностью.

3 апреля 1966 г. был осуществлен запуск первого искусственного спутника Луны (ИСЛ) — советской автоматической станции «Луна-10», в августе и октябре 1966 г. запуски еще двух искусственных спутников «Луна-11» и «Луна-12», а в апреле 1968 г.— «Луны-14». Был проведен большой комплекс исследований свойств лунной поверхности и окололунного пространства, осуществлена программа фотографирования Луны. Выдающееся научное значение имело определение на ИСЛ «Луна-10» характера поверхностных пород Луны по величине и характеру естественного гамма-излучения, создаваемого содержащимися в них радиоактивными элементами — ураном, торием и калием. Сравнение уровня излучения лунных пород с аналогичной радиоактивностью горных пород Земли позволило установить, что концентрация радиоактивных элементов в лунных породах близка к их концентрации в широко распространенных в земной коре изверженных породах — базальтах и значительно отличается от концентрации в гранитах. В дальнейшем этот вывод был убедительно подтвержден лабораторным изучением лунного вещества и непосредственными исследованиями на поверхности Луны.

В течение всего времени работы спутников подробно исследовались эффекты возмущений и особенности в распределении магнитного поля и межпланетной плазмы в окрестности Луны. Топология наблюдаемого поля позволила считать его межпланетным полем, деформированным Луной. На основании прямых измерений был оценен верхний предел концентрации заряженных частиц в ионосфере Луны (примерно 100 частиц/см^3), который не противоречил оценкам, сделанным ранее на основании радио-

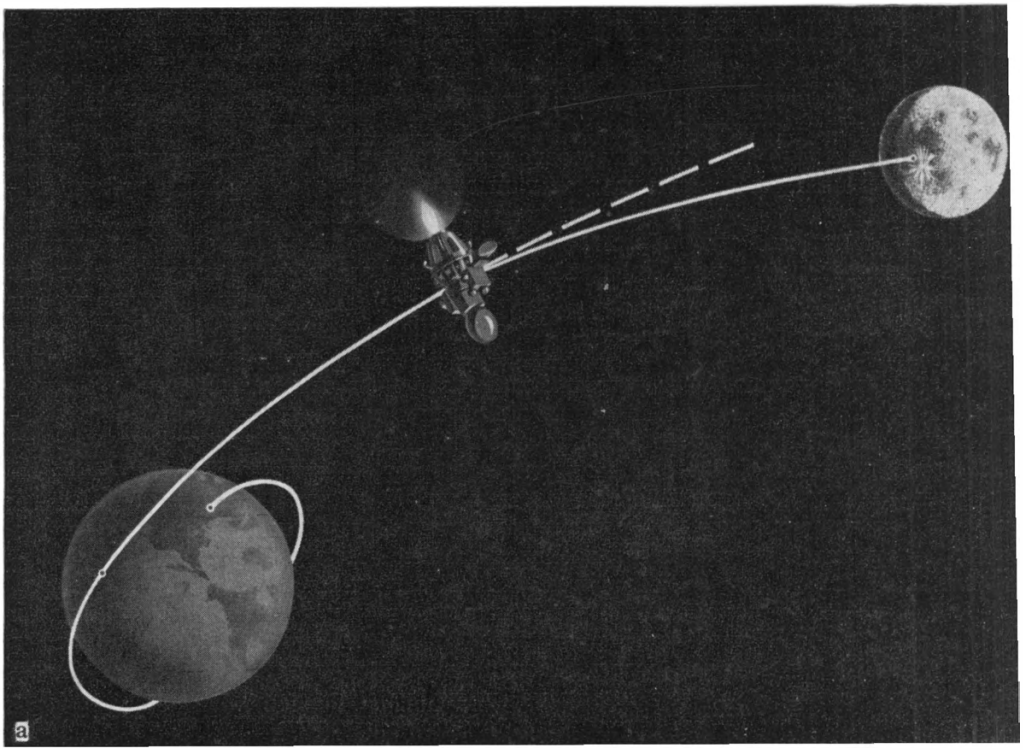


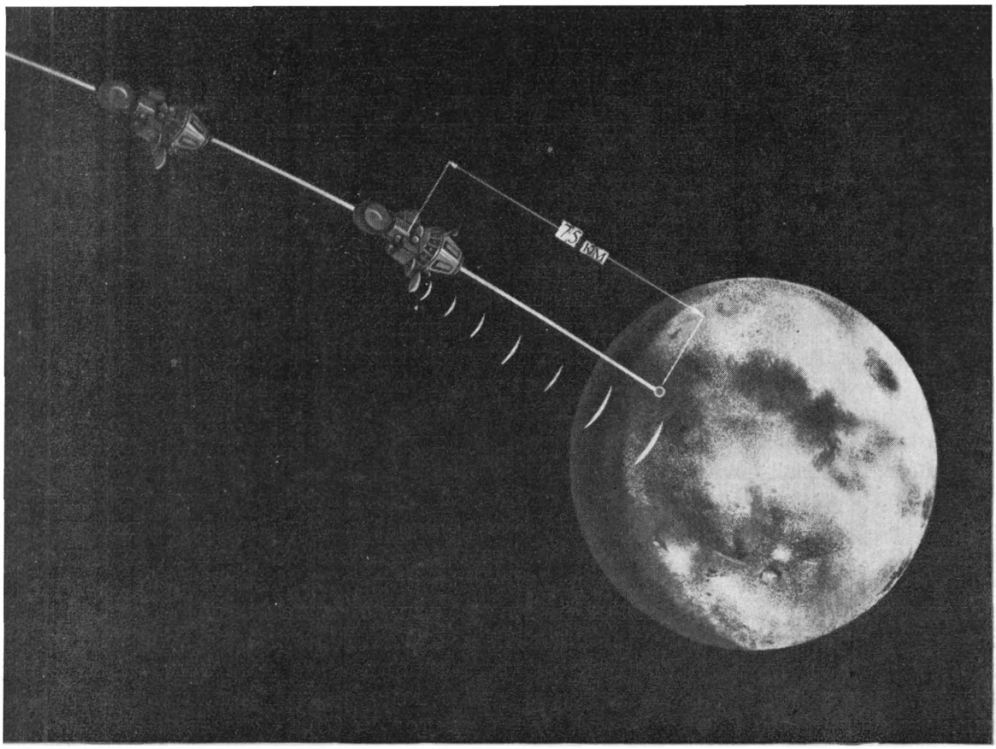
Рис. 21. Схемы облета и прилунения автоматической станции «Луна-9»

а — коррекция траектории движения, б — участок подлета и посадки

астрономических наблюдений. Позднее измерения на ИСЛ «Луна-19» методом дисперсионного интерферометра дали более надежные значения — около 10^3 частиц/см^3 на дневной стороне Луны на высотах 5—10 км с плавным спаданием до величины погрешности измерений (менее 10^2 частиц/см^3) на высотах около 30 км.

Полеты лунных аппаратов дали важную информацию для построения точной теории движения Луны. В результате траекторных измерений по эволюции орбит ИСЛ были получены данные, уточняющие поле тяготения и фигуру Луны,— численные значения для коэффициентов разложения гравитационного потенциала с вытянутостью на обратной стороне Луны.

В период создания первых лунных посадочных аппаратов и ИСЛ проводились также работы на космических станциях «Зонд», на которых от-



рабатывались принципы посадки аппарата, возвращающегося на Землю со второй космической скоростью. В сентябре 1968 г. «Зонд-5» после облета Луны благополучно вернулся на Землю. Большой комплекс исследований Луны на аппаратах типа «Рейнджер», «Сервейер», «Лунар-Орбитер» был осуществлен начиная с середины 60-х годов американскими учеными.

Задача более полных исследований Луны потребовала создания новых средств. В отличие от США, сосредоточивших усилия на дорогостоящей программе «Аполлон» с высадкой человека на Луну, советская программа полетов к Луне строилась с ориентацией на автоматы. Созданная к этому времени новая мощная ракета-носитель, оснащенная дополнительной разгонной ступенью для старта с орбиты ИСЗ, и ориентированное на ее использование новое поколение лунных автоматических станций позволили начиная с 1970 г. в короткий срок и с минимальными затратами осуществить сложнейшие эксперименты по доставке на Землю образцов лунного

грунта из различных районов Луны при помощи автоматических станций «Луна-16», «Луна-20», «Луна-24», высадить на лунную поверхность два самоходных аппарата «Луноход-1» и «Луноход-2» для комплексных исследований на лунной поверхности, создать более совершенные спутники Луны. Эти полеты положили начало принципиально новому этапу в изучении Луны, обеспечив возможность проведения систематических исследований, в том числе после завершения программы «Аполлон».

Одновременно с учетом новых возможностей носителей создавались более совершенные средства для полетов к планетам. Переход к этому новому этапу исследований Солнечной системы был непосредственно связан с дальнейшим развитием в нашей стране исследований по динамике космического полета, опирающихся на прогресс в создании бортовых систем управления и крупных наземных измерительных и информационно-вычислительных комплексов. Это обеспечило успешное решение таких сложных задач управления полетом, как посадка космических аппаратов с высокой точностью в интересные для научных исследований районы Луны и планет, а также возвращение аппаратов с Луны на Землю.

20 сентября 1970 г. на ночной стороне Луны, в северо-восточной части Моря Изобилия (0°41′ ю. ш., 56°18′ в. д.), совершила мягкую посадку автоматическая станция «Луна-16». Станция вначале вышла на круговую селеноцентрическую орбиту с удалением от поверхности Луны 110 км и наклонением 70°. Перед посадкой была решена сложная задача формирования орбиты с низким периселением. В расчетный момент была выдана команда на посадку, которая происходила полностью автономно. На заключительном этапе при помощи радиовысотомера производились измерения расстояния до поверхности Луны, по которым бортовое счетно-решающее устройство выдавало команды на включение и выключение двигателей. После посадки станция произвела бурение и забор лунного грунта на глубину около 35 см и с помощью ракеты, стартовавшей с поверхности Луны, доставила возвращаемый аппарат с лунным веществом на Землю. Все операции были осуществлены автоматически и по командам с Земли.

Основные системы «Луны-16» показаны на рис. 22. Станция состоит из посадочной ступени с грунтозаборным устройством и лунной ракеты с возвращаемым аппаратом (рис. 23). Ее масса при посадке на поверхность Луны 1180 кг. Посадочная ступень представляет собой автономный ракетный блок многоцелевого назначения, на котором может устанавливаться либо возвратная лунная ракета, либо самоходный аппарат «Луноход». В ее состав входит жидкостный ракетный двигатель, система баков с компонентами топлива, приборные отсеки и амортизационные посадочные опоры. Возвращаемый аппарат с приборным отсеком отделяется от лунной ракеты после разгона от Луны и совершает перелет к Земле по баллистической траектории. В процессе этого перелета производятся траекторные измерения и непрерывно уточняется фактическая траектория дви-

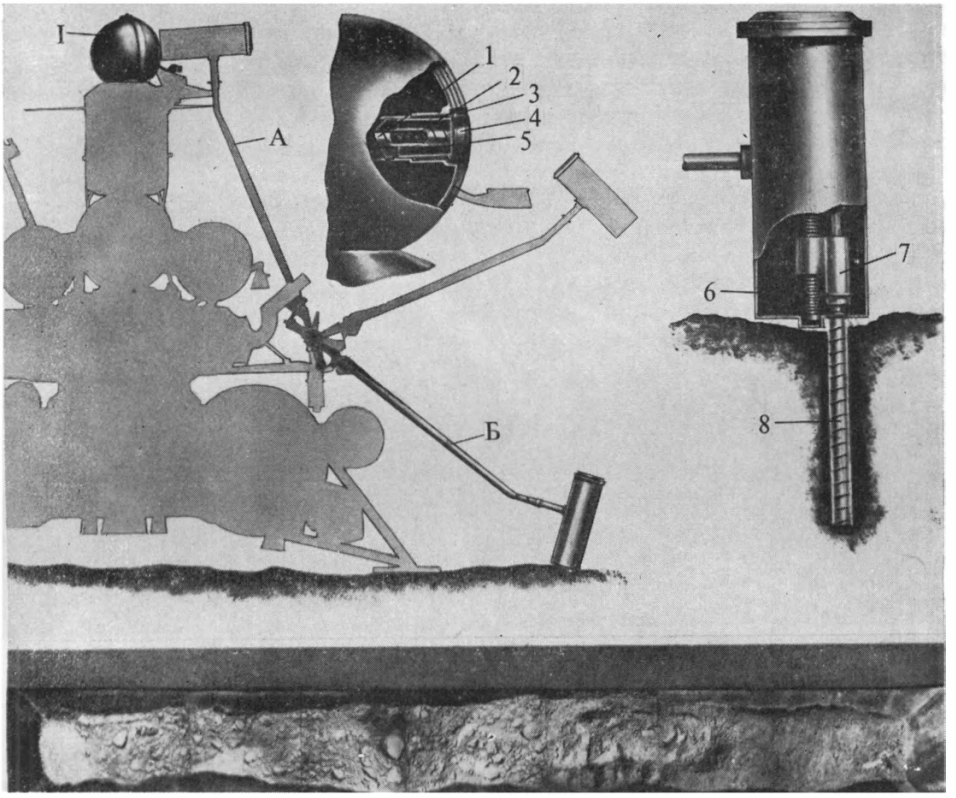


Рис. 23. Работа грунтозаборного устройства станции «Луна-16» на поверхности Луны

1 — ампула возвращаемого аппарата, *2* — грунт, *3* — замок крышки, *4* — крышка герметизации ампулы, *5* — фиксирующие пружины ампулы, *6* — винт подачи, *7* — вращатель, *8* — буровой снаряд. А — исходное положение штанги и бурового станка, Б — рабочее положение. Внизу колонка лунного грунта — реголита из Моря Изобилия, доставленная на Землю станцией «Луна-16». I — возвращаемый аппарат

жения и район посадки, однако коррекций не предусматривается. Облегчающим обстоятельством здесь является то, что под воздействием значительно более сильного по сравнению с лунным гравитационного поля Земли возвратные траектории собираются в довольно узкий пучок. Это значительно уменьшает влияние погрешностей в конце активного участка при старте с Луны. Тем не менее обеспечение возвращения аппарата (рис. 24) в заранее выбранный и довольно ограниченный по площади

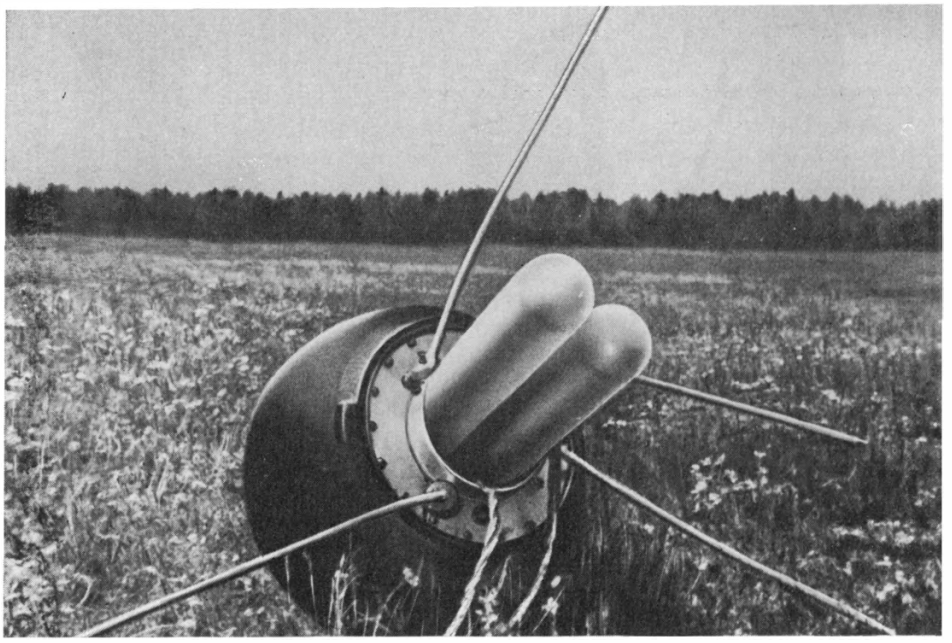


Рис. 24. Возвращаемый аппарат станции «Луна-16»

район на территории СССР, к тому же с учетом дополнительных разбросов на участке аэродинамического торможения, представляет собой весьма сложную научно-техническую задачу.

На рис. 23 показана также доставленная «Луной-16» колонка сыпучего лунного грунта (реголита) на приемном лотке специальной вакуумной камеры после вскрытия бура. Лунный грунт оказался рыхлой мелкозернистой породой темно-серого цвета со средней плотностью 1,17 г/см^3. Однако в зависимости от условий насыпания и уплотнения плотность изменялась от 1,1 до 2,3 г/см^3. Была найдена существенная зависимость от степени уплотнения также физико-механических и теплофизических свойств грунта. Установлено, что зерна реголита отличаются большим разнообразием, их медианный размер увеличивается с глубиной от 70 до 120 мкм, однако встречаются отдельные крупные частицы (рис. 25) с фракцией зерна, превышающей 0,45 мм. По минералого-петрографическим характеристикам можно выделить относительно небольшое количество осколков первичных магматических пород, имеющих неизмененные грани, и значительно больше ошлакованных частиц, подвергшихся существенным пре-

образованиям на лунной поверхности под воздействием различных космогенных факторов. Среди ошлакованных частиц особенно выделяются спекшиеся, оплавленные и сферические стекловидные частицы силикатного расплава, образовавшиеся в результате взрывных процессов при падении метеоритов. С глубиной доля таких частиц уменьшается.

Лунное вещество было подвергнуто всестороннему изучению. Были произведены детальные химические анализы реголита и его фракций с определением большинства элементов таблицы Менделеева, исследован изотопный состав. По соотношению изотопов рубидия и стронция, урана и свинца, аргона и калия произведено определение абсолютного возраста породы, тщательно изучены оптические, тепловые, механические, магнитные свойства. В сопоставлении с данными, полученными американскими учеными из анализа лунного вещества, доставленного на Землю астронавтами экспедиций «Аполлон», эти исследования позволили сделать вывод о том, что характеристики реголита довольно постоянны на поверхности лунных «морей», представляющих собой площадные излияния базальтов.

Исторически сохранившиеся названия «моря» и «материки» характеризуют хорошо различимые в телескоп обширные области с различным рельефом. С точки зрения геологической истории Луны первостепенный интерес представляет сопоставление свойств вещества из разных районов — равнинных «морских» и гористых «материковых». Первую задачу решила «Луна-16», вторая задача была решена полетом «Луны-20».

Автоматическая станция «Луна-20» совершила посадку на Луну 21 февраля 1972 г. в области с относительными перепадами рельефа до 1 км, расположенной между Морем Кризисов и Морем Изобилия, в районе кратера Аполлоний С (3° 32′ с. ш., 56° 33′ в. д.). Это значительно более древняя область, сформировавшаяся, по-видимому, ранее Моря Изобилия. Работа грунтозаборного устройства на поверхности Луны производилась аналогично тому, как показано на рис. 23.

Грунт, доставленный «Луной-20», существенно отличается от образца грунта, доставленного «Луной-16». По внешнему виду это также рыхлый разнозернистый материал, но светло-серого цвета, значительно светлее пробы из «морского» района. При средней плотности 1,1—1,2 г/см^3 он также легко уплотняется до 1,7—1,8 г/см^3. В нем преобладают фрагменты кристаллических пород и минералов с хорошо сохранившимися гранями, поверхностями скола. Значительно меньше ошлакованных, оплавленных частиц. Средний размер зерен 70—80 мкм, но встречаются отдельные крупные частицы размером больше миллиметра. Анализ химического и минералогического состава показал, что по сравнению с морскими материковые породы обогащены алюминием и кальцием и обеднены железом, титаном и магнием. Поэтому «материковый» грунт состоит преимущественно из полевых шпатов — анортозитов и содержит определенное количество

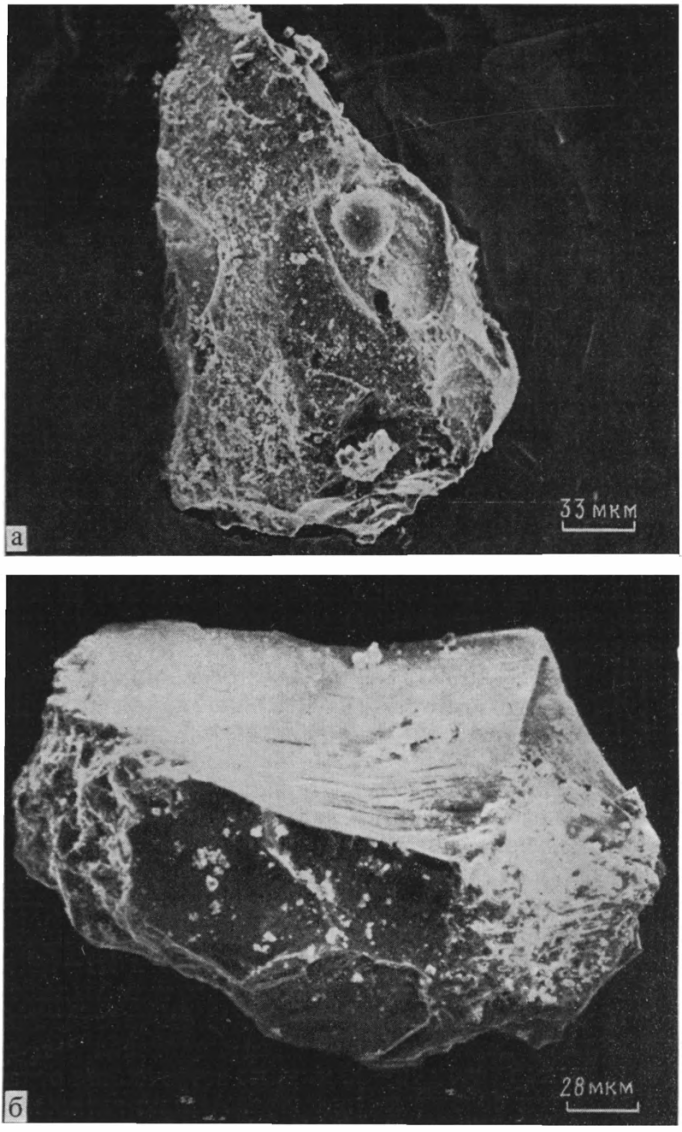
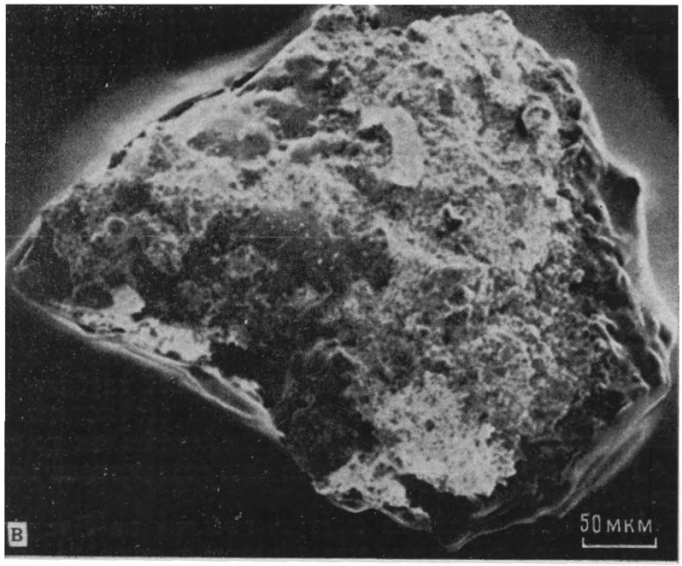
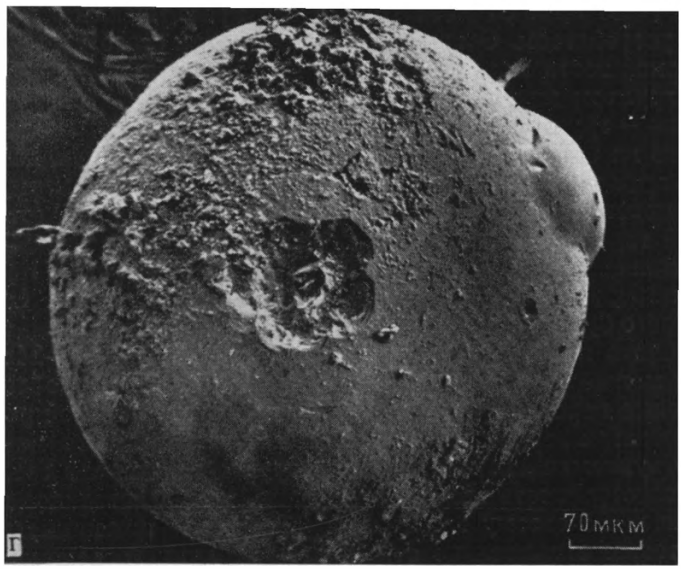


Рис. 25. Отдельные фрагменты лунного грунта

а — зерно оливина неправильной формы, б — зерно пироксена продолговатой формы, в — реголитовая





брекчия, сложенная двумя различными типами материала, г — стеклянная сферическая частица с ударным кратером в центре). а — из колонки грунта «Луны-20», б, в, г — «Луны-16»

оливинов и пироксенов, а титаносодержащего ильменита в нем почти на порядок меньше, чем в районах «морей».

Можно предполагать, что анортозиты образовались на самых ранних этапах истории Луны, в процессе кристаллизационной дифференциации основной габбро-базальтовой магмы, тогда как выходы базальтовых расплавов, заполнивших «моря», происходили значительно позднее. Эти представления подкрепляются оценками абсолютного возраста лунного вещества. Возраст древнейшей материковой коры Луны примерно соответствует возрасту Солнечной системы (около 4,6 млрд. лет), в то же время в районах «морей» преобладают более «молодые» породы — до 3,16 млрд. лет. Видимо, эта последняя оценка характеризует время завершения основного активного периода эволюции Луны.

Для изучения времени и условий образования лунных пород очень важно иметь возможность брать вещество с большой глубины. В колонке такого вещества как бы записаны хронология и особенности процессов, формировавших поверхность Луны. Сложный эксперимент по забору лунного грунта с глубины около двух метров был осуществлен на автоматической станции «Луна-24».

Станция «Луна-24» совершила мягкую посадку на Луну 18 августа 1976 г. в Море Кризисов, в 40 км от материкового перешейка, отделяющего его от Моря Изобилия. Она была оснащена принципиально новым грунтозаборным устройством. Остроумная конструкция этого устройства обеспечивает возможность подачи бурового инструмента на длину до 2,6 м, заполнение грунтом внутренней полости штанги, в которой размещена гибкая трубка — грунтонос, извлечение грунтоноса с грунтом из штанги и намотку его на барабан, заключаемый в герметизируемую капсулу возвращаемого аппарата (рис. 26). При этом — что очень важно — сохраняется неизмененной последовательность залегания слоев (стратификация) по всей глубине колонки. Все операции, как и на предыдущих аппаратах, производились автоматически. В процессе бурения происходила смена режимов от вращательного к ударно-вращательному. Общая глубина наклонного бурения составила 2,25 м.

Цвет реголита в колонке грунта, доставленного «Луной-24», различный — в нем можно выделить несколько слоев. В целом преобладают темные базальтовые породы вулканического происхождения, но присутствуют также фрагменты интрузивных пород и примесь древнего материкового материала. Двухкомпонентность состава грунта по степени зрелости указывает на многоэтапность его формирования, на существенное перемешивание реголита. По своему химическому составу алюминистые породы «Луны-24» также значительно отличаются от лунного вещества, доставленного предыдущими станциями. В них содержится чрезвычайно мало тугоплавких и редкоземельных элементов (бария, циркония, иттрия, гафния, хрома) и наряду с этим необычно много никеля. Это свидетельствует

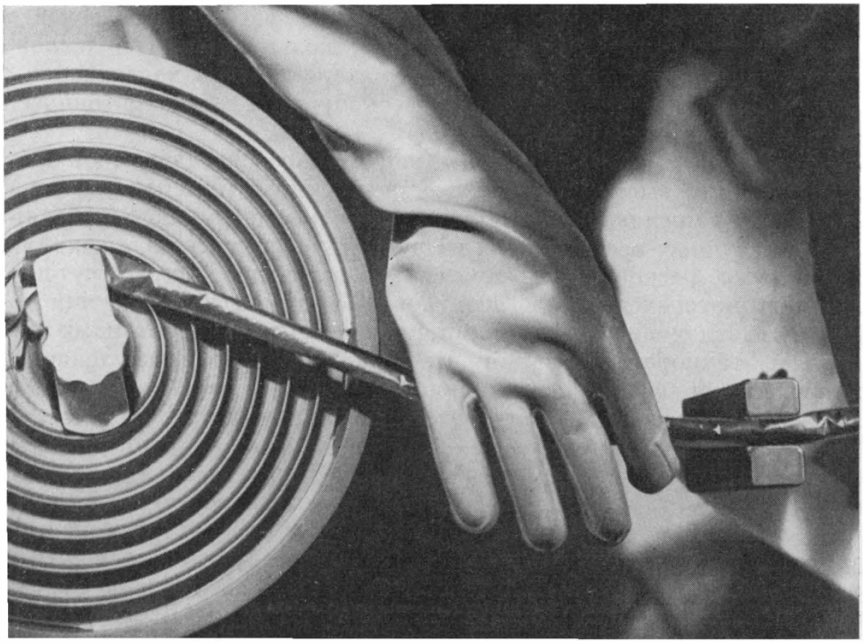


Рис. 26. Грунтонос с грунтом, доставленным автоматической станцией «Луна-24»

об уникальном петрологическом характере этих пород на фоне базальтовых пород других районов Луны, о возможной важной роли метеоритной бомбардировки в их образовании. Тщательный химический анализ вещества, датирование образцов из разных слоев, их сопоставление с результатами исследований пород из разных районов Луны будут несомненно способствовать лучшему пониманию ее древней истории и современного внутреннего строения.

17 ноября 1970 г. автоматической станцией «Луна-17» был доставлен на поверхность Луны первый в истории дистанционно управляемый самоходный аппарат «Луноход-1» — прообраз планетоходов будущего. Это позволило в течение почти года детально обследовать район в северо-западной части Моря Дождей, прилегающий к месту посадки «Луны-17» (38° 17′ с. ш., 35° 00′ з. д.). Оно характерно для наиболее типичного кольцевого «моря», окаймленного береговыми горными хребтами.

16 января 1973 г. внутрь 55-километрового кратера Лемонье, расположенного на восточной окраине Моря Ясности (25° 51′ с. ш., 30° 27′ в. д.), с помощью автоматической станции «Луна-21» был доставлен второй са-

моходный аппарат «Луноход-2». Этот район по своей геологической природе существенно отличается от первого, поскольку находится в сложной переходной зоне сочленения «моря» и «материка». Его характерной особенностью также является наличие здесь протяженного тектонического разлома.

Каждый из аппаратов «Луноход» (рис. 27) представляет собой восьмиколесную машину высокой проходимости, несущую герметичный приборный контейнер, предназначенную для длительного функционирования и проведения научных исследований на лунной поверхности в условиях глубокого вакуума, резкой смены температур в течение лунных суток, при малом энергопотреблении. Он оборудован системой дистанционного управления, телевизионными камерами, радиокомплексом, системами энергопитания и терморегулирования. На нем установлено двухскоростное шасси с системой безопасности движения, обеспечивающей автоматическую остановку при предельных углах крена и дифферента. Масса «Лунохода-1» 756 кг, а «Лунохода-2» — 840 кг. Аппарат управлялся операторами из Центра дальней космической связи. Режим движения выбирался в зависимости от структуры поверхности и рельефа местности на основании непрерывно поступающих изображений и с учетом телеметрической информации об углах крена, дифферента, режимов приводов колес и запасов бортовой энергетики. Для передачи панорам окружающего лунного ландшафта и съемки участков звездного неба с целью астроориентации использовались сканирующие телефотометры и телевизионные камеры. В качестве подогревателя газа, циркулирующего внутри герметичного контейнера, использовался изотопный источник, а верхняя часть корпуса с крышкой служила радиатором-охладителем. Внутренняя поверхность крышки представляла собой панель солнечной батареи. В период лунной ночи крышка закрывала радиатор, и тепло из контейнера не излучалось.

За 11 лунных суток (около 10 земных месяцев) «Луноход-1» преодолел расстояние свыше 10,5 км, детально обследовав поверхность общей площадью около 80 тыс. м^2, а «Луноход-2» за 5 лунных суток прошел в условиях более сложного рельефа расстояние около 37 км. Прекращение работы было связано с исчерпанием ресурса бортового изотопного источника.

Работа луноходов на лунной поверхности позволила получить обширную научную информацию. С большой детальностью изучались топография местности по телевизионным съемкам и данным об углах крена и дифферента, морфология и распределение кратерных форм и камней вдоль маршрутов движения, отдельные геолого-морфологические образования, в том числе внутри кратеров, и т. д. При помощи спектрометрической аппаратуры «РИФМА» методом рентгенофлюоресцентного анализа проводилось исследование химического состава грунта. Его физико-механические свойства определялись по данным о взаимодействии колес с грунтом

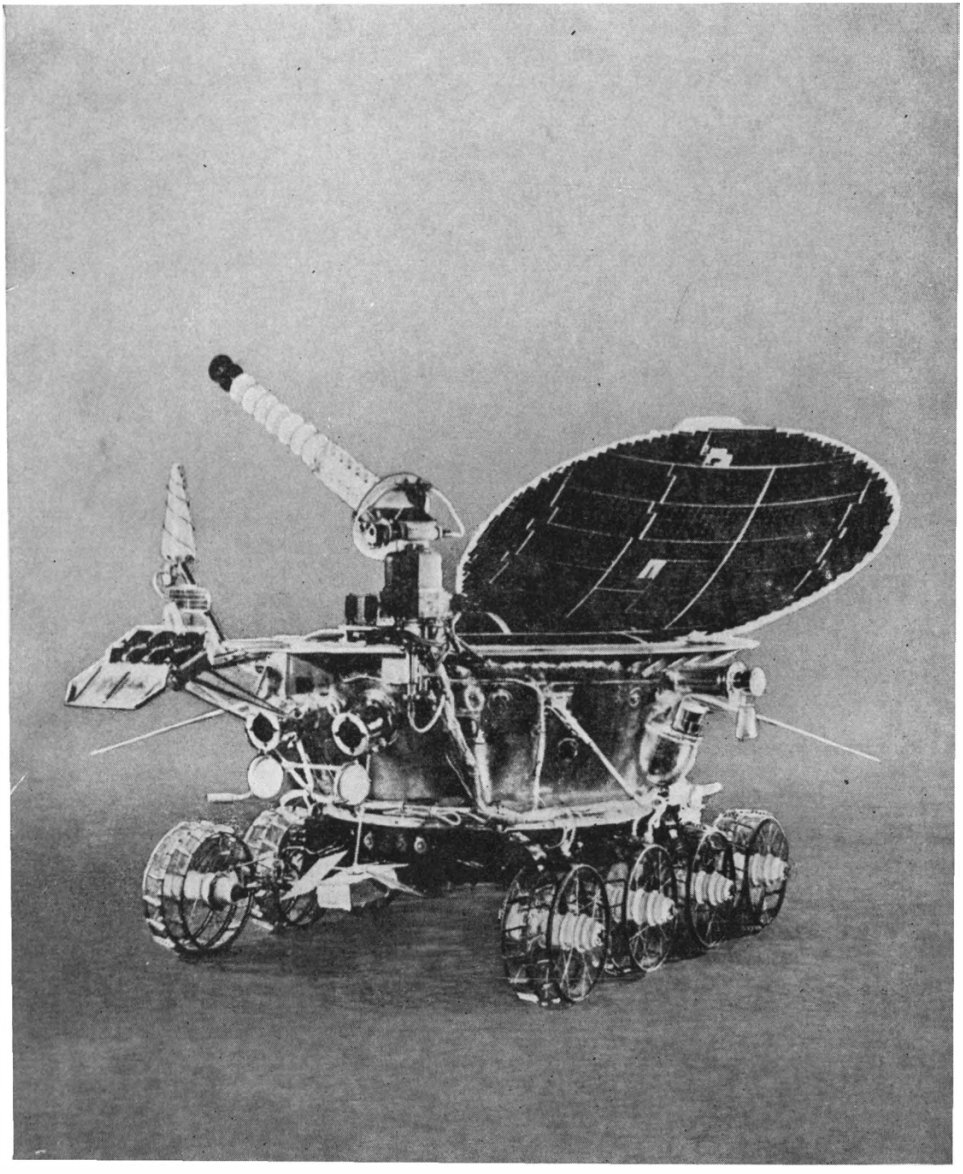


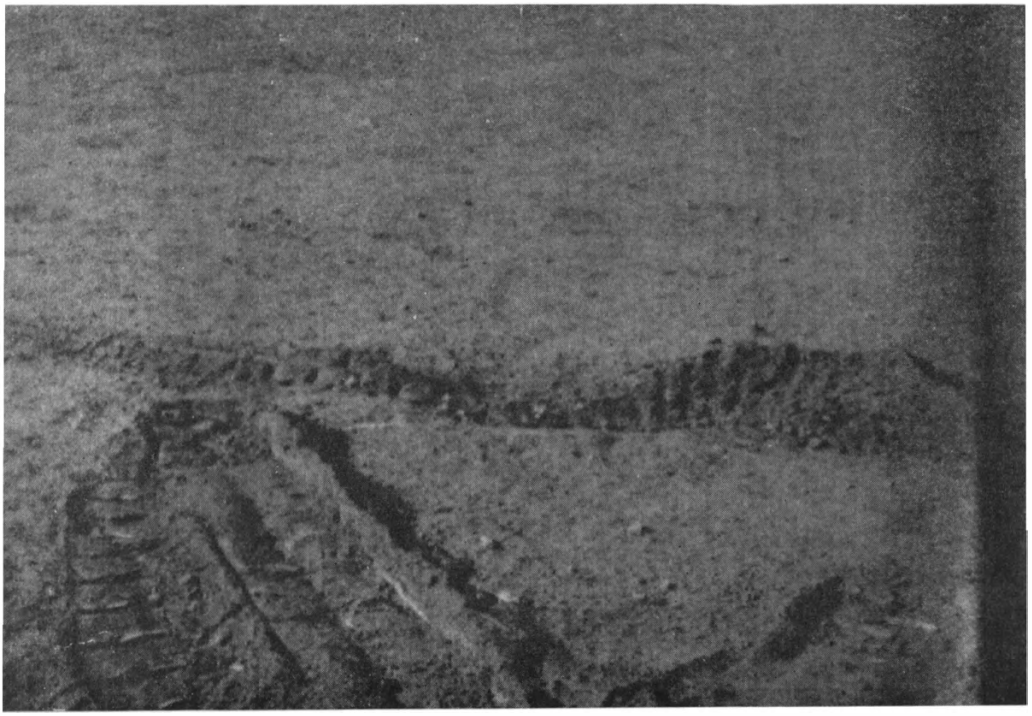
Рис. 27. Самоходный аппарат «Луноход-1»



Рис. 28. Следы лунохода на поверхности Луны

(из анализа изображений следов, рис. 28) и о нагрузке на девятое (свободное) колесо, а также по результатам периодически проводившихся измерений величины внедрения конусно-лопастного штампа-пенетрометра. На «Луноходе-2» при помощи трехкомпонентного феррозондового магнитометра проводились также измерения вариаций магнитного поля, обусловленного остаточной намагниченностью лунных пород, измерения светимости лунного неба при помощи астрофотометра и характеристик космического излучения при помощи радиометра. Эксперименты по лазерной пеленгации и локации имели целью уточнение координат луноходов и параметров орбиты Луны.

Мощность слоя реголита оценена равной от 1 до 6 м в «морских» районах и 5—10 м в более древних, его несущая способность возрастает от 0,2—0,3 Н/см² в самом верхнем слое до 10 Н/см² на глубине 8—10 см. Определения содержаний таких породообразующих элементов, как кремний, железо, кальций, алюминий, магний, титан, калий, подтвердили выводы о



базальтоидном типе слагающих пород «морских» районов и горных пород типа анортозитовых габбро на регионах, примыкающих к «материкам». По содержанию железа и его отношению к другим элементам был прослежен характер перехода от «моря» к «материку». Обнаружена определенная связь собственного магнитного поля Луны с поверхностными структурами и элементного состава пород с отражательными характеристиками лунного материала.

С созданием нового поколения советских лунных автоматов существенно расширились возможности исследований с орбиты искусственных спутников Луны. Выведенные на орбиты с различным наклонением ИСЛ «Луна-19» и «Луна-22» позволили получить значительно более полные данные о параметрах лунного гравитационного поля, в частности изучить эффекты аномалий, обусловливаемых локальными концентрациями массы — масконами; провести радиолокационные эксперименты с целью определения характеристик поверхностного слоя Луны; выполнить обширную

программу фотографирования лунной поверхности; осуществить серию экспериментов по изучению характеристик окололунного пространства. Эти данные существенно дополняют результаты исследований при помощи аппаратов, совершающих посадку на Луну.

Изучение в лабораториях многих стран мира элементного, минералогического, изотопного состава и физических свойств лунного вещества, доставленного на Землю автоматическими станциями «Луна» и экспедициями «Аполлон», подробный анализ и сопоставления особенностей различных геологических структур на поверхности Луны, эксперименты по сейсмозондированию, исследования палеомагнетизма, изучение с орбит ИСЛ разнообразных характеристик лунных полей и условий взаимодействия Луны с окружающим пространством не только раскрывают многие тайны нашего естественного спутника, но и дают ключ к пониманию ранней истории Земли.

VIII
ПОЛЕТЫ К ПЛАНЕТАМ

Можно без преувеличения сказать, что меньше чем за десятилетие исследований планет при помощи космических аппаратов человечество узнало о них несравненно больше, чем за столетия астрономических наблюдений. Наибольший прогресс достигнут в изучении ближайших к Земле планет — Венеры и Марса.

18 октября 1967 г. автоматическая станция «Венера-4» вошла в атмосферу Венеры и после аэродинамического торможения начала снижаться на парашюте. Впервые на Землю передавались данные о температуре, давлении, химическом составе атмосферы планеты, практически недоступные астрономическим средствам исследований, так как Венера закрыта от земного наблюдателя сплошными облаками. Температура и давление плавно нарастали, пока не достигли значений 270° С и 18 атм. На такое предельное давление рассчитывалась оболочка спускаемого аппарата. Между тем до поверхности оставалось еще свыше 20 км, а это означало, что у поверхности температура и давление значительно выше. В дальнейшем этот вывод был многократно подтвержден новыми измерениями в атмосфере и на поверхности Венеры. Чтобы оценить всю значимость этих первых экспериментов, достаточно сказать, что прежде неопределенность в оценках давления атмосферы у поверхности достигала почти трех порядков величины; было до конца неясно, каким физическим механизмом обусловлена обнаруженная в конце 50-х годов необычайно высокая радиояркостная температура этой планеты, какова толщина атмосферы, т. е. где находится поверхность.

Полеты автоматических станций «Венера-5» и «Венера-6», совершивших парашютный спуск в атмосфере планеты 16 и 17 мая 1969 г., существенно уточнили и дополнили данные «Венеры-4», расширив участок непосредственных измерений. По результатам этих полетов была создана модель атмосферы Венеры, положенная в основу проектирования венерианских посадочных аппаратов (рис. 29).

Стало ясно, что Венера обладает необычайно плотной горячей атмосферой, почти целиком состоящей из углекислого газа. Измерения при помощи бортовых газоанализаторов дали величину его содержания 97% (с возможной ошибкой ±3%) и установили верхний предел содержания азота менее 3—5%. По измерениям при помощи комплекса термометров сопро-

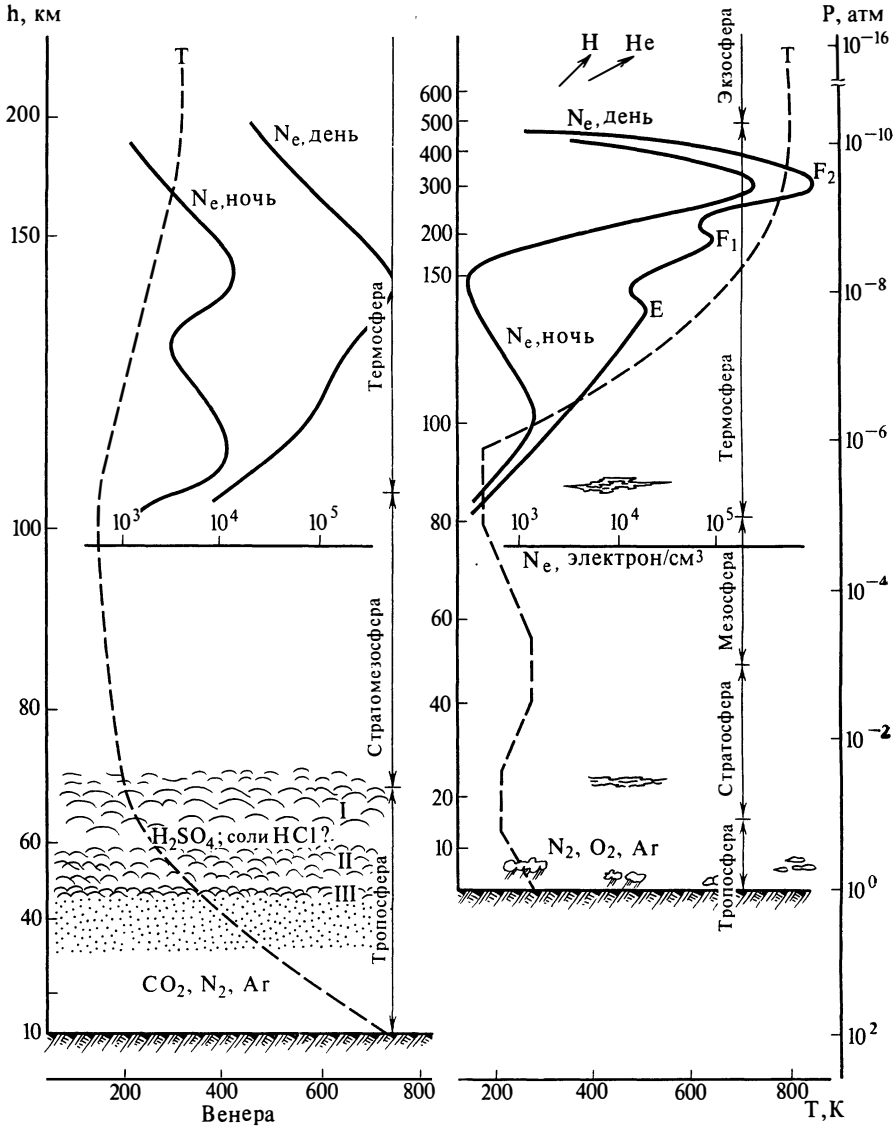


Рис. 29. Модель атмосферы Венеры (слева) и Земли (справа)

Ne — электронная концентрация, *T* — температура, *P* — давление

тивления и анероидных манометров был сделан вывод, что температура у поверхности достигает 460° С, давление 90 атм. Посадка на планету в столь тяжелых условиях окружающей среды и передача с нее научной информации представляют сложную инженерную задачу, которая впервые была успешно решена при полетах автоматических станций «Венера-7» и «Венера-8». «Венера-7» достигла поверхности на ночной стороне 15 декабря 1970 г., а «Венера-8» опустилась на освещенную сторону вблизи утреннего терминатора 22 июля 1972 г. и проработала на поверхности около часа.

По своей конструкции автоматические станции «Венера-4—8» примерно аналогичны. Они создавались путем постепенной модификации «базового» космического аппарата «Венера-3». Общий вид спускаемого аппарата станции «Венера-4» с его основными системами показан на рис. 30. Он расположен в верхней части станции и является центральным звеном комплекса, автоматически решающим все задачи измерений и передачи на Землю научной информации после отделения от орбитального отсека. Орбитальный отсек служит для доставки к планете спускаемого аппарата и обеспечивает работу на всем участке межпланетного перелета. Масса всей станции 1100—1180 кг, масса спускаемых аппаратов 380—475 кг.

Отделение спускаемых аппаратов от орбитального отсека производилось на расстояниях около 20—40 тыс. км от Венеры, и участок аэродинамического торможения начинался при скорости около 11,2 км/с под углами приблизительно 50—70° к местному горизонту. Раскрытие парашютов происходило в момент, когда скорость аппаратов уменьшалась примерно до 210 м/с, при давлении атмосферы $\leqslant 0{,}5$ атм. Использовалась однокаскадная парашютная система с вытяжным парашютом, термостойкий материал которого рассчитывался на температуру до 800 К.

На рис. 31 показан спускаемый аппарат станции «Венера-8». Он содержит внутри герметичный контейнер с аппаратурой, состоящей из радиотелеметрической системы, научных приборов для измерения параметров атмосферы и поверхности, автоматики управления и терморегулирования и источников питания. Снаружи аппарат закрыт теплозащитным покрытием, предохраняющим его от аэродинамического нагрева при входе в атмосферу, и теплоизоляцией, препятствующей интенсивному притоку тепла от горячего газа атмосферы.

Создание спускаемых аппаратов автоматических станций «Венера» потребовало решения ряда сложных научно-технических проблем, проведения многочисленных теоретических и экспериментальных исследований. К ним прежде всего относятся создание конструкции, способной выдержать большие перегрузки при входе в атмосферу (свыше 300 g), проектирование силового корпуса, расчет и испытания высокоэффективных теплоизоляционных и теплозащитных покрытий, включая разработ-



Рис. 30. Спускаемый аппарат автоматической станции «Венера-4»

ку методик и специальных установок для испытаний аппаратов в наземных условиях. Одна из таких установок, предназначенная для моделирования процесса спуска в атмосфере Венеры, показана на рис. 32. Все это позволило выбрать оптимальные параметры конструкции и материалов.

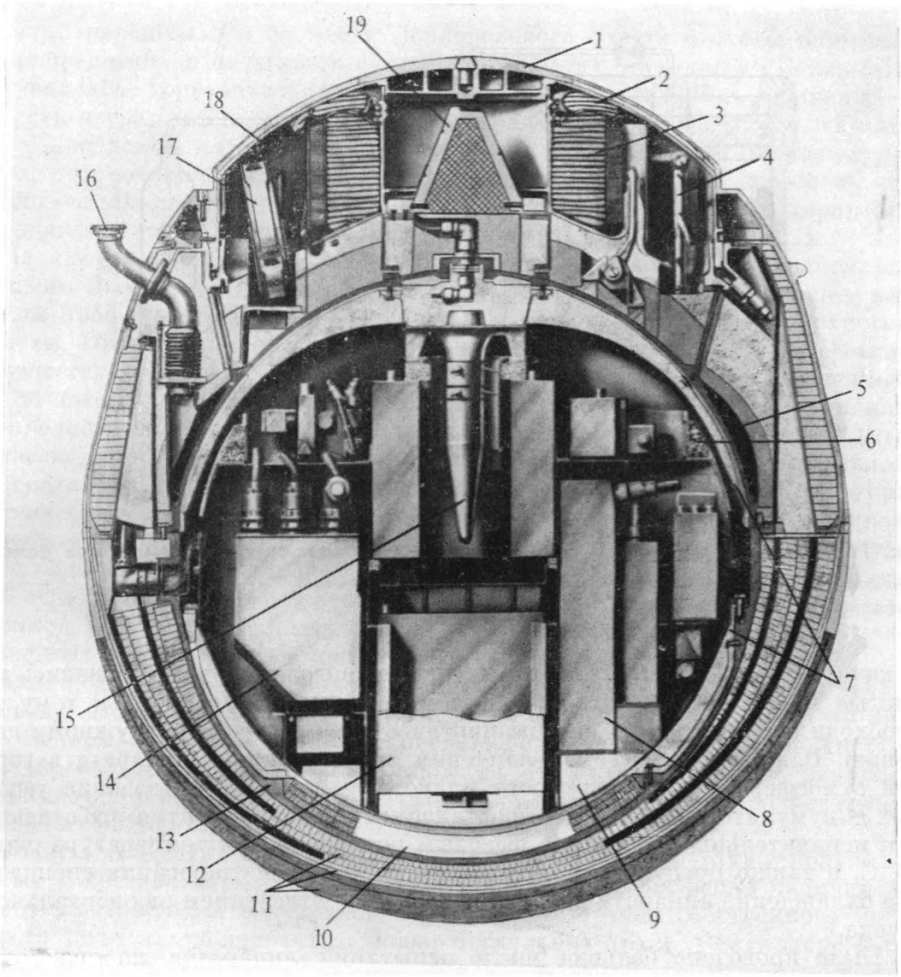


Рис. 31. Спускаемый аппарат автоматической станции «Венера-8» (разрез)

1 — крышка парашютного отсека, *2* — вытяжной парашют, *3* — основной парашют, *4* — антенна радиовысотомера, *5* — теплообменник, *6, 9* — теплоаккумуляторы, *7* — внутренняя теплоизоляция, *8* — программно-временно́е устройство, *10* — демпфер, *11* — внешняя теплоизоляция, *12* — радиопередатчик, *13* — корпус приборного отсека, *14* — блок коммутации, *15* — вентилятор, *16* — трубопровод системы терморегулирования, *17* — антенна передатчика (дополнительная), *18* — парашютный отсек, *19* — антенна передатчика (основная)

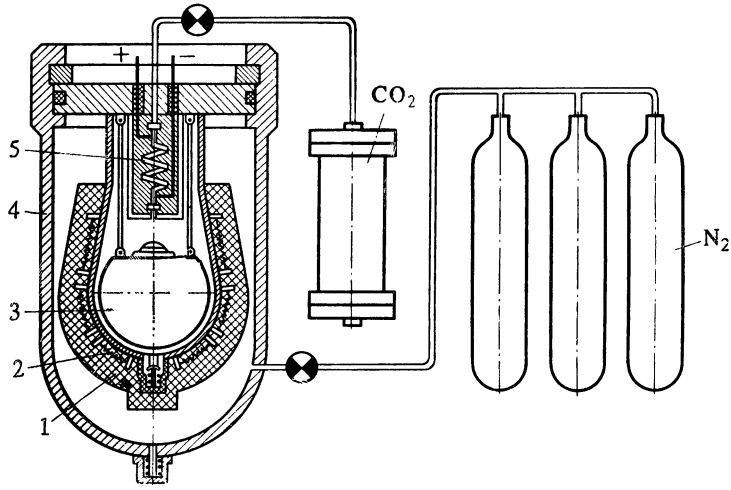


Рис. 32. Установка для тепловых испытаний и имитации спуска в атмосфере Венеры

1 — теплоизолятор, *2* — электронагреватель, *3* — спускаемый аппарат, *4* — корпус камеры, *5* — подача газа с подогревом

В качестве наиболее эффективных для теплоизоляции использовались пористые и изготовленные в виде сот материалы, обладающие к тому же необходимой прочностью, чтобы противостоять высокому наружному давлению. Важным средством увеличения времени жизни аппарата в горячей атмосфере и на поверхности планеты явилось использование тепловых аккумуляторов на основе кристаллогидратов солей лития, работавших как испарительные системы с фазовым переходом при температуре около 30° С, а также предусмотренное в системе терморегулирования специальное охлаждение аппарата до −10° С перед его отделением от орбитального отсека.

Было проведено большое число испытаний аппаратов на прочность, испытаний работы автоматики спуска и работоспособности парашютной системы в условиях земной атмосферы.

Измерения атмосферных параметров проводились при помощи комплекса газоанализаторов, термометров сопротивления и анероидных манометров. Исследование термодинамического состояния газа в атмосфере по данным этих измерений привело к важному выводу о том, что во всей области высот от поверхности до ~ 50 км атмосфера сохраняется адиабатической, в ней происходит интенсивное конвективно-циркуляционное перемешивание. Были получены оценки предельных значений скоростей верти-

кального переноса. По величине доплеровского сдвига частоты бортовых радиопередатчиков на всех спускаемых аппаратах, начиная с «Венеры-4», определялась горизонтальная составляющая атмосферных движений — скорость ветра, что позволило прийти к ряду важных следствий, связанных с проблемой планетарной циркуляции. При помощи гамма-спектрометра, установленного на «Венере-8», практически тем же методом, что использовался па «Луне-10», были получены первые данные о характере венерианских поверхностных пород в месте посадки аппарата.

На «Венере-8» впервые были также измерены значения солнечного светового потока, проникающего в подоблачную атмосферу, получен высотный профиль его ослабления и оценки освещенности на поверхности планеты. Проведение такого эксперимента на спускаемом аппарате было, по существу, единственной возможностью узнать, проникает ли солнечный свет до поверхности или целиком поглощается уже на уровне облаков, как это предполагалось в некоторых теоретических моделях. Оказалось, что оптическая плотность атмосферы уменьшается с ростом молекулярной плотности, так что в диапазоне высот от поверхности до 32 км атмосфера практически прозрачна, и свет в ней ослабляется по закону молекулярного (релеевского) рассеяния в углекислом газе. Выше 32 км и особенно выше 49 км обнаружилось более значительное ослабление света, что было объяснено существованием здесь аэрозолей облаков. Эти первые оценки протяженности, структуры и плотности облаков позднее были полностью подтверждены новыми экспериментальными данными.

Анализ суммарного ослабления света в атмосфере и облаках привел к выводу, что не менее 2—3% от величины солнечной постоянной на орбите Венеры проникает до поверхности и, следовательно, у поверхности довольно светло — примерно как у нас на Земле, когда Солнце закрыто облаками. Это позволило подготовить эксперимент по получению фототелевизионных панорам с поверхности Венеры.

Полеты автоматических станций «Венера» позволили также получить данные о составе верхней атмосферы, плотности ионосферы, наличии у Венеры протяженной водородной короны и отсутствии собственного магнитного поля напряженностью более нескольких гамм. Ряд интересных сведений об атмосфере и околопланетном пространстве дали пролеты вблизи Венеры американских космических аппаратов «Маринер-5» и «Маринер-10». Переданные с «Маринера-10» фототелевизионные изображения в ультрафиолетовых лучах облачного покрова Венеры, содержащие информацию о характере и структуре зональных и меридиональных течений, расширили представления об особенностях четырехсуточной циркуляции на уровне облаков.

Новый этап в исследовании Венеры был открыт запуском в июле 1975 г. автоматических станций «Венера-9» и «Венера-10», воспринявших весь положительный опыт их предшественниц. Впервые на орбиты вокруг

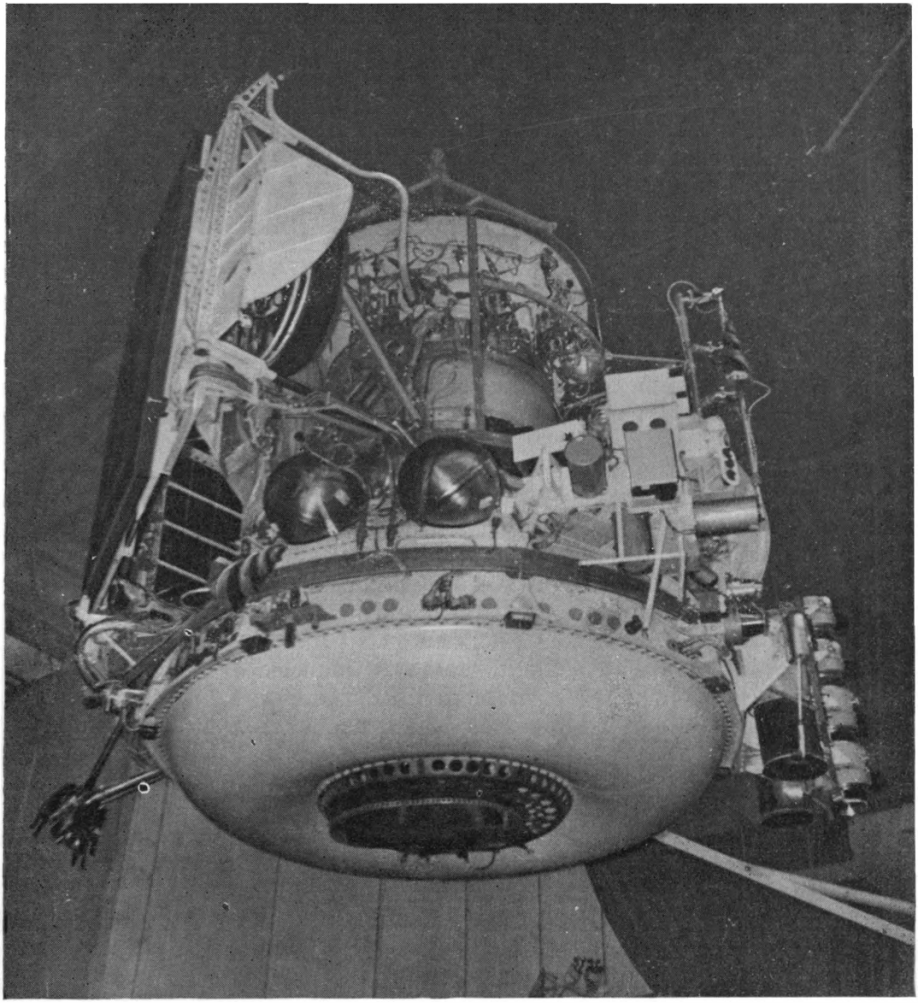


Рис. 33. Автоматическая межпланетная станция «Венера-9, 10»

Венеры были выведены два искусственных спутника и одновременно произведена мягкая посадка двух спускаемых аппаратов в различных районах. Тем самым осуществлен сложный комплексный эксперимент по изучению характеристик этой планеты на поверхности, в атмосфере, в облачном слое и в окружающем космическом пространстве.

Обе станции, аналогичные по конструкции и составу научной аппаратуры, принадлежат к новому поколению советских планетных автоматов (рис. 33). У них есть общие черты с марсианскими автоматическими станциями, однако в силу совершенно различных природных условий на Венере и Марсе посадочные аппараты этих станций принципиально отличаются друг от друга. К этому же новому поколению принадлежат автоматические станции «Венера-11» и «Венера-12», запущенные в сентябре 1978 г.

Спускаемые аппараты станций «Венера-9 и 10» (рис. 34) совершили посадку на освещенной, невидимой в это время с Земли поверхности Венеры 22 и 25 октября 1975 г. Передача научной информации проводилась через спутник-ретранслятор (рис. 35). Была изменена не только конструкция спускаемого аппарата, но и схема спуска в атмосфере (рис. 36). Нужно было удовлетворить двум противоречивым требованиям: с целью изучения облачного слоя аппарат должен был медленно опускаться на большой высоте, где плотность атмосферы сравнительно невелика, и в то же время быстро пройти основную толщу атмосферы, с тем чтобы аппарат не успел сильно нагреться. Это достигалось за счет использования вначале парашютной системы, а затем, после ее отделения,— специального аэродинамического щитка.

Спускаемый аппарат входит в атмосферу под углом около 20°, и после аэродинамического торможения на высоте около 65 км производится отстрел крышек парашютных отсеков с одновременным вводом в действие вытяжного парашюта и парашюта увода верхней части теплозащитного корпуса. Скорость спуска при этом снижается от 250 до 150 м/с. Затем раскрывается тормозной парашют, включается радиокомплекс и начинается передача информации. Через 15 с, после уменьшения скорости до ~50 м/с, на высоте около 62 км вступает в действие трехкупольный основной парашют общей площадью 180 м², и через 4 с после этого отделяется нижняя полусфера теплозащитного корпуса. Спуск на парашютах продолжается около 20 мин, после чего на высоте около 50 км они сбрасываются. При этом скорость спуска вначале возрастает, а вблизи поверхности за счет повышения плотности атмосферы падает до ~7 м/с. Для уменьшения вероятности опрокидывания на сложном рельефе посадка осуществлялась на опорное кольцо, которое одновременно служило и амортизирующим устройством. Масса каждой из станций «Венера-9 и 10» после выхода на траекторию перелета к Венере составляла около 5 т, а каждого спускаемого аппарата с теплозащитным корпусом 1560 кг. Информация с поверхности передавалась в течение 53 мин со спускаемого аппарата станции «Венера-9» и в течение 65 мин со спускаемого аппарата станции «Венера-10».

В результате этих полетов был получен большой объем научных данных, значительно расширивших наши представления о Венере. Впервые

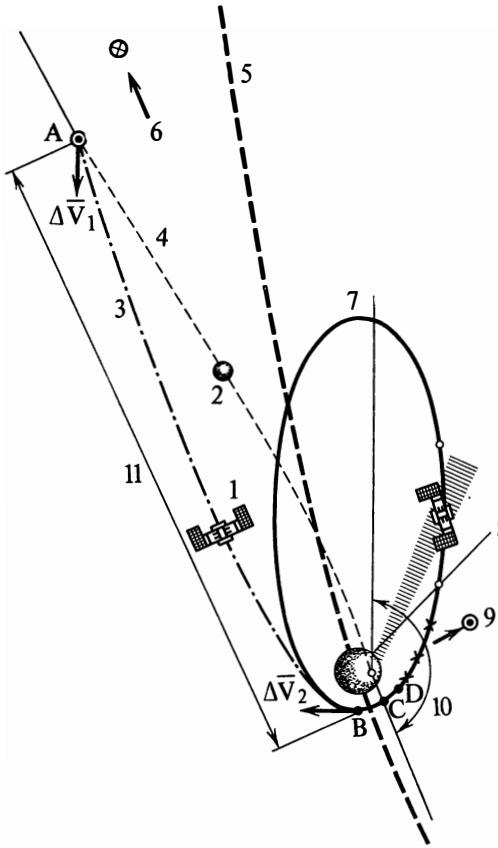


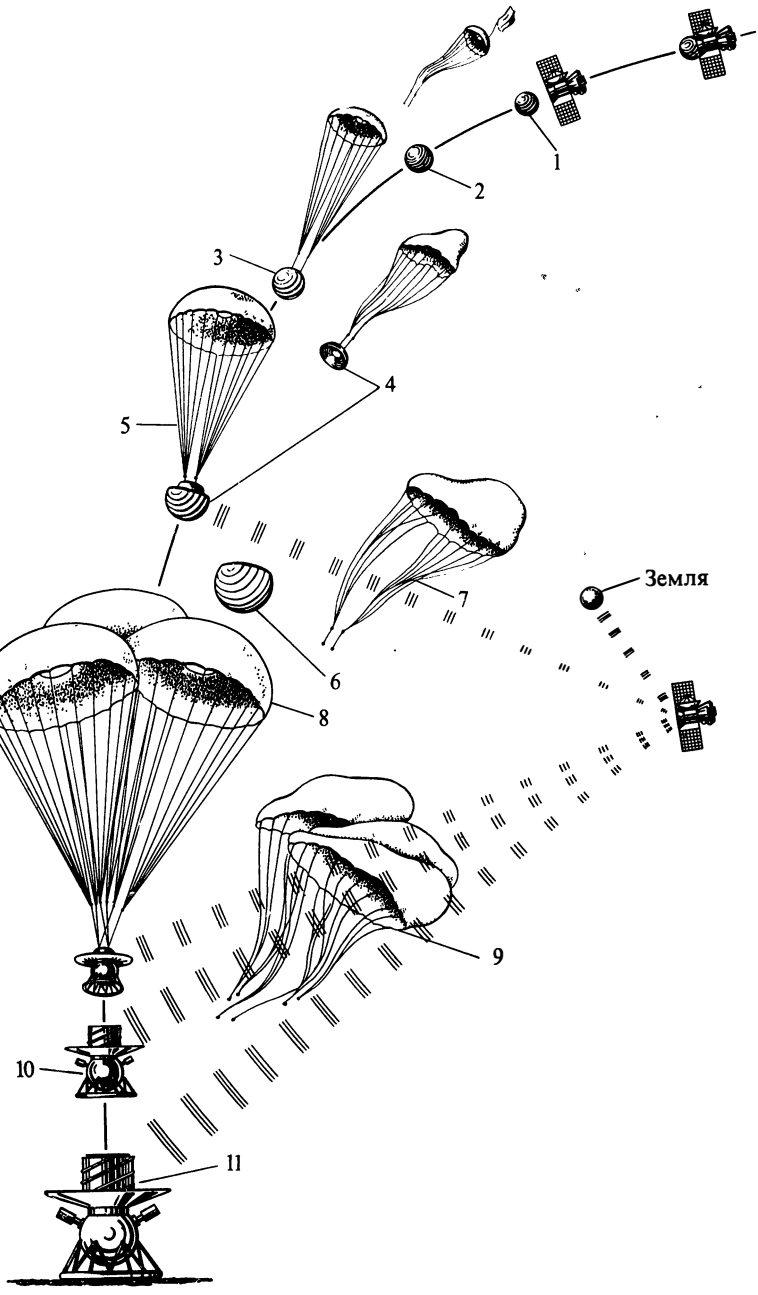
Рис. 35. Схема ретрансляции сигнала через спутник с аппаратов «Венера-9, 10» на поверхности планеты

1 — орбитальный аппарат,
2 — спускаемый аппарат,
3 — подлетная траектория,
4 — посадочная траектория,
5 — орбита Венеры,
6 — направление на Землю,
7 — орбита искусственного спутника Венеры,
8 — прекращение радиовидимости с Земли,
9 — направление на Солнце,
10 — зона радиовидимости орбитального аппарата из точки посадки,
11 — автономный полет (длится 48 ч).
A — импульс $\Delta\overline{V}_1$ разделения и увода орбитального аппарата,
B — импульс $\Delta\overline{V}_2$ торможения при переходе на орбиту искусственного спутника Венеры,
C — начало радиовидимости,
D — начало сеанса радиосвязи со спускаемым аппаратом

▶

Рис. 36. Схема посадки аппаратов «Венера-9, 10» на поверхность планеты

1 — разделение; *2* — вход в атмосферу, баллистический спуск; *3* — отстрел крышки, ввод вытяжного парашюта увода и антенны радиовысотомера; *4* — увод верхней теплозащитной оболочки; *5* — ввод тормозного парашюта, начало передачи информации; *6* — отстрел нижней теплозащитной оболочки; *7* — отстрел тормозного парашюта; *8* — спуск на основном парашюте; *9* — отстрел основного парашюта; *10* — спуск на аэродинамическом тормозном устройстве; *11* — посадка


1
2
3
4
5
6
7
8
9
10
11
Земля

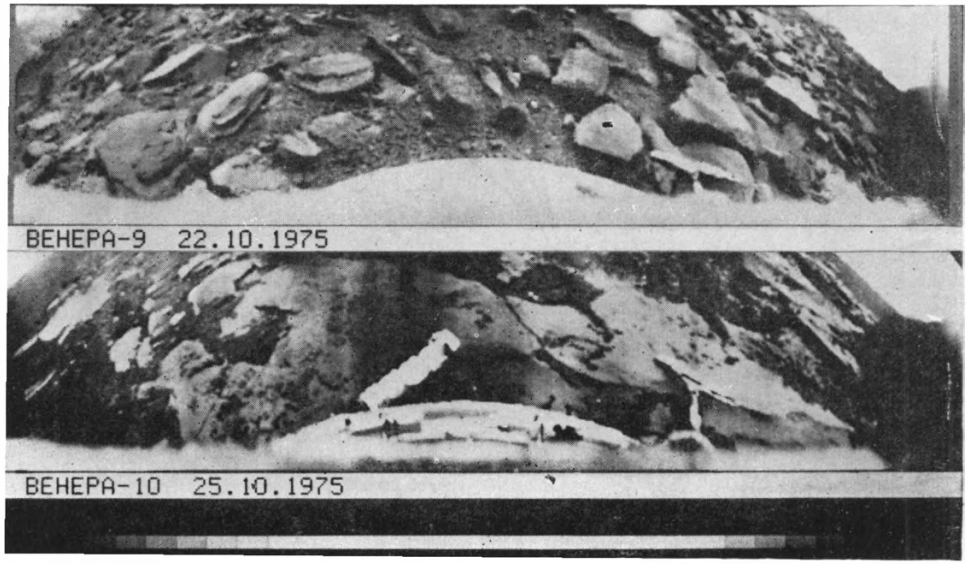


Рис. 37. Первые панорамы поверхности Венеры

на Землю переданы панорамы поверхности двух мест посадки, отстоящих друг от друга почти на 2000 км (рис. 37), получены новые сведения о характере и плотности слагающих пород, проливающие свет на геологическое прошлое и настоящее планеты. На панораме «Венеры-9» видна каменистая осыпь на склоне, на который опустился аппарат. Камни преимущественно размером в десятки сантиметров, с довольно острыми кромками. Их образование, возможно, связано с тектоническими процессами на планете, с большой степенью вероятности сохранившей, подобно Земле, свою геологическую активность. Совершенно иной ландшафт на панораме, переданной «Венерой-10», где видна сглаженная поверхность, видимо более древняя, чем на панораме «Венеры-9». Отчетливо видны выходы коренных пород, покрытые относительно более темным фрагментированным материалом, представляющим собой следы эрозионного воздействия на поверхность планеты.

Измеренные базальтовый состав поверхностной породы и ее плотность определенно свидетельствуют о происшедшей дифференциации вещества венерианских недр.

Подробно исследовались характеристики атмосферы, была оценена глубина суточных вариаций температуры, что имеет важное значение для

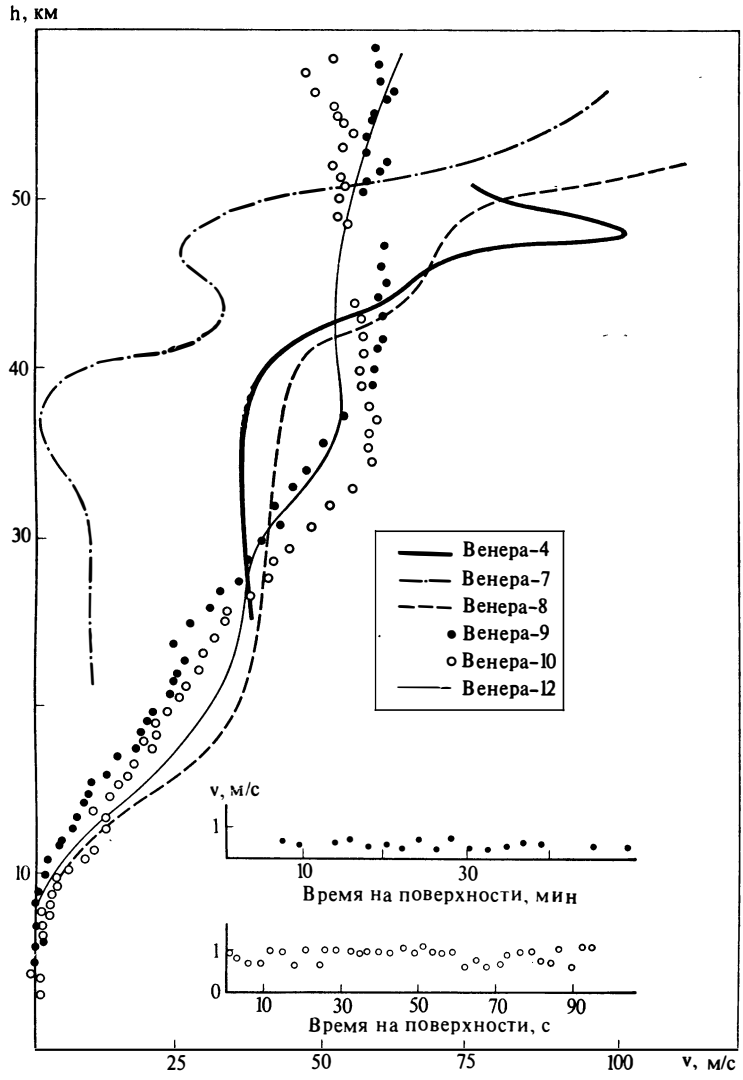


Рис. 38. Изменение скорости ветра с высотой в атмосфере Венеры по данным радиоизмерений на спускаемых аппаратах автоматических станций «Венера»

Внизу — данные измерений скорости ветра на поверхности Венеры при помощи чашечных анемометров

понимания особенностей теплового режима и динамики. Прямыми измерениями при помощи анемометров подтвержден вывод, сделанный ранее на основе доплеровских измерений, о малой скорости ветра у поверхности (<1 м/с). Скорость ветра, однако, нарастает с высотой (рис. 38) и уже вблизи 50 км достигает 50—100 м/с, создавая опережающее вращение атмосферы, в десятки раз превышающее скорость вращения твердого тела планеты. Этот феномен непосредственно связан с системой планетарной циркуляции на Венере, получившей название «карусельной» и прослеживаемой с Земли по движению облаков в ультрафиолетовых лучах.

Значительно подробнее, чем на «Венере-8», исследовано изменение по высоте потоков солнечной лучистой энергии в нескольких спектральных интервалах. Фотометрические измерения показали, что освещенность у поверхности в полдень достигает 10 тыс. лк. При помощи бортовых нефелометров были получены первые сведения о структуре облаков и их микрофизических свойствах. Оказалось, что облака довольно разрежены и вместе с тем пространственно однородны. Выявлено три слоя облаков в пределах 48—70 км с различающимися характеристиками, установлено, что вблизи нижней границы на высотах 48—51 км облака наиболее уплотнены и что ниже, до высоты 32 км, находится слабая подоблачная дымка. В среднем и нижнем слое облаков одновременно присутствуют как мелкие (примерно одномикронные), так и более крупные частицы, обладающие различными показателями преломления, а значит, разной химической природой. Есть серьезные основания для отождествления мелких частиц с капельками концентрированной (~80%-ной) серной кислоты в согласии с ранее выдвинутой гипотезой, основанной на анализе наземных поляриметрических и спектральных измерений. В то же время крупные частицы, вероятнее всего, являются кристаллическими, состоящими из соединений хлора. Значительное содержание хлора в облаках (превышающее содержание серы) было обнаружено в результате измерений при помощи рентгенофлуоресцентного спектрометра на станции «Венера-12». Таким образом, облака Венеры являются весьма специфичным и сложным образованием. Несомненно, что в поддержании их равновесия важную роль играют процессы фотохимии, фазовых превращений и динамики.

В течение длительного времени велись измерения со спутников. Были получены первые оценки параметров гравитационного поля Венеры, давшие свидетельства отсутствия значительных неоднородностей распределения массы в ее недрах. Методом бистатической локации измерялся рельеф планеты вдоль трасс полета спутников, что позволило выявить перепады высот величиной в несколько километров. Посредством измерений характеристик солнечного отраженного и собственного теплового излучения планеты при помощи спектрометров, радиометров и фотополяриметров исследовались свойства и пространственно-временные вариации облачного слоя и надоблачной атмосферы. Были получены спектры собственного ночного

свечения верхней атмосферы, представляющие несомненный интерес с точки зрения определения ее состава и изучения основных фотохимических процессов. Методом радиопросвечивания измерялась плотность атмосферы и ионосферы. Дневная ионосфера Венеры, как и на Земле, оказалась значительно плотнее ночной, однако электронная концентрация в ней почти на порядок меньше, чем в максимуме слоя F_2 земной ионосферы (см. рис. 29). Профиль электронной концентрации, особенно в области ночного максимума на высотах около 140 км, подвержен значительным суточным вариациям.

Большой комплекс приборов был установлен для изучения магнитных полей, энергетических спектров и интенсивностей потоков электронов и ионов как вблизи планеты в зоне обтекания ее солнечным ветром, так и одновременно в невозмущенных областях. С этой целью спутники были выведены на эллиптические орбиты, ориентированные таким образом, чтобы перицентру одного соответствовал в тот же период времени апоцентр другого. Соответственно исследовались основные характерные области — невозмущенная солнечная плазма, ударная волна, заторможенная плазма около планеты, зона возможного взаимодействия солнечной плазмы с верхней атмосферой Венеры, зоны оптической и корпускулярной тени. Показано, что вследствие отсутствия у Венеры заметного собственного магнитного поля за счет натекания плазмы солнечного ветра ионосфера на дневной стороне сильно поджата к планете, и образуется область индуцированных электрических токов — ионопауза, лежащая за фронтом ударной волны. Толщина этой промежуточной зоны порядка 100 км, потоки ионов здесь имеют низко- и высокоэнергичные составляющие и подвержены сильным вариациям.

Очередной шаг в исследовании Венеры был сделан в результате полетов автоматических станций «Венера-11» и «Венера-12», спускаемые аппараты которых совершили посадку на планету 21 и 25 декабря 1978 г. В том же месяце была осуществлена серия экспериментов в атмосфере Венеры и околопланетном пространстве на американских аппаратах «Пионер-Венера».

Эти полеты позволили прежде всего существенно уточнить химический состав атмосферы благодаря серии измерений при помощи бортовых масс-спектрометров и газовых хроматографов (их результаты не полностью согласуются между собой, по-видимому, из-за различий в калибровке). Подтверждено, что на 96% атмосфера Венеры состоит из углекислоты и содержит около 4% азота. Измерены содержания малых атмосферных примесей — угарного газа, кислорода, водяного пара, а также серы, хлора и содержащих их соединений. Наиболее важное значение имеют полученные данные об абсолютных содержаниях инертных газов — аргона, неона, криптона — и об изотопном составе аргона (рис. 39). В последнем обнаружился совершенно аномальный характер по сравнению с атмосферами Земли и

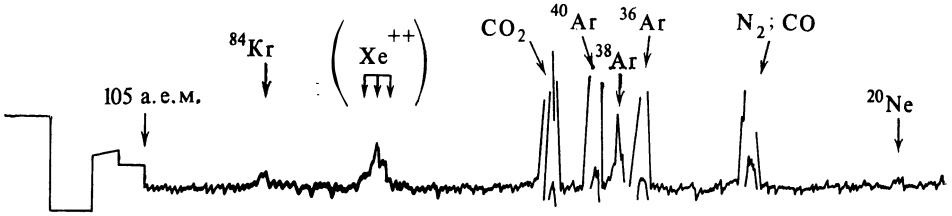


Рис. 39. Масс-спектр газового состава атмосферы Венеры по данным измерений на станции «Венера-11»

По оси абсцисс — а. е. м. (атомные единицы массы)

Марса — отношение содержания радиогенного изотопа ^{40}Ar к суммарному обилию первичных изотопов ^{36}Ar и ^{38}Ar порядка единицы, в то время как на Земле это отношение в 300, а на Марсе даже в 3000 раз больше. Этот результат имеет важные следствия для проблемы планетной космогонии, геологической и атмосферной эволюции.

Были дополнительно уточнены спектральные характеристики рассеянного солнечного излучения в атмосфере Венеры и их изменение с высотой, свойства облаков. По величине поглощения солнечного света в характерных полосах CO_2 и H_2O получены данные о содержании в подоблачной атмосфере Венеры водяного пара. Несомненный интерес представляет обнаружение сильной электрической активности в атмосфере Венеры. Анализ характеристик напряженности электромагнитных полей, измерявшихся в процессе спуска «Венеры-11, 12», привел к выводу, что зарегистрированные импульсные поля действительно связаны с процессами в атмосфере, а частота следования импульсов намного превышает наблюдающуюся при земных грозах (рис. 40). Эти результаты будут способствовать лучшему пониманию механизма грозообразования и природы атмосферного электричества. Ряд интересных сведений о нейтральном и ионном составе атмосферы и ионосферы Венеры, о суточных вариациях температуры и плотности верхней атмосферы, тепловом режиме и атмосферной динамике дали исследования на аппаратах «Пионер-Венера».

Важно отметить, что все навигационные расчеты и управление полетом станций «Венера-11 и 12» осуществлялись с использованием новой теории движения Земли и Венеры, построенной по результатам проводившихся в нашей стране высокоточных радиолокационных наблюдений и длительных измерений параметров движения искусственных спутников «Венера-9 и 10» при различном взаимном расположении планет. Новая теория, описывающая орбитальное геоцентрическое движение Венеры с ошибкой не более 3—6 км (по сравнению с 500 км в рамках клас-

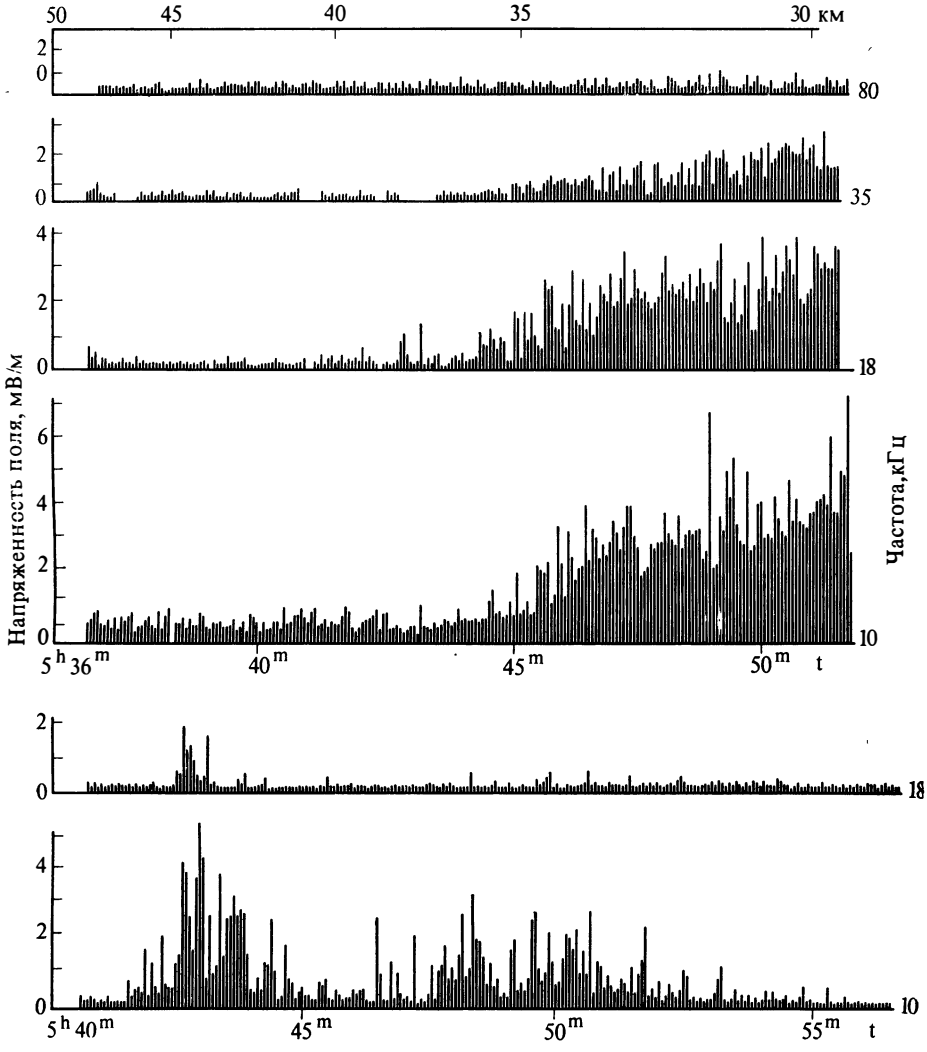


Рис. 40. Напряженности электромагнитных полей, регистрировавшиеся в процессе спуска аппаратов станций «Венера-11 и 12», свидетельствующие о грозовой активности в атмосфере Венеры

По оси ординат регистрируемая напряженность электромагнитного поля в соответствующей полосе частот, по оси абсцисс — время приема сигнала на Земле

сических теорий), полностью выдержала экспериментальную проверку и подтвердила свою высокую эффективность.

Не меньший интерес, чем Венера, всегда привлекала к себе другая из ближайших к Земле планет — Марс, будораживший длительное время воображение возможностью его обитаемости разумными существами. Для наземных наблюдений Марс гораздо более благоприятен, чем Венера, однако даже в лучшие телескопы на его поверхности невозможно различить детали протяженностью менее 500 км.

Первые фотоснимки ограниченных участков поверхности южного полушария с разрешением в десятки километров, переданные американскими аппаратами «Маринер», дали повод к проведению определенных аналогий между Марсом и Луной. О Марсе стали говорить как о мертвой планете в биологическом и геологическом смысле, интерес к его изучению несколько снизился.

В конце 1971 г. на околомарсианские орбиты были выведены сразу 3 искусственных спутника — советские «Марс-2» и «Марс-3» и американский «Маринер-9». Исследования были продолжены в 1974 г. с пролетного аппарата «Марс-4» и с орбиты искусственного спутника «Марс-5», выведенного на примерно суточную орбиту вокруг Марса 12 февраля 1974 г. Они внесли большой вклад в развитие современных представлений о природе Марса, заставив по-новому взглянуть на многие особенности структуры поверхности, ее взаимодействие с атмосферой, на геологическую историю этой планеты.

В эти же годы были предприняты первые попытки осуществить мягкую посадку на поверхность Марса. Поскольку энергетические возможности запуска к Марсу в 1971 г. были более благоприятны, чем в 1973 г., автоматические станции «Марс-2» и «Марс-3», в состав которых входили искусственный спутник Марса и спускаемый аппарат, запускались одной ракетой-носителем, а в 1973 г. использовалась раздельная схема запуска. Общий вид автоматический станции «Марс-3» показан на рис. 41. На рис. 42 показана компоновка основных систем спускаемого аппарата, а на рис. 43 изображена схема посадки спускаемого аппарата станции «Марс-6» на планету.

Процесс посадки начинался после третьей коррекции траектории движения, осуществляемой при подлете к Марсу автономно, с использованием системы астронавигации и бортовой электронно-вычислительной машины. Затем спускаемый аппарат отделялся, а орбитальный аппарат продолжал независимое движение вплоть до включения в заданный момент времени его двигателя с целью перевода с пролетной траектории на орбиту искусственного спутника Марса. Спустя 15 мин после отделения включался двигатель спускаемого аппарата, переводивший его на траекторию встречи с планетой, и производился разворот для обеспечения требуемого угла атаки при входе в атмосферу.

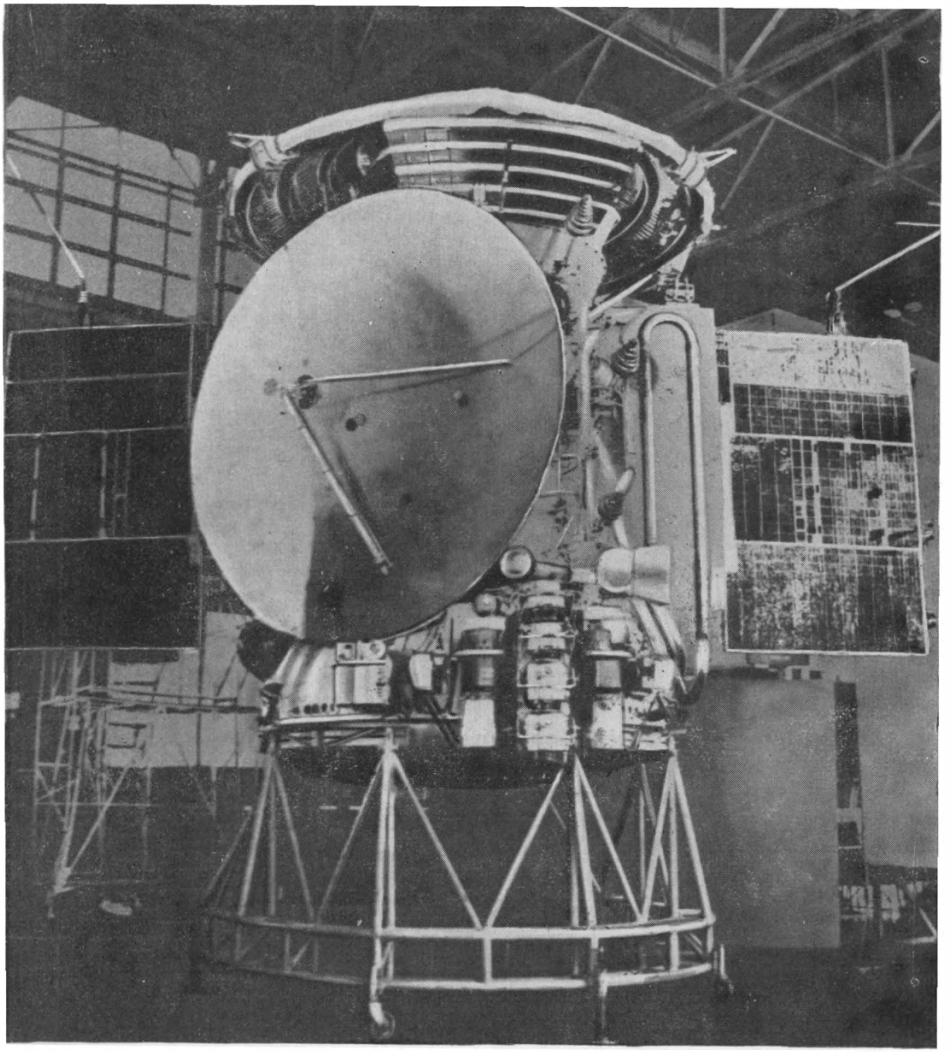


Рис. 41. Автоматическая станция «Марс-3»

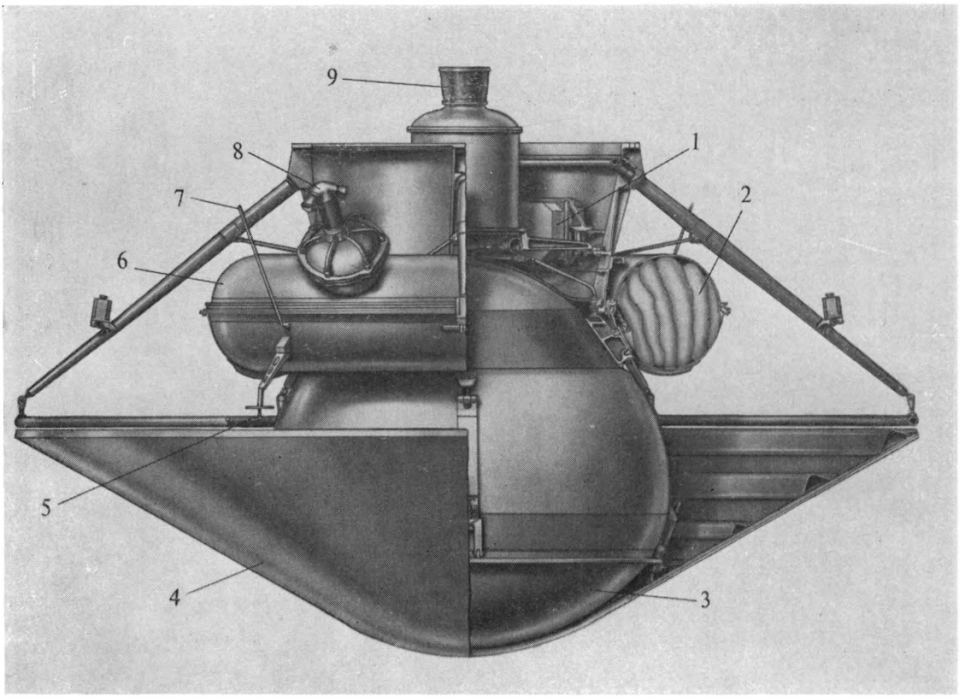


Рис. 42. Внутренний вид и компоновка основных систем на спускаемом аппарате автоматической станции «Марс-6»

1 — приборы и аппаратура системы автоматического управления; *2* — основной парашют; *3* — автоматическая марсианская станция; *4* — аэродинамический тормозной конус; *5* — антенна радиовысотомера; *6* — парашютный контейнер; *7* — антенны связи с орбитальной станцией; *8* — двигатель ввода вытяжного парашюта; *9* — двигатель увода спускаемого аппарата

Выбранная форма аппарата с тормозным конусом обеспечивала устойчивость движения на участке входа в атмосферу и гашение скорости за счет аэродинамического торможения. На высоте порядка 5 км, еще на сверхзвуковой скорости, по команде от датчика перегрузки и с помощью порохового двигателя вводился сперва вытяжной, а затем основной парашют с зарифованным куполом. Полное раскрытие парашюта (разрифовка) происходило тогда, когда аппарат затормаживался до околозвуковой скорости. Одновременно сбрасывался аэродинамический конус, раскрывались антенны радиовысотомера мягкой посадки и происходила так называемая перецепка — вывод двигателя мягкой посадки. Он срабатывал по

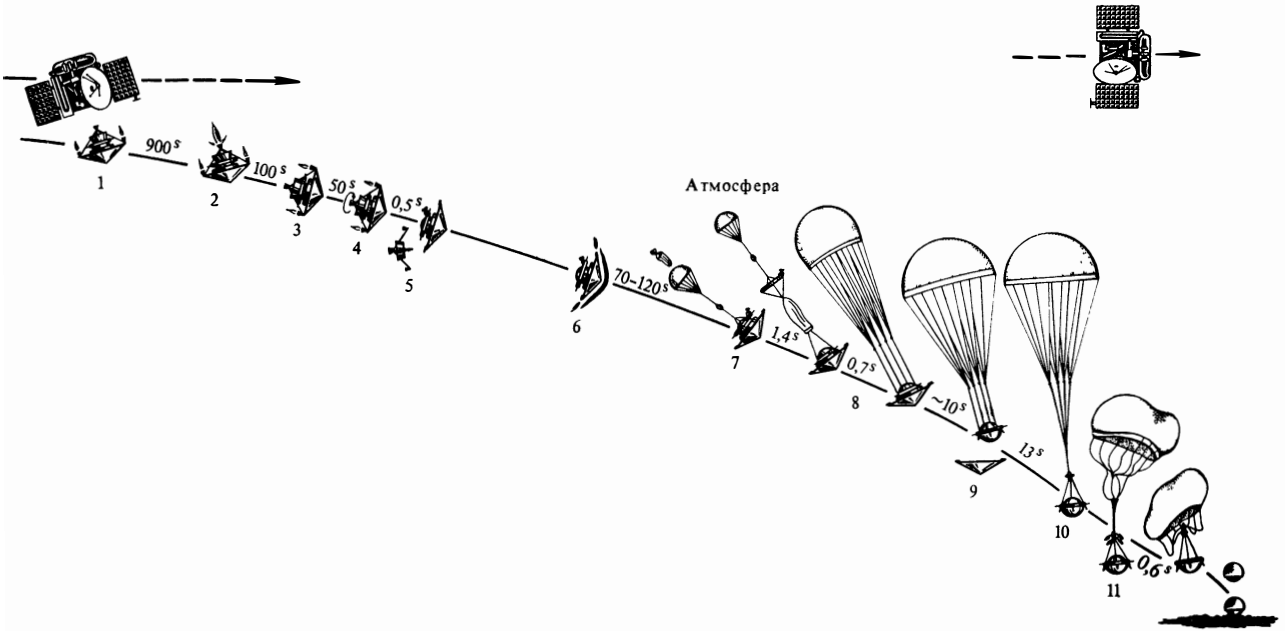


Рис. 43. Схема посадки спускаемого аппарата станции «Марс-6» на планету

1 — отделение спускаемого аппарата; *2* — выключение двигателя увода; *3* — начало программы разворота спускаемого аппарата; *4* — закрутка спускаемого аппарата; *5* — отделение фермы; *6* — останов закрутки; *7* — начало введения парашютной системы и отработка программы посадки; *8* — введение основного парашюта, включение радиокомплекса и научной аппаратуры; *9* — разрифовка парашюта, отделение аэродинамического конуса, включение радиовысотомера; *10* — вывод двигателей мягкой посадки, перецепка парашютной системы; *11* — включение двигателей мягкой посадки, конец передачи информации на орбитальный отсек

команде от высотомера на высоте 20—30 м от поверхности, за счет чего посадка на специальное амортизационное устройство обеспечивалась со скоростью не выше 15 м/с. Чтобы спускаемый аппарат не был накрыт парашютом, он уводился в сторону при помощи другого двигателя.

Первая посадка спускаемого аппарата автоматической станции «Марс-3» на поверхность Марса произошла 2 декабря 1971 г. в южном полушарии планеты, между областями Электра и Фаэтония (45° ю. ш., 158° з. д.). Через 1,5 мин после посадки спускаемый аппарат был приведен в рабочее состояние по команде от бортового программно-временно́го механизма, и началась передача информации на спутник, служивший ретранслятором и находившийся в этот период в зоне видимости. Появление видеосигнала со спускаемого аппарата в расчетное время было зафиксировано специальными датчиками в приемных устройствах спутника «Марс-3», одновременно зарегистрировано на двух бортовых магнитофонах и затем передано на Землю. Однако передача с поверхности Марса продолжалась только 20 с, после чего сигнал прервался. Причины внезапного прекращения передачи скорее всего были связаны с происходившей в это время на планете сильной пылевой бурей.

12 марта 1974 г. посадку на поверхность Марса в районе Эритрейского моря (24° ю. ш., 25° з. д.) осуществил спускаемый аппарат автоматической станции «Марс-6». Схема его спуска была аналогична схеме спуска «Марса-3». Анализ полученных данных показал, что весь участок спуска — от входа в атмосферу и аэродинамического торможения до окончания снижения на парашюте — в пределах нескольких секунд от расчетного времени посадки происходил в соответствии с программой и продолжался около 5 мин. Однако сигнала с поверхности получено не было, что предположительно было вызвано посадкой аппарата на сложный рельеф при скорости выше расчетной. При спуске «Марса-6» впервые были произведены непосредственные измерения температуры и давления марсианской атмосферы и одновременно путем измерений доплеровского сдвига частоты бортового передатчика определена скорость ветра. На основе совокупности этих измерений была создана модель атмосферы Марса от поверхности до высоты 80 км для соответствующих суточно-сезонных условий в районе посадки.

Эксперименты советских ученых по осуществлению мягкой посадки на поверхность Марса внесли большой вклад в решение этой сложной проблемы, обеспечив получение необходимого опыта при создании марсианских аппаратов, предназначенных для работы непосредственно в атмосфере и на поверхности планеты.

Искусственные спутники Марса «Марс-3» и «Марс-5» были оснащены комплексом научной аппаратуры для дистанционных исследований поверхности и атмосферы и непосредственного изучения характеристик околопланетного пространства. Измерения излучений планеты проводились

почти во всем диапазоне электромагнитного спектра — от гамма-лучей, из анализа интенсивности которых определялся характер поверхностной породы вдоль трасс орбит спутников, до сантиметровых волн, давших сведения о плотности грунта. Физические свойства поверхностного слоя оценивались также по величине поляризации отраженного излучения. По величине поглощения основной составляющей атмосферы — углекислым газом — собственного теплового излучения определялся рельеф планеты вдоль трасс орбит спутников. Важную информацию о температуре поверхности и атмосферы и ее вариациях дали радиометрические измерения в инфракрасном диапазоне.

Спектрофотометрия в обширной области от ультрафиолетового до ближнего инфракрасного излучения использовалась для исследования газового состава атмосферы, в частности для определения содержаний водяного пара и озона, а также получения данных о составе, температуре и протяженности верхней атмосферы. Магнитометры «Марса-2, 3 и 5» зарегистрировали наличие у Марса магнитного поля, топология которого свидетельствует о его дипольной природе. Напряженность поля у поверхности на экваторе оценивается величиной около 60 гамм. Результаты плазменных измерений в окрестности планеты подтвердили вывод о существовании у Марса собственного поля, что имеет важное значение для понимания строения его недр и проблемы тепловой эволюции.

С аппаратов «Марс-4» и «Марс-5» были переданы фотографии высокого качества с разрешением на некоторых снимках до 100 м, примеры которых показаны на рис. 44. На их основе составлена карта отснятого района поверхности Марса. В результате синтеза снимков, сделанных под разными светофильтрами, получены цветные изображения. Обширная программа фотографирования Марса проведена американскими учеными на аппаратах «Маринер-9» и «Викинг-1, 2», что позволило осуществить глобальное картирование планеты. С посадочных модулей «Викингов» переданы панорамы марсианского ландшафта, проведены исследования физико-химических свойств поверхности и атмосферы, метеорологические наблюдения, биологические эксперименты.

Для понимания природы Марса важнейшее значение имели снимки, сделанные с орбитальных аппаратов. Они привели к выводу, что древние кратерированные ландшафты южного полушария, попавшие на первые фотографии «Маринеров», не характерны для всей планеты. На ней обнаружены явно выраженные следы вулканизма и тектонических процессов, которые наряду с бомбардировкой метеоритами и интенсивной эрозией в условиях высокой сухости марсианской атмосферы привели к созданию уникальных структур, не стертых развитой гидросферой и биосферой, как это имело место на Земле. Совершенно неожиданным явилось обнаружение на поверхности длинных узких ветвящихся долин и ложбин, напоминающих высохшие русла рек, и ряда образований, свидетельствующих о

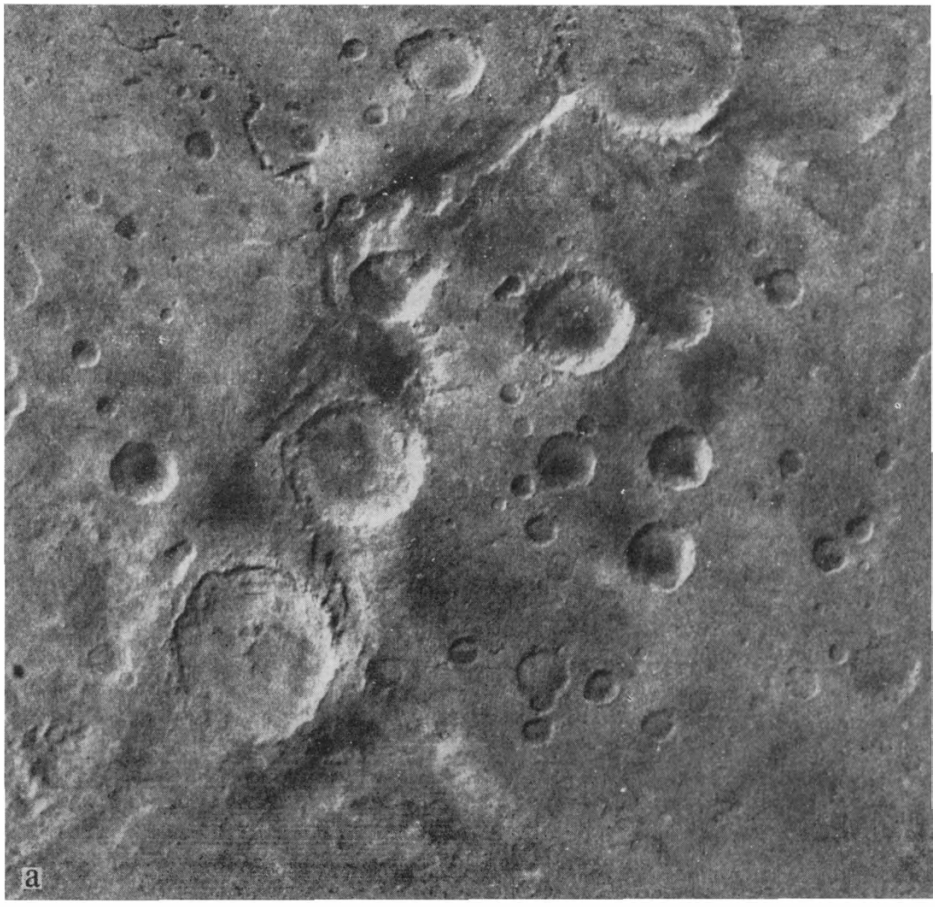
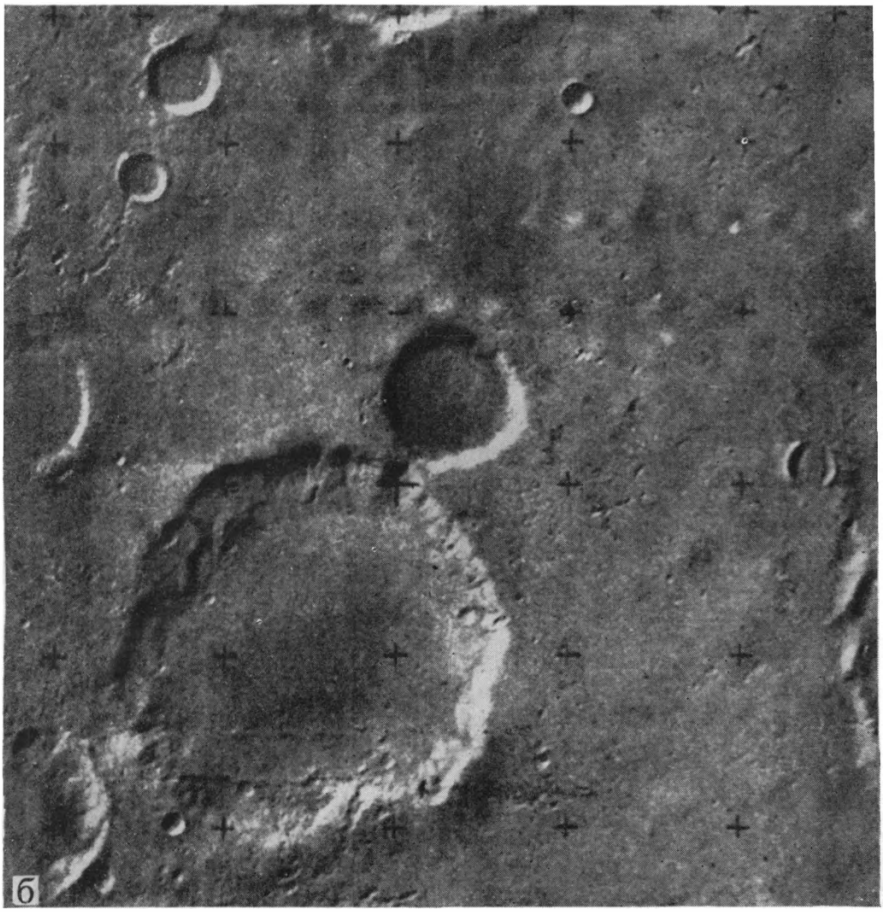


Рис. 44. Два участка поверхности Марса, полученные с разным разрешением (снимки «Марса-5»)

а — снимок участка с координатами центра 33° ю. ш., 37° з. д. (район Эритрейского моря). В правом верхнем углу кратер Холден диаметром ~150 км, к юго-западу от него прослеживается долина Узбой,

существовании подповерхностного льда и движении ледников. Все это остро ставит вопросы о том, когда и какими путями Марс и другие планеты пришли к их современной стадии, каковы особенности их внутреннего строения и палеоклимата. Другими словами, всегда ли планеты были такими, как в современную нам эпоху?



к западу меандрирующая долина Нергал. В центре снимка кратеры Бонд и Хейл; б — снимок участка кратерированной равнины к северо-востоку от кратера Бонд (координаты центра 32° ю. ш., 33° з. д.), для которой характерны неглубокие линейные депрессии на поверхности. Наибольший кратер имеет диаметр ~35 км, у него плоское дно

За последние годы предприняты первые полеты к более удаленным от Земли планетам — Меркурию, Юпитеру и Сатурну. В 1974 г. пролеты около Меркурия совершил космический аппарат «Маринер-10». Переданные фототелевизионные изображения приблизительно трети поверхности этой планеты и обнаружение у Меркурия собственного магнитного поля (по-

рядка 170 гамм по дипольной составляющей) принесли ряд новых данных для развития представлений о его внутреннем строении и тепловой истории планет земной группы. В 1973 и 1974 гг. рекогносцировочные пролеты около Юпитера осуществили американские космические аппараты «Пионер-10» и «Пионер-11», а в 1979 г. вблизи Юпитера прошли аппараты «Вояджер-1» и «Вояджер-2». Большой интерес вызвали прежде всего результаты исследований необычайно мощной магнитосферы этой самой большой планеты Солнечной системы — ее топологии, напряженности магнитного поля, энергетических спектров и процессов ускорения частиц. Переданные фотоизображения Юпитера дали возможность лучше понять сложные процессы планетарной циркуляции, динамику зон и поясов, структуру течений и природу Большого красного пятна. Радиометрические, фотометрические и радиофизические измерения позволили уточнить параметры и структуру атмосферы, физико-химические свойства облаков. Были также уточнены массы Юпитера и его четырех галилеевых спутников, определены гармонические коэффициенты в разложении гравитационного потенциала планеты, а пролет «Вояджера-1» в ноябре 1980 г. около Сатурна принес ряд новых сведений о его кольцах и спутниках. Полученные при пролетах «Вояджеров-1, 2» фотографии галилеевых спутников подтвердили предполагавшиеся существенные различия их поверхностной структуры, отражающие различия внутреннего строения и этапов тепловой эволюции, открыто кольцо Юпитера.

IX
ФИЗИКА ПЛАНЕТ

Анализ современного состояния и особенностей природы планет дает подход к формированию более определенных представлений о начальных этапах их эволюции. Здесь планетная физика непосредственно смыкается с космогонией, основной общепризнанной концепцией которой служит модель образования планет Солнечной системы из приблизительно однородного холодного облака пыли и газа около 4,6 млрд. лет назад.

Обычно предполагается, что первичный состав этого облака, определяемый основным процессом звездного ядерного синтеза вещества протосолнца, был всюду примерно одинаков и соответствовал космической распространенности элементов, иначе говоря такому их относительному содержанию, какое существует на Солнце и в звездах. В дальнейшем неодинаковое распределение температуры в протопланетной туманности на различных удалениях от выделившегося Солнца оказало существенное влияние на условия конденсации газовой фазы и формирование планетной системы. Сохранившиеся различия, нашедшие отражение в характере окислительно-восстановительных реакций, прослеживаются при изучении родоначальных тел планет и астероидов — метеоритов. В наименее измененном виде первичный состав протопланетного облака сохранился в веществе углистых хондритов, в то время как состав минералов в метеоритах других классов (железных, железокаменных, каменных) отражает процессы фракционирования элементов и последовательного выделения высокотемпературной и низкотемпературной фаз. Наиболее тяжелая и относительно более высокотемпературная фракция элементов солнечного состава вошла в состав планет земной группы (Меркурий, Венера, Земля, Марс) после потери наиболее летучих элементов и в состав значительно превосходящих их по размерам ядер планет-гигантов, окруженных удержанными ими водородно-гелиевыми оболочками. Наиболее массивными газовыми оболочками обладают Юпитер и Сатурн, в то время как Уран и Нептун удержали наибольшее количество газов с низкими температурами конденсации — аммиака и метана. Как показывают расчетные оценки, чтобы весь водород диссипировал с Юпитера, потребовалось бы время, на несколько порядков величины превышающее возраст Солнечной системы. Можно поэтому думать, что большие планеты, пройдя эволюционный процесс сжатия, претерпели наименьшие изменения своего состава со времени аккреции, сохранив в верхних частях газовых оболочек пер-

вичные атмосферы. При этом за время, прошедшее от начала образования Юпитера и Сатурна, первичное облако газа уменьшилось примерно на порядок величины. Очевидно, продолжающееся сжатие этих планет в современную эпоху и происходящее при этом высвобождение гравитационной энергии обусловливает регистрируемое избыточное излучение по сравнению с энергией, получаемой от Солнца (примерно в 2 раза).

На других расположенных ближе к Солнцу, значительно менее массивных планетах потеря самых легких летучих элементов произошла уже на стадии аккреции или вскоре после завершения ее основной фазы. Этому способствовали как низкие скорости убегания (параболические скорости, зависящие от массы небесного тела), так и существенно более высокие эффективные температуры, падающие обратно пропорционально квадрату расстояния от Солнца. Температура и давление солнечного излучения также могли заметно повлиять на состав протопланетного облака и фракционирование первичного вещества за счет выметания части летучих в областях формирования земных планет. В дальнейшем на этих планетах произошли наиболее грандиозные изменения в процессе тепловой эволюции, приведшей в конечном итоге к образованию их вторичных газовых оболочек — атмосфер.

Согласно современным теоретическим моделям внутреннего строения температуры в центре Юпитера и Сатурна достигают 20—30 тыс. градусов, а давление около 80 млн. атм (Мбар) у Юпитера и около 50 Мбар у Сатурна. Температура и давление в центре Урана и Нептуна 10—12 тыс. градусов и 6—8 Мбар. Относительно небольшие ядра Юпитера и Сатурна, состоящие из вещества скальных пород (в основном силикатов) и составляющие несколько процентов по массе, окружены жидкими слоями, состоящими в основном из водородно-гелиевого расплава. Значительная часть оболочек Юпитера и Сатурна сложена проводящим металлическим водородом, образующимся при больших давлениях, когда внешние атомные оболочки оказываются раздавленными, и обладающим свойствами металлов. В недрах Урана и Нептуна вокруг силикатных ядер находятся протяженные ледяные оболочки, образованные водой, метаном и аммиаком.

Результаты определения гармоник гравитационного потенциала Юпитера из анализа траекторий движения космических аппаратов хорошо согласуются с жидкостной моделью планеты, находящейся в состоянии гидростатического равновесия, и подтверждают представления, согласно которым твердой поверхности Юпитер не имеет.

В отличие от самих гигантских планет их спутники образованы твердым веществом. С точки зрения особенностей внутреннего строения особый интерес представляют галилеевы спутники Юпитера (Ио, Европа, Ганимед, Каллисто), поверхности которых сильно отличаются по отражательной способности и цвету, а средняя плотность падает с ростом расстояния от Юпитера. Недавно полученные с космических аппаратов «Вояд-

жер» фотоснимки этих спутников выявили много интересных особенностей на их поверхностях, что позволяет более определенно судить о внутреннем строении и природе этих небесных тел. Поверхности Европы, Ганимеда и Каллисто покрыты водяным льдом, из которого почти на 50% состоят Ганимед и Каллисто и примерно на 20% Европа, в то время как Ио целиком состоит из более тяжелого вещества скальных пород. Под толстым слоем ледяной коры Европы, Ганимеда и, возможно, Каллисто предполагается своеобразная мантия из смеси льда с водой, а в центре находится ядро из скальных пород. Огромный интерес представляет обнаружение современного активного вулканизма на Ио, поверхность которого, по-видимому, покрыта толстым слоем серы. Сохранившаяся интенсивная вулканическая деятельность на Ио не может быть объяснена продолжающимся выделением радиогенного тепла и, вероятнее всего, обусловлена приливной диссипацией энергии за счет наличия соизмеримостей в движениях трех галилеевых спутников. Как показали теоретические расчеты, возмущения, оказываемые Европой и Ганимедом на эксцентриситет орбиты Ио, столь эффективны, что могли привести к почти полному расплавлению ее недр.

Изучение отражательных характеристик других спутников планет-гигантов по результатам спектрофотометрии в видимой и ближней ИК-областях спектра показывает, что поверхности многих из них, возможно, покрыты водпо-аммиачным и метановым льдом. Замерзший метан, видимо, покрывает поверхность самой далекой планеты Солнечной системы Плутона. У него совсем недавно обнаружен спутник, масса которого по предварительным оценкам составляет ~1/30 массы самой планеты (для сравнения упомянем, что отношения масс Луны и Земли 1/81, т. е. почти втрое меньше).

Наиболее вероятно, что ледяные или покрытые водяным льдом силикатные частицы размером от единиц до нескольких десятков сантиметров образуют и знаменитые кольца Сатурна, обладающие высоким альбедо в видимой области спектра. В то же время недавно открытые кольца Урана обладают крайне низкой отражательной способностью, и слагающие их частицы несомненно не ледяные. Их природа, возможно, схожа с природой поверхности крупных спутников этой планеты — Титании и Оберона.

Внутреннее строение планет земной группы (рис. 45) вследствие иного преобладающего элементного состава отличается наличием протяженных слоев мантийного вещества и твердой коры, состоящих из ультраосновных и основных пород. На поверхности каждой из этих планет можно найти следы ее геологической истории. Последовательность процессов формирования поверхности восходит к завершающей фазе аккреции, когда были близки к исчерпанию потоки метеоритных тел больших размеров, выпадавших на поверхность. К этому периоду обычно относят крупные слабомодифицированные кратеры на лунных материках, схожей морфологии

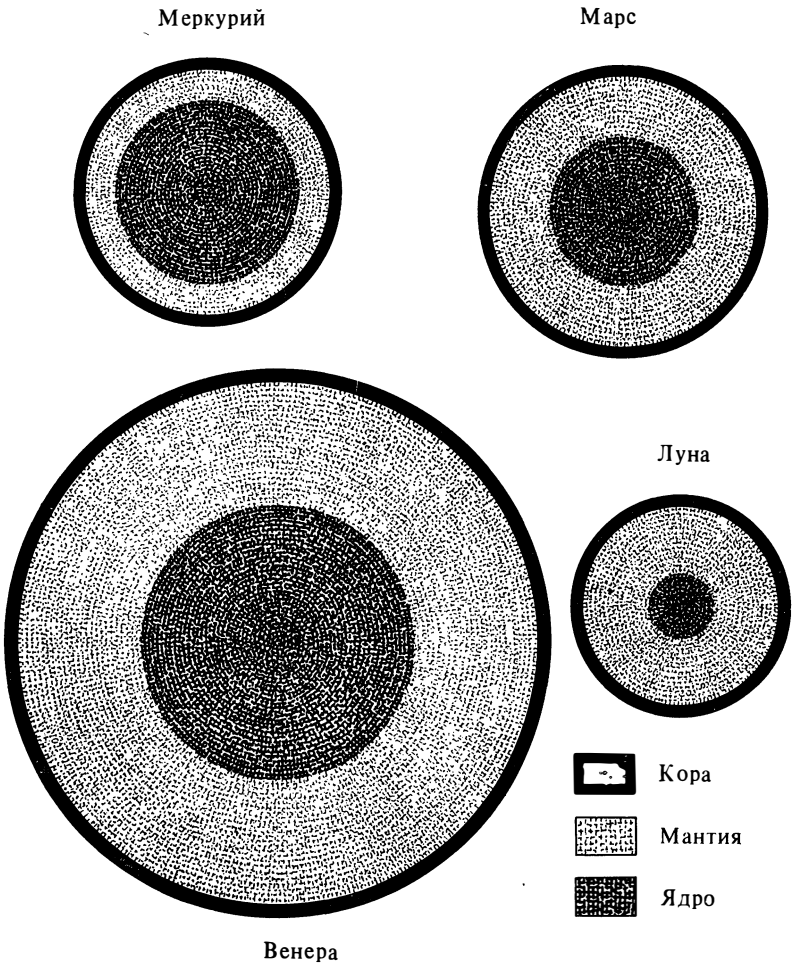


Рис. 45. Модели внутреннего строения планет земной группы

кратеры на Меркурии и наиболее древние сильноэродированные кратеры на Марсе. Вероятно, следы этой стадии сохранились и на Венере; на Земле же вследствие существования гидросферы и биосферы не только самые древние, но и более поздние структуры стерты интенсивной эрозией или скрыты под мощным осадочным чехлом. Вместе с тем фотографии поверхности Земли из космоса позволяют различить ряд крупных кольцевых

структур (астронов), очевидно являющихся следами ударной бомбардировки.

По современным воззрениям уже на стадии формирования планеты или непосредственно после ее завершения начинается глобальный процесс дифференциации слагающего вещества на оболочки под воздействием главным образом гравитационной энергии аккреции и радиогенного тепла, генерируемого долгоживущими изотопами урана, тория и калия. Пути эволюции были различны и зависели прежде всего от размера тела, что определило существующие структуру и тепловое состояние планетных недр.

Изменение интенсивности тепловыделения непосредственно связано с проходимой планетой эволюционной стадией. Их последовательность наиболее отчетливо проявляется на Луне по хронологии лунных пород. Можно прежде всего выделить этап раннего вулканизма около 4,6 млрд. лет назад, когда на поверхность выносилась легкая фракция расплава и формировалась полевошпатовая кора, что привело к сглаживанию остаточных неоднородностей рельефа после завершения аккреции. Позднее, на этапе непрерывной магматической активности между 4,4 и 4,0 млрд. лет, образовывались обогащенные алюминием и кальцием породы — анортозиты. К этому же периоду относят образование брекчий из-за частичного или полного переплавления магматических пород при падениях метеоритов и начало метаморфизации древней коры. Этап формирования лунных «морей» датируется периодом около 4,0—3,9 млрд. лет назад. Причиной, по-видимому, была интенсивная бомбардировка лунной поверхности крупными метеоритными телами, которые разрушали тонкую кору, вскрывая очаги базальтового расплава, что приводило к заполнению образовавшихся полостей и, возможно, их последующему оседанию с образованием локальных концентраций массы — масконов.

Заполнение лунных «морей» предположительно завершилось около 3 млрд. лет назад. Этой оценке соответствует возраст самых молодых кристаллических пород из доставленных на Землю образцов грунта, датируемых 3,16 млрд. лет. В дальнейшем Луна стала быстро остывать, образовалась ее протяженная литосфера, нынешняя толщина которой оценивается величиной приблизительно 1000 км (по сравнению с 50—120 км для Земли). Область существования расплава в мантии отодвигалась при этом вглубь, так что зона частично расплавленной астеносферы могла сохраниться лишь вблизи самого центра. Согласно моделям тепловой истории Луны и данным сейсмического зондирования в центре ее может быть небольшое (около 2% по массе) железное или более крупное силикатное ядро с температурой в пределах 1000—1600° С. Наличие в центральных областях небольшой зоны расплава не противоречит факту отсутствия у Луны в современную эпоху магнитного поля (предел напряженности его дипольной составляющей меньше одной гаммы). Соответственно обтекающая ее плазма солнечного ветра практически не испытывает возмущений.

Вместе с тем сравнительно высокая остаточная намагниченность лунных пород свидетельствует о существовании значительно более сильного поля в далеком прошлом.

Очевидно, схожий с Луной процесс тепловой эволюции прошел Меркурий. На его поверхности также сохранились уникальные примеры наиболее древних структур, следы раннего вулканизма. Вместе с тем в отличие от Луны на тепловую эволюцию этой планеты могла сильно повлиять высокая проводимость железа, составляющего приблизительно 70% от общей массы, что способствовало быстрому остыванию ядра. По существующим оценкам железное ядро Меркурия примерно равно размеру Луны, а толщина твердой литосферы составляет около 500 км, и это должно обусловливать низкий уровень тектонической активности в современный период. Весьма вероятно, однако, что процессы глобальной тектоники и вулканизма охватывали бóльший период меркурианской истории, чем лунной. Поэтому возраст самых молодых пород на равнинных участках планеты внутри кратеров и котловин, подвергшихся заполнению излившейся магмой, по-видимому, значительно меньше минимального возраста 3,16 млрд. лет, определенного для Луны. Допуская, что в ядре сохранились тепловые источники, можно объяснить существование у Меркурия заметного собственного магнитного поля с напряженностью у экватора порядка 1% от земного. Благодаря очень большому ядру в начале своего остывания планета испытала сильное общее сжатие, следы которого сохранились на поверхности в виде протяженных крутых уступов — эскарпов.

В свою очередь эволюция Венеры в общих чертах, по-видимому, более близка к тепловой истории Земли. На обеих планетах произошла сравнительно ранняя дифференциация вещества, слагающего их недра. Базальтоидный тип поверхностной породы, измеренный на посадочных аппаратах «Венера», подкрепляет эту аналогию. Радиус ядра Венеры оценивается равным около 3 тыс. км (т. е. как у внешнего ядра Земли), если допустить, что моменты инерции планет примерно эквивалентны. Между тем собственное магнитное поле у Венеры практически отсутствует (на уровне менее 0,01% от земного), что, очевидно, объясняется чрезвычайно малой скоростью ее вращения (один оборот за 243 земных суток). Модели внутреннего строения предполагают наличие твердой литосферы толщиной свыше 100 км и частично расплавленной мантии, в которой, вероятно, происходят конвективные движения, что приводит к представлениям о важной роли тектонических процессов и вулканизма в формировании поверхностных форм рельефа.

Действительно, на радиолокационных изображениях поверхности Венеры и по результатам радиоальтиметрирования со спутника «Пионер-Венера» наряду с многочисленными сильно сглаженными кратерами на преобладающих на планете равнинных областях обнаружены отдельные обширные плоскогорья, по размерам схожие с материками Земли, значи-

тельная часть которых, видимо, покрыта сравнительно молодыми лавовыми потоками. Эскарпы четко очерчивают границы этих плоскогорий, а внутри них выделяются крупные вулканические конусы (отождествляемые с хорошо известными радиоастрономам районами наибольшего отражения радиоволн) и мощные разломы, протянувшиеся на тысячи километров. Они напоминают протяженные рифтовые долины на океаническом ложе Земли и, по-видимому, являются следствием тектонической деятельности. С тектоническими процессами, вероятнее всего, также связано образование каменистой осыпи на склоне кратера, которая видна на панораме «Венеры-9».

Разнообразные черты рельефа и геологических структур на марсианской поверхности дают определенные критерии для оценок последовательности их формирования на планете, занимающей по своим размерам промежуточное положение между Луной и Меркурием, с одной стороны, и Землей и Венерой — с другой. С учетом вероятной обогащенности сконденсировавшегося первичного марсианского вещества серой предполагается, что у Марса есть железосульфидное ядро, образование которого началось вслед за аккреционной фазой и продолжалось в течение первого миллиарда лет. Об интенсивной вулканической и тектонической деятельности этого этапа свидетельствуют частично сохранившиеся базальтовые равнины и вулканические щиты. Приблизительно около 3 млрд. лет назад Марс, по-видимому, прошел вершину своей эволюции и постепенно начал остывать. В этот период, когда уровень термической энергии в его недрах сохранялся примерно постоянным, происходили глобальные тектонические процессы наибольшего масштаба, образовывались каньоны и грабены, громадные щитовые вулканы.

Помимо вулканических конусов с хорошо сохранившимися кальдерами на их вершинах следы широко развитого вулканизма в виде многочисленных лавовых сколов с характерными ноздреватыми поверхностями отдельных камней видны на панорамах марсианской поверхности. В более поздние эпохи громадную роль в формировании рельефа Марса сыграла ветровая и частично ветрогляциологическая эрозия. В результате на поверхности образовались мощные эоловые отложения, видимо представляющие собой продукты выветривания мафических и ультрамафических пород и состоящие в основном из богатых железом глин, окислов железа, сульфатов, карбонатов и хлоридов.

Основываясь на данных об обогащенности поверхностных пород железом и измеренной величине безразмерного момента инерции, можно утверждать, что степень гравитационной дифференциации слагающего вещества Марса была менее полной, чем у других планет земной группы. В современную эпоху у Марса, очевидно, сохранилось относительно небольшое, частично расплавленное или жидкое ядро, что подтверждается обнаружением у него заметного магнитного поля. Наряду с этим нынеш-

няя незначительная сейсмическая активность естественно объясняется большой толщиной литосферы и глубоко расположенной астеносферой.

С геологической историей планеты непосредственно связано образование ее атмосферы. Химический состав, структура, динамика атмосферы определяются в основном расстоянием планеты от Солнца, размерами, массой, скоростью вращения. Первичные (восстановительные по своему характеру) атмосферы гигантов принципиально отличны от вторичных (окислительных) атмосфер планет земной группы.

Основные компоненты атмосфер гигантов — водород и гелий с заметными примесями метана и аммиака. Относительные содержания метана и аммиака на Уране и Нептуне больше, чем на Юпитере и Сатурне. Спектроскопически в нижней атмосфере Юпитера обнаружены также молекулы угарного газа, фосфина, циана и, наконец, высшие углеводороды — этан, ацетилен. С большой вероятностью присутствует сера и ее соединения с водородом и азотом. По-видимому, образующийся при разложении фосфина аморфный красный фосфор, водородные и аммонийные полисульфиды, сера окрашивают диск Юпитера в красно-коричневатый и желтые цвета. Нельзя полностью исключить, что определенный вклад в окраску вносят также образующиеся под влиянием интенсивной корпускулярной радиации и электрических разрядов органические соединения, обладающие широкой гаммой цветов.

По существующим представлениям первичные атмосферы планет земной группы были потеряны уже вскоре после аккумуляции или на ее завершающей фазе, а существующие вторичные атмосферы формировались вследствие дегазации из недр, сопровождавшей дифференциацию вещества планеты на оболочки главным образом за счет вулканических извержений. Основную часть вулканических газов составляют водяной пар и углекислый газ: количество воды достигает почти 20% от объема изливающихся базальтов и находится в соотношении примерно 5:1 с количеством отгоняемой углекислоты. Содержания других компонент в виде соединений водорода, азота, серы, галогенов и др. зависят от условий протекания реакции (прежде всего температуры) и участвующих масс вещества мантии.

Помимо Земли атмосферами обладают Венера и Марс, в то время как у Меркурия атмосфера практически отсутствует. Между тем две соседние планеты по параметрам своих атмосфер являются антиподами Земле: давление атмосферы у поверхности Венеры примерно в сто раз больше, а у поверхности Марса в сто-двести раз меньше. Температура у поверхности Венеры, как мы уже отмечали в предыдущем разделе, около 460° С, с суточными вариациями у поверхности в пределах градуса, в то время как у поверхности Марса средняя температура около —50° С, а суточно-сезонные вариации превышают 100°. Если преобладающие компоненты в атмосфере Земли — азот и кислород, то в атмосферах Венеры и Марса —

углекислый газ, содержание которого на обеих планетах не менее 95%, азота несколько процентов, а кислород присутствует лишь как малая примесь (см. рис. 29).

Как видим, с точки зрения дегазации из недр углекислый состав атмосфер Венеры и Марса понять легче, чем азотно-кислородный состав атмосферы Земли. Обычно предполагается, что решающее влияние на эволюцию примитивной земной атмосферы, имевшей вначале также восстановительный характер, оказали процессы фотосинтеза, что привело к появлению (около 2 млрд. лет назад) в атмосфере свободного кислорода. Это в свою очередь вызвало окисление аммонийных соединений вулканических газов и высвобождение в атмосферу свободного азота. Тем самым было предопределено дальнейшее наиболее благоприятное направление климатической эволюции Земли.

Предельная оценка плотности атмосферы Меркурия, полученная по измерениям с космического аппарата «Маринер-10» резонансного свечения в характерных линиях водорода и гелия, составляет 10^{-17} г/см^3. Это значение соответствует плотности земной атмосферы на высотах около 800 км и роднит Меркурий с Луной, обладающей почти аналогичной по плотности и составу, чрезвычайно разреженной газовой оболочкой. Это означает, что к поверхности Меркурия и Луны непосредственно примыкает экзосфера — по существующей терминологии область атмосферы, где длина свободного пробега атомов и молекул обращается в бесконечность и они могут приобретать скорость, достаточную для выхода за предел гравитационного притяжения планеты.

В создании и поддержании атмосферы Меркурия, очевидно, определяющую роль играет солнечный ветер, являющийся поставщиком протонов, альфа-частиц и ядер других более тяжелых элементов. Некоторый вклад может также вносить продолжающееся высвобождение летучих из коры планеты, прежде всего гелия, за счет радиоактивного распада урана и тория. При наличии магнитосферы, обусловленной магнитным полем Меркурия, непосредственное взаимодействие плазмы солнечного ветра с поверхностью, по-видимому, происходит в основном в приполярных областях каспов и за счет процессов ускорения со стороны магнитного шлейфа. Очевидно, этот эффект наряду с очень большим различием дневных и ночных температур приводит к обнаруженной заметной асимметрии меркурианской атмосферы.

Структура и параметры атмосферы непосредственно связаны с особенностями ее теплового режима и динамики. Большие различия по плотности и составу атмосфер Земли, Венеры, Марса, Юпитера обусловливают большие отличия их параметров тепловой релаксации, т. е. времени реакции атмосферы на тепловое возмущение, и степени непрозрачности для солнечной и тепловой радиации. В свою очередь соотношение этого параметра с периодом изменения теплового воздействия (инсоляции), завися-

щим в основном от периода вращения, играет решающую роль в механизме планетарной циркуляции.

Венера обладает очень малой скоростью вращения, мощным экраном в виде плотной атмосферы и облаков, громадным теплосодержанием атмосферы. В то же время атмосферы Земли и Марса практически прозрачны для приходящего солнечного излучения в видимой области спектра, имеют почти одинаковые длительности суток и глубину сезонных изменений. Основное отличие между ними состоит в характере реакции поверхностной температуры на суточно-сезонные изменения и различии времен радиационного выравнивания температур, которое на Марсе происходит почти на порядок быстрее.

Если за счет земных океанов, действующих как мощные аккумуляторы тепла, обеспечивается поддержание поверхностной температуры в любом широтном поясе близким к среднегодовому значению, а атмосфера стремится распределить тепло почти равномерно по широте, то на Марсе вследствие малой тепловой инерции грунта и малой теплоемкости атмосферы поверхностная температура оказывается близкой к ее местному лучисто-равновесному значению на каждой широте. Различия в температуре на поверхности Земли из-за разности инсоляции вызывают зональные ветры в восточно-западном направлении на средних широтах и мощные циклоны и антициклоны, за счет которых происходит мощный дополнительный перенос тепла. Суточная компонента скоростей из-за слабой тепловой реактивности земной атмосферы невелика.

Примерно аналогичная ветровая система существует и на Марсе, но с более сильно выраженной суточной составляющей. Возникновение больших перепадов температур и сильные ветры создают предпосылки для поднятия в атмосферу больших масс пыли и возникновения мощных пылевых бурь. Во время таких бурь пыль сплошной пеленой закрывает всю планету в течение многих недель, поднимаясь на высоту до 10 и более километров, как это было в 1971 г., когда на орбитах находились искусственные спутники «Марс-2, 3» и «Маринер-9».

Иная специфика движений характерна для Венеры. После проведения прямых измерений освещенности, показавших, что не менее 3—4% величины падающей на планету солнечной энергии доходит до ее поверхности, можно считать доказанным, что основным механизмом, ответственным за поддержание высокой поверхностной температуры Венеры, является парниковый эффект. Вместе с тем вследствие различия инсоляции на экваторе и полюсах и ее суточного хода в выравнивании температур в широтном и долготном направлениях определяющую роль играет динамика.

По-видимому, даже небольшая кориолисова составляющая на Венере приводит к отклонению меридиональной компоненты в зональном направлении и нарастанию линейных скоростей движений с ростом широты. Однако механизм опережающего вращения атмосферы (четырехсуточной

циркуляции) и удивительной устойчивости отдельных конфигураций, наблюдаемых в ультрафиолетовых лучах, остается пока до конца непонятым. Для объяснения этого феномена за последние годы предложено несколько теоретических моделей, в том числе предприняты попытки численного моделирования циркуляции в кольцевом слое сжимаемого газа с движущимся внутренним источником тепла, что позволило получить качественное согласие с наблюдаемым эффектом. Однако это пока лишь самые первые шаги, и дальнейший прогресс в этом направлении будет связан как с совершенствованием методов моделирования, так и прежде всего с постановкой новых экспериментов.

Детальное изучение характера и структуры атмосферных движений можно было бы провести путем наблюдения за дрейфом аэростатов в атмосфере Венеры. Новые полеты к Венере призваны также прояснить природу облачного слоя, дать ответ на вопрос о том, из чего состоят облака, детально исследовать комплексный характер физико-химических и динамических процессов, обусловливающих их формирование.

Юпитер, подобно Венере, окутан облаками, в наблюдаемой структуре которых отчетливо проявляется сложный характер динамических процессов в его атмосфере. Модель структуры облаков на Юпитере включает три основных слоя: самый верхний, который, по-видимому, состоит из кристаллического аммиака; промежуточный — из гидросульфида аммония, и нижний — из обычного водяного льда. Эта модель в целом соответствует имеющейся совокупности экспериментальных данных и хорошо объясняет также характерную окраску выделяющихся на Юпитере полос, исторически получивших название зон и поясов. Расположенные выше в атмосфере светлые зоны, видимо, содержат ярко-белые кристаллы аммиака, а расположенные глубже пояса — красно-коричневые кристаллы гидросульфида аммония. Подобная полосчатая структура, значительно менее четко выраженная, выявляется и на диске Сатурна, в то время как Уран и Нептун не обнаруживают каких-либо деталей на фотоснимках этих планет, полученных с высотных баллонов с высоким разрешением, до $0''{,}1$ (при угловых поперечниках этих планет $2-4''$).

Структура зон и поясов на Юпитере различается характером движений: в светлых зонах движения восходящие, облака в них расположены выше, в более темных поясах — нисходящие, соответственно они расположены глубже, и их температура выше. Восходящие течения в зонах, растекающиеся в меридиональном направлении в противоположные стороны, под действием мощной кориолисовой составляющей приобретают зональные составляющие, направленные в противоположные стороны по краям зоны. Таким образом, внутри зон развиваются встречные движения с возникновением сдвиговых течений (широв).

На регулярную структуру течений накладываются разнообразные вихревые конфигурации типа циклонов, наиболее характерным предста-

вителем которых является Большое красное пятно (БКП) и ряд менее долгоживущих пятен значительно меньших размеров. Характер циркуляции внутри БКП соответствует режиму движений внутри земных антициклонов в южной полусфере. С ростом широты характер течений изменяется и выше приблизительно 50° сменяется нерегулярной, сильно неупорядоченной структурой. Основную роль в ее образовании, видимо, играет тепловая конвекция, развивающаяся за счет подвода тепла из недр планеты.

Повышенный интерес вызывает атмосфера самого большого спутника Сатурна — Титана. Было обнаружено, что на длинах волн 20—30 мкм, соответствующих ожидаемой равновесной температуре Титана (около 100 К), он излучает значительно меньше энергии, чем получает от Солнца, а максимум излучения смещен в более коротковолновую область. Этот феномен можно объяснить, если предположить, что Титан обладает плотной атмосферой, за счет которой создается значительная непрозрачность для уходящего излучения в полосе около 20 мкм. Тогда возможно, что вследствие парникового эффекта температура у поверхности свыше 200 К, т. е. климатические условия на этом небесном теле, удаленном от Солнца почти на 10 а. е., могли бы оказаться довольно благоприятными. Предпринимались попытки объяснить повышенную непрозрачность атмосферы за счет индуцированного поглощения молекулярным водородом при давлении порядка 1 атм, которое создается другим газом (например, азотом, образующимся за счет фотолиза аммиака). Однако возможность удержания на Титане легкого водорода даже в небольшом количестве казалась маловероятной, а сообщение о его отождествлении в атмосфере этого спутника не было в дальнейшем подтверждено. Сейчас все больше данных, свидетельствующих о том, что атмосфера Титана состоит в основном из метана, а оценки давления у его поверхности колеблются от 0,02 до 1 атм. Ни одна из моделей полностью не объясняет вместе с тем возможность создания парникового эффекта, и само предположение, что наблюдаемая спектральная зависимость теплового излучения обусловлена более высокой температурой поверхности, ставится под сомнение. К тому же недавно измеренная температура верхней границы облачного слоя в атмосфере Титана оказалась очень низкой, около 75 К. Поскольку метановая атмосфера при такой температуре может частично вымерзать, высказываются предположения, что отмеченные выше вариации давления реально существуют.

Основываясь пока лишь только на результатах оптической и радиоастрономии, к сожалению, невозможно достаточно надежно определить значения параметров и понять физические механизмы, ответственные за наблюдаемые явления и особенности. В чем-то ситуация с Титаном напоминает сейчас то положение, которое было немногим более десяти лет назад с Венерой. Видимо, и в этом случае решающий ответ в разгадке

тайн этого интересного члена Солнечной системы, как и природы других планет и их спутников, принесут в недалеком будущем полеты космических автоматов. Среди них важнейшая роль несомненно будет принадлежать посадочным аппаратам, глубинным атмосферным зондам и искусственным спутникам планет.

За последнее время все возрастающее внимание уделяется проблеме климата. С точки зрения изучения палеоклимата и, возможно, прогнозирования будущего климата Земли первостепенный интерес представляют две планеты — Венера и Марс.

Можно думать, что решающее влияние на специфику климатической эволюции оказало удаление планеты от Солнца. Если исходить из модели приблизительно одинакового первичного вещества, из которого сформировались планеты земной группы, и дополнительно допустить, что начальное альбедо планеты без атмосферы соответствовало лунному, то равновесная температура Земли оказывается вблизи тройной точки для воды, а у Венеры и Марса она примерно на 50 градусов соответственно выше и ниже. Это позволяет предположить, что на Земле отгонявшаяся из недр вода могла сохраняться на поверхности, и основная ее масса сосредоточилась в океанах. На Венере же, в условиях первоначально разреженной атмосферы, вода должна была выкипать, а на Марсе могла появиться на поверхности в жидкой фазе только после появления довольно плотной атмосферы, достаточной для создания заметного парникового эффекта.

При наличии воды и сравнительно низкой температуре углекислый газ мог аккумулироваться в земной гидросфере и карбонатах осадочных пород за счет связывания с окислами металлов, высвобождающимися при реакциях серпентинизации и каолинизации. На Венере же углекислый газ мог постепенно накапливаться в атмосфере вместе с парáми воды и тем самым способствовать дальнейшему росту температуры за счет парникового эффекта. При достижении определенной температуры поверхности карбонаты становятся неустойчивыми минеральными формами и происходит их разложение. Процесс карбонатно-силикатного взаимодействия в верхнем слое коры планеты определяется диаграммой волластонитового равновесия, согласно которой количество углекислоты, связанной в осадочном чехле Земли, оцениваемое равным $3{,}7 \cdot 10^{23}$ г, сравнимо с содержанием углекислоты в атмосфере Венеры при существующей температуре поверхности.

Наиболее сложной остается, однако, проблема воды. При допущении о сходстве процессов эволюции планетных недр и эксгаляции летучих количество отогнанной на Венере воды должно было бы примерно соответствовать общему содержанию воды на Земле, которое оценивается в $1{,}37 \cdot 10^{24}$ г и соответствует равномерно разлитому по поверхности слою толщиной около 3,5 км. Между тем на поверхности Венеры воды быть не может, а среднее содержание водяного пара в ее атмосфере (около 0,1%

по отношению к CO_2) дает величину, приблизительно на три порядка меньшую по сравнению с количеством воды на Земле. Это заставляет предположить, что основная масса воды была потеряна Венерой. Наиболее вероятным механизмом потерь могла быть диссоциация водяного пара ультрафиолетовым излучением с последующим убеганием водорода из атмосферы и связыванием свободного кислорода веществом поверхностных пород и атмосферными компонентами. Эта гипотеза сталкивается, однако, с определенными трудностями, связанными прежде всего с необходимостью допущения о чрезвычайно большой скорости диссипации водорода из атмосферы, приблизительно в миллион раз превышающей современную величину потока. Следует также предполагать интенсивную тектоническую деятельность, за счет которой к поверхности переносился свежий неокисленный материал, чтобы связать высвобождавшийся в процессах диссоциации кислород.

На Марсе при современных атмосферных параметрах вода может существовать лишь в виде льда в подповерхностном слое и вместе с сухим льдом в полярных шапках. Оба резервуара реально существуют, как показали исследования с космических аппаратов. О существовании обширных районов вечной мерзлоты свидетельствуют, в частности, специфические долины с внутренними пустотами, типа карстовых на Земле, и характерные грязевые выбросы на склонах некоторых кратеров, очевидно образовавшиеся в результате плавления подповерхностного льда при падении крупных метеоритов. Температура не стаивающих летом полярных шапок существенно выше температуры сублимации сухого льда, и вместе с данными инфракрасной спектрометрии это доказывает, что шапки в основном состоят из водяного льда.

Однако роль воды в геологической и климатической истории этой планеты, по-видимому, была значительно более важной. Создаются представления, что Марс не всегда был таким, как в современную нам эпоху. Уже упоминавшиеся конфигурации в виде длинных узких ветвящихся долин на поверхности, сильно выглаженные ложбины с заключенными внутри них «островами» каплевидной формы вокруг кратеров определенно свидетельствуют о существовании водной и гляциологической эрозии. Между тем в условиях современной разреженной атмосферы Марса вода на поверхности не удерживается, а количество водяного пара в атмосфере, испытывающее сильные сезонно-широтные и суточные вариации, ничтожно мало, и даже в наиболее благоприятные периоды (над полярными областями летом) его относительное содержание не превышает нескольких сотых долей процента.

Трудно сейчас ответить на вопрос о том, была ли вода на поверхности Марса лишь на определенном этапе эволюции или появлялась регулярно на протяжении сравнительно длительного периода. В первом случае можно допустить, что на планете однажды произошло резкое изменение

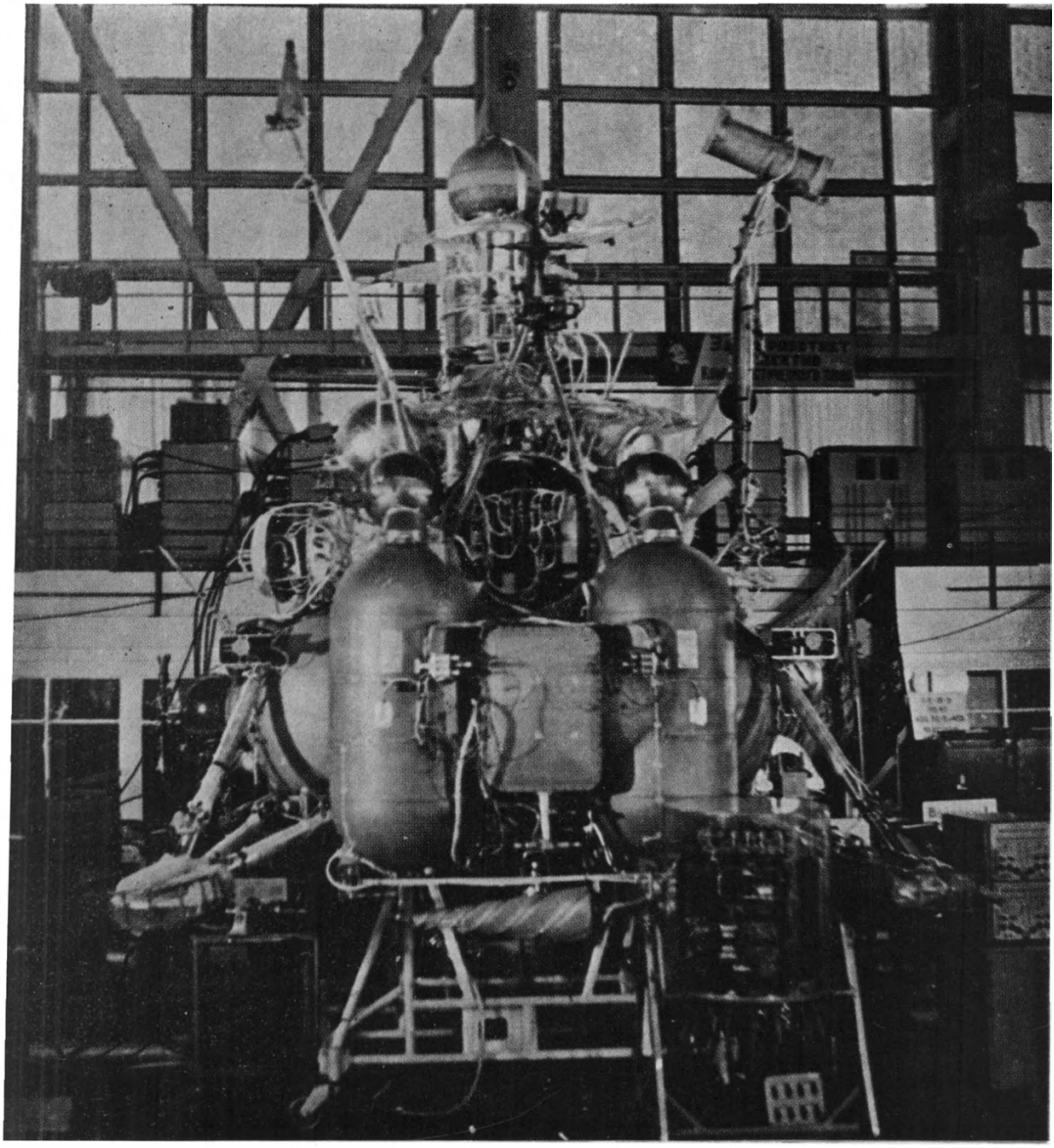


Рис. 22. Автоматическая станция «Луна-16»

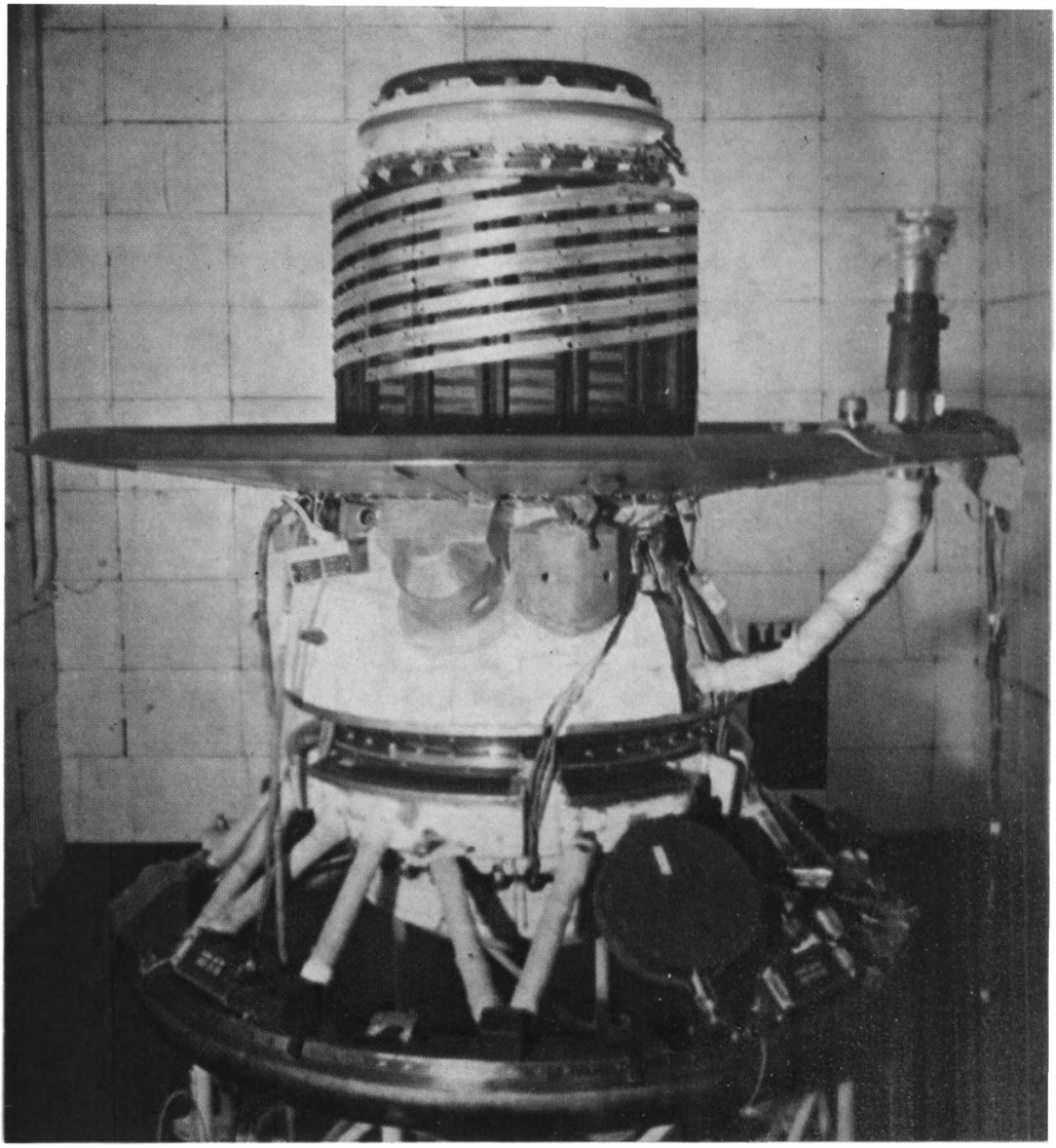
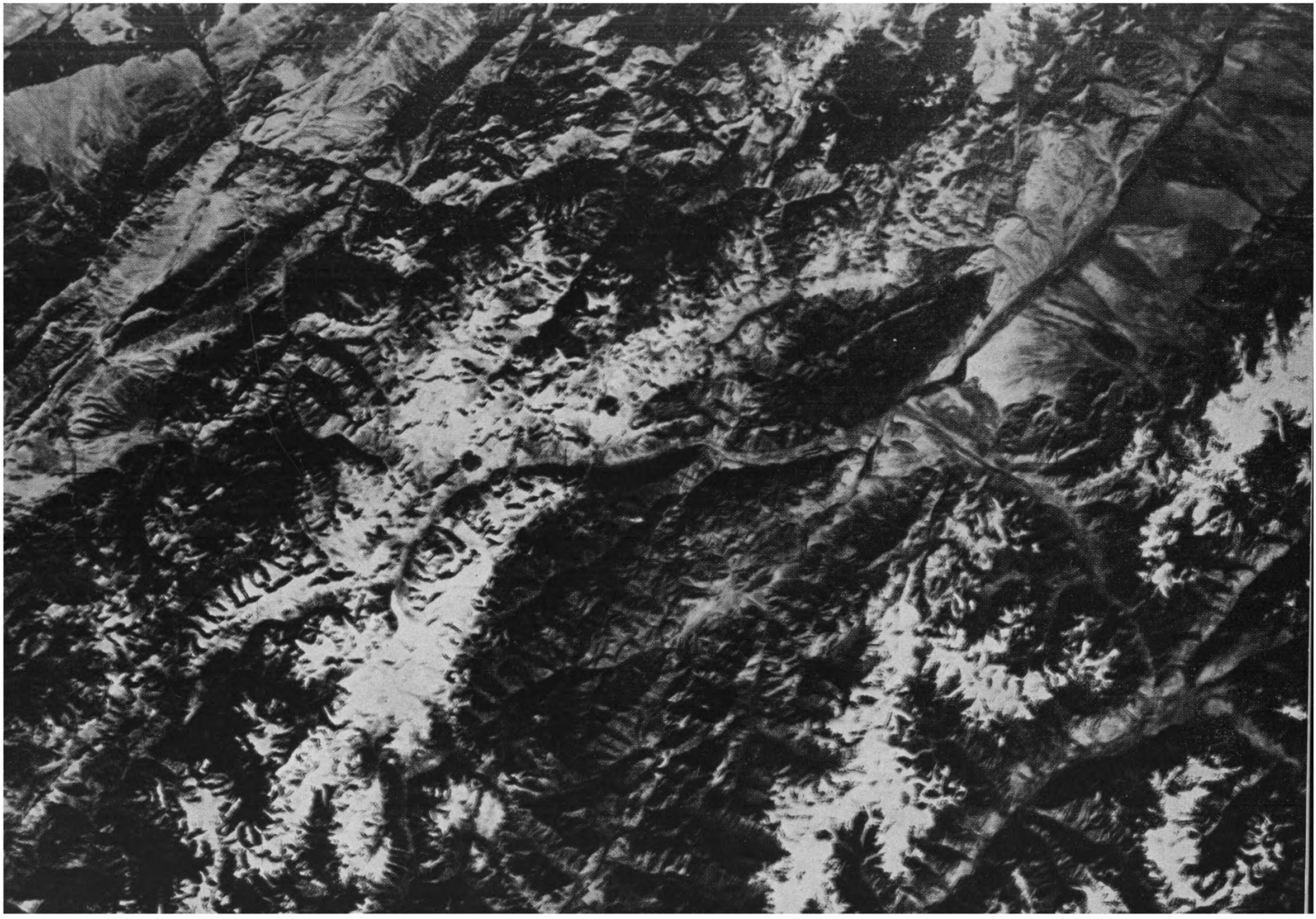


Рис. 34. Спускаемый аппарат станции «Венера-9, 10»

Рис. 69. Спектрозональный снимок района Памиро-Алая

Рис. 70. Спектрозональный снимок района оз. Байкал, дельты р. Селенги





климата (вероятно, около 1 млрд. лет назад) и что до этого Марс был более всего похож на Землю. Но нельзя исключить, что колебания марсианского климата происходили неоднократно, подобно периодам великих оледенений на Земле. В этой связи заслуживает наибольшего внимания гипотеза о циклических изменениях уровня светимости Солнца, выдвинутая в связи с попытками объяснения парадокса солнечных нейтрино. Найденную корреляцию этих циклов (повторяющихся с периодичностью около 10^8 лет) с великими оледенениями на Земле естественным образом можно было бы связать с возможными климатическими изменениями на других планетах.

Для выяснения путей общепланетарной и климатической эволюции важное значение имеют данные о содержании в атмосфере инертных газов и отношений основных изотопов. Сопоставление концентраций инертных газов, не подверженных химическим превращениям и потому наиболее устойчивых атмосферных компонент, с их относительным содержанием в земной атмосфере и в газовой фракции метеоритов дает возможность судить о химической дифференциации первичного вещества в процессе конденсации протопланетного облака и (или) последующей аккумуляции планет. Анализ изотопного состава позволяет дополнительно выяснить степень происшедшей за геологическое время дегазации на планете и фракционирования летучих при диссипации газов из планетной атмосферы.

Как уже отмечалось, измеренное отношение первичных изотопов аргона ^{36}Ar и ^{38}Ar к радиогенному изотопу ^{40}Ar, образующемуся при радиоактивном распаде калия ^{40}K, оказалось в атмосфере Марса примерно в десять раз меньше, а в атмосфере Венеры почти в сто раз больше, чем в атмосфере Земли. Это позволяет предположить, что степень дегазации на Венере была выше, чем у Земли, поскольку дегазация ^{40}Ar происходит медленнее, чем его первичных изотопов. Что же касается Марса, то запас летучих на нем, вероятно, истощен по сравнению с Землей. Очевидно, основная масса первичных изотопов аргона и ряда летучих, захваченных на завершающей стадии аккреции, удержалась в венерианской атмосфере в противоположность Марсу, где они в гораздо большей степени утеряны и частично аккумулированы в твердых породах. Нельзя, наконец, исключать и того, что протопланетное облако в областях формирования Венеры и Марса содержало различные количества летучих. Менее привлекательна «катастрофическая» гипотеза, согласно которой по каким-то причинам Марс уже в ранней истории потерял бо́льшую часть своей атмосферы. Против нее свидетельствует, в частности, измеренное изотопное отношение ксенона.

Независимо от объясняющих эти факты гипотез полученные результаты дают основание считать, что когда-то Марс действительно обладал более плотной атмосферой за счет приблизительно в 20 раз бо́льшего по

отношению к существующему содержания углекислого газа и примерно вдесятеро большего содержания азота. И хотя даже в самые благоприятные периоды атмосфера Марса, по-видимому, оставалась по крайней мере вдесятеро менее плотной, чем земная, такая атмосфера была способна создать заметный парниковый эффект и сохранить на поверхности жидкую воду.

Оценки степени дегазации и соотношений летучих подтверждают предположение о сопоставимых количествах воды, выделившихся за геологическую эпоху на Земле и Венере, и одновременно свидетельствуют о том, что общее отогнанное количество воды на Марсе, если ее равномерно разлить по поверхности, дало бы слой толщиной около 20 м. С учетом различия в массах планет это примерно на два порядка меньше, чем на Земле. Тем не менее такое количество воды способно создать водоемы внушительных размеров, которых, однако, мы не видим. Можно ожидать, что почти вся вода захоронена сейчас на Марсе в его поверхностном слое и полярных шапках, поскольку потери за счет диссипации водорода из атмосферы по оценкам не должны были превысить 20%.

Космические полеты стимулировали поиски ответов на вопросы: почему жизнь возникла именно на третьей от Солнца планете и каковы необходимые условия для ее возникновения и существования на других небесных телах, возможны ли формы жизни на основе иной биологической структуры и с использованием отличного от земного генетического кода? Интенсивное развитие получила экзобиология, в распоряжение которой были предоставлены данные о поведении земных форм жизни в условиях космоса, способах их адаптации, структурных и цитологических изменениях и т. д.

Продолжает энергично дискутироваться проблема возможной биологической активности Марса. Эксперименты, проведенные на аппаратах «Викинг» в специальных кюветах с отобранными образцами грунта в обоих местах посадки, дали противоречивые результаты, которые невозможно истолковать как точное свидетельство «за» или «против». Вместе с тем есть определенные основания считать, что регистрировавшиеся на поверхности Марса особенности обмена между марсианским грунтом и атмосферой при внесении питательной среды можно объяснить чисто химическими реакциями, если в состав грунта входят сильно окисленные вещества, что в действительности и имеет место на Марсе. Из этого, конечно, не следует, что биологическая активность на Марсе отсутствует или что ее не было в прошлом и на поверхности не сохранилась «палеожизнь» в ее простейших формах. Но, видимо, потребуются принципиально новые средства для решения этой сложной проблемы, имеющей не только научное, но и громадное философское значение.

Изучение при помощи космических аппаратов Луны, Венеры, Марса, первые полеты к Меркурию, Юпитеру, Сатурну дали науке уникальные

данные об особенностях современной стадии этих небесных тел, специфике их природных условий, позволяя тем самым выявить закономерности, лежащие в основе природы нашей собственной планеты. Решению таких кардинальных проблем, как химический состав глубин планет и общие законы концентрации полезных ископаемых, природа магнитного поля, законы формирования атмосферы и гидросферы, условия возникновения жизни, в значительной степени будет способствовать сравнительное изучение всех девяти больших планет и их спутников. Возможность такого сопоставления приближает нас к решению фундаментальной проблемы естествознания — происхождения Солнечной системы и ее эволюции, одной из ветвей которой стала наша Земля с ее поистине удивительной пригодностью для возникновения и существования высокоразвитой жизни.

Непрерывно возрастающие точности радиолокационных наблюдений планет и совокупность измерений траекторий движения автоматических межпланетных станций создают реальную основу для построения единой теории движения планет, что также представляет собой одну из важнейших задач фундаментальной науки. Этим целям будет, в частности, служить новый радиотелескоп Центра дальней космической связи в Крыму, предназначенный для управления полетом космических аппаратов и радиолокации планет, в котором воплощены самые передовые достижения современной радиотехники. Он представляет собой самую крупную в мире полноповоротную приемопередающую многодиапазонную антенну с диаметром зеркала 70 м. С помощью этого радиотелескопа, оснащенного мощными передатчиками и малошумящими высокочувствительными приемными устройствами, удалось в десятки раз увеличить потенциал планетного радиолокатора по сравнению с ранее использовавшимися антеннами, благодаря чему возможности радиолокационных наблюдений планет значительно расширились.

Перспективы космических исследований и, в частности, перспективы исследования планет ставят в повестку дня необходимость решения новых технических проблем.

Продолжительность времени распространения радиосигнала от Земли даже к ближайшим планетам Солнечной системы во многих случаях чрезвычайно затрудняет или вовсе исключает возможность оперативного управления с Земли аппаратом, функционирующим на поверхности планеты. Особенно это касается управления аппаратом, перемещающимся по поверхности планеты. Выход из положения может быть найден в создании аппаратов, могущих функционировать с высокой степенью автономии и обладающих способностью восприятия окружающей среды, ее анализа и принятия решения о действиях, сообразующихся с обстановкой, в которой оказывается аппарат, и с теми целями и задачами, которые ставит перед ним исследователь, находящийся на Земле.

Создание подобных автоматических аппаратов требует, в частности, решения ряда проблем, объединяемых такими направлениями исследований, как искусственный интеллект и интегральные роботы. Указанные направления интенсивно развиваются в ряде стран. Можно ожидать, что тесная связь между проводимыми исследованиями и космическими приложениями будет полезна как для теоретических работ, так и для успешного проведения в будущем глубоких и многогранных исследований на небесных телах.

Планеты Солнечной системы таят в себе еще много загадок. Широкая перспектива, открытая космической техникой для разгадки всех этих тайн, не может не волновать человечество. Несмотря на то что уже многое сделано, дальнейшее исследование Солнечной системы потребует еще многих глубоких научных поисков и смелого полета технической мысли.

X
АСТРОФИЗИКА

Последние десятилетия ознаменовались подлинной революцией в астрономии. Запуски высотных ракет, искусственных спутников Земли и орбитальных станций дали в руки ученых новое мощное оружие для проникновения в тайны многообразных и сложных процессов, происходящих в глубинах Вселенной (рис. 46). Применение методов внеатмосферной астрономии обеспечивает громадное расширение наблюдательного диапазона, главным образом в областях гамма-, рентгеновского, ультрафиолетового, инфракрасного излучений, а также в областях субмиллиметровых и радиоволн, недоступных наблюдениям с Земли, и приносит огромное количество новых данных для познания фундаментальных физических проблем. Основным новым качеством современной астрономии стал эволюционный подход к изучаемым процессам и явлениям.

Интерес к ультрафиолетовой области спектра определяется прежде всего тем, что здесь сосредоточена основная часть «резонансных» спектральных линий нейтральных и ионизованных атомов и молекул, входящих в состав звезд, туманностей, галактик и межзвездной среды. В ультрафиолетовом диапазоне длин волн наиболее интенсивно излучают такие важнейшие элементы, как азот, кислород, углерод, водород. Получение соответствующих спектров позволяет детально изучать химический состав этих удаленных космических объектов, что очень важно для понимания их природы и выявления закономерностей происхождения и эволюции. В нашей стране такие исследования проводились на спутниках «Космос» и пилотируемом корабле «Союз-13», в США и западноевропейских странах — на спутниках ОАО и на недавно запущенном специализированном спутнике «Ультрафиолетовый Эксплорер» (IUE).

На корабле «Союз-13» был установлен ультрафиолетовый менисковый телескоп «Орион-2». Космонавты П. И. Климук и В. В. Лебедев за 16 сеансов наблюдений получили около 10 тыс. спектрограмм примерно 3000 звезд в диапазоне длин волн 200—400 нм с разрешением около 10 нм. Некоторые из спектрограмм относились к слабым объектам, соответствующим по яркости свечения двенадцатой звездной величине. Благодаря интенсивному развитию этой области внеатмосферной астрономии в настоящее время на спутнике IUE регистрируются значительно более слабые удаленные источники (молодые горячие звезды, холодные звезды, вне-

галактические объекты), вплоть до семнадцатой звездной величины, что позволило существенно расширить границы наблюдаемой Вселенной.

Значительных успехов добилась возникшая в конце 40-х годов рентгеновская астрономия. Первый рентгеновский источник Скорпион X-1 был обнаружен в 1962 г., в настоящее время число известных рентгеновских источников превысило 1000 — столько их содержится в каталоге 1979 г., охватывающем 30% всего неба. К числу отождествленных источников относятся активные ядра галактик, скопления галактик и нейтронные звезды, входящие в тесные двойные звездные системы.

Теоретические предсказания астрофизиков о существовании нейтронных звезд были подтверждены открытием в 1968 г. радиопульсаров — источников периодических всплесков направленного излучения радиоволн. Сейчас наблюдаются сотни пульсаров с периодами повторяемости всплесков от сотых долей до нескольких секунд. Согласно общепринятой концепции эти всплески вызываются активными областями быстровращающейся сверхплотной звезды, сжавшейся до размеров в 10—30 км на конечной стадии своей эволюции. Теоретический диапазон масс для нейтронных звезд заключен в пределах $0{,}5\ M_\odot < M < 3M_\odot$, где $M_\odot$ — масса Солнца. Отсюда следует, что плотность вещества в их центральной части может превышать плотность атомного ядра, равную $3 \cdot 10^{14}$ г/см^3. Существуют косвенные оценки масс нейтронных звезд, которые входят в тесные двойные системы, являющиеся рентгеновскими источниками. По известным параметрам для шести таких систем $1{,}2\ M_\odot < M < 1{,}8\ M_\odot$.

Из теории звездной эволюции следует, что, исчерпав запасы ядерного топлива, звезда начнет остывать. Согласно представлениям современной статистической физики максимальная масса, которая может удерживаться в равновесии холодными электронами, равна $M = 5{,}75\ M_\odot/\mu_e$, где μ_e — число нуклонов, приходящихся на один электрон. Эта масса получила название предельной массы Чандрасекара. В настоящее время считают, что звезды с $M \leqslant 3M_\odot$ теряют массу, медленно эволюционируя в состояние белого карлика с $M \simeq M_\odot$. Потеря массы в ходе звездной эволюции подтверждается наблюдениями, прежде всего примерами образования планетарных туманностей. Верхний предел масс звезд, превращающихся в белые карлики, определяется из наблюдений звездных ассоциаций. Звезды более массивные, с $M > (3—5)M_\odot$, сбрасывают внешнюю оболочку — взрываются, что наблюдается как вспышки сверхновых; при этом в рамках гипотезы о механизме остывания ядра после взрыва, их ядра превращаются в результате быстрого сжатия, или коллапса, в нейтронные звезды или так называемые «черные дыры». Энергия, излучаемая при таких взрывах, достигает колоссальной величины, сравнимой с излучением миллиардов звезд Галактики. Взрыв сверхновой не такое уж редкое событие: средняя частота их появления в галактиках, аналогичных нашей, оценивается как приблизительно одно событие за 20—25 лет. Можно также оценить частоту вспышек



Рис. 46. Одна из галактических туманностей, в которых образуются звезды

сверхновых по количеству пульсаров и времени их активной жизни. В этом случае частота событий должна быть выше, примерно одна вспышка за 5—10 лет. На самом деле эти оценки оказываются завышенными, что частично можно объяснить интенсивным поглощением оптической части излучения скоплением газа в плоскости Галактики. К тому же до недавнего времени удавалось наблюдать только сравнительно близко происходившие события, поэтому на протяжении почти тысячелетия было зарегистрировано лишь несколько вспышек сверхновых. Такую вспышку наблюдали, в частности, восточные астрономы в 1054 г., в результате этой вспышки возникла хорошо известная Крабовидная туманность в созвездии Тельца. В ее центре находится нейтронная звезда — остаток существовавшей до взрыва и катастрофически сжавшейся массивной звезды. С остатками взрыва сверхновых отождествляют также мощные источники радиоизлучения ЗС58 и Кассиопея-А.

Еще более массивные звезды могут эволюционировать в состояние «черной дыры», минуя стадию нейтронной звезды. Как следует из теории, если после взрыва сверхновой остается компактный остаток с массой $M > 3M_{\odot}$, то он образует «черную дыру». Это обусловлено тем, что давление вырожденных нейтронов не может противостоять силам тяготения, и после исчерпания ядерного топлива такая звезда должна неограниченно сжиматься. В процессе релятивистского коллапса достигается поверхность гравитационного, или шварцшильдовского, радиуса (иногда называемого также «горизонтом события»), наименьшего радиуса сжимающейся звезды, с которого ни частицы, ни свет уже не могут выйти наружу — они не видны для внешнего наблюдателя. Этим и объясняется столь экзотическое название «дыра». Нагляднее эту ситуацию можно представить себе, вспомнив о круговой, или первой космической скорости, которая растет по мере стягивания массы к центру гравитирующего тела. Радиус, при котором для любой частицы эта скорость сравнивается со скоростью света, и называют гравитационным радиусом.

В пределах «черной дыры» должны сильно меняться геометрические свойства пространства и времени (метрики), не укладывающиеся в привычные нам физические представления. Это области особого состояния вещества с бесконечно большой плотностью, представляющие собой пространственно-временны́е сингулярности. Однако, несмотря на свою экзотичность, это, по-видимому, довольно распространенные объекты во Вселенной — число их только в нашей Галактике по оценкам около десяти миллионов. Предполагаемый диапазон размеров и соответственно масс «черных дыр» очень велик, минимальные, возможно, имеют размер атомной частицы, а максимальные могут находиться в центрах источников колоссальной энергии во Вселенной — квазаров и в центрах галактик и иметь массу порядка $10^8 M_{\odot}$. Между двумя этими типами «черных дыр» есть, однако, принципиальная разница. Массивные «черные дыры» продолжают

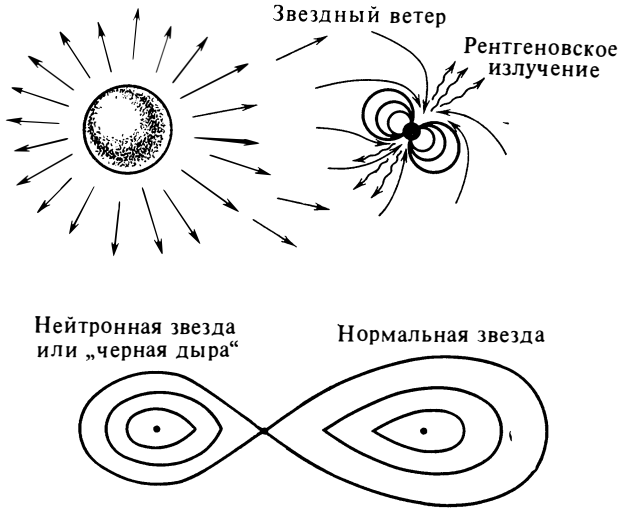


Рис. 47. Механизм генерации рентгеновского излучения в тесной двойной системе (модель)

Внизу модель образования односвязной области в двойной системе

образовываться в настоящее время как конечный этап эволюции массивных звезд или ядер галактик, в то время как «черные дыры» малой массы предположительно могли образоваться в начальный этап расширения Вселенной вследствие некоторых особенностей спектра возмущений метрики.

Экспериментальное обнаружение нейтронных звезд и «черных дыр» стало возможным по излучению, возникающему благодаря взаимодействию с их ближайшими компаньонами. За последние годы большое развитие получила теория тесных двойных систем. В рамках разрабатываемых сейчас теоретических моделей рентгеновское излучение возникает в случае, если вблизи нейтронной звезды или «черной дыры» находится нормальная звезда, теряющая вещество вследствие мощного гравитационного притяжения ее соседа (рис. 47). Наиболее интенсивная потеря вещества идет тогда, когда звезда в ходе эволюции расширится и достигнет границ поверхности Роша — такой эквипотенциальной поверхности в двойной системе, когда образуется односвязная область (рис. 47). При падении (аккреции) вещества на поверхность нейтронной звезды, обладающей сильным магнитным полем (создающим соответственно направленность потока к полюсам), или при образовании газового диска во вращающейся двойной системе с «черной дырой» (дисковая аккреция) происходит разогрев вещества до температуры в десятки и сотни миллионов градусов. Это и

создает направленное тормозное излучение горячей плазмы в рентгеновском диапазоне длин волн, модулированное эффектами вращения как самой нейтронной звезды, так и всей двойной системы. Среди обнаруженных источников выделяются такие мощные рентгеновские пульсары, как Центавр X-1, Геркулес X-1, Лебедь X-1 и др.

В исследования источников рентгеновского излучения большой вклад внесли эксперименты ученых многих стран мира. Длительные наблюдения, позволившие отождествить большое число рентгеновских источников, проводились на американских спутниках ОАО-3 («Коперник»), запуск которого был посвящен 500-летнему юбилею великого польского астронома; «Ухуру», HEAO-I и HEAO-II («Эйнштейн»), запущенном в год 100-летия со дня рождения А. Эйнштейна. В СССР одними из первых были измерения на спутниках «Космос-428» и «Космос-496». Обширные исследования рентгеновского излучения Крабовидной туманности, остатков сверхновой в созвездии Парус и других источников были выполнены на орбитальной станции «Салют-4» при помощи рентгеновских телескопов РТ-4 и «Филин». Были обнаружены, в частности, значительные вариации яркости и спектральных характеристик источника Лебедь X-1 вследствие его перехода из одного состояния активности в другое и высказано предположение, что эта гигантская голубая звезда с массой $\sim 30 M_{\odot}$ представляет собой двойную систему, в которую входит «черная дыра». Если это предположение подтвердится, то откроется возможность экспериментального уточнения и дальнейшего развития общей теории относительности, определяющей свойства «черных дыр». Сейчас потенциальными соседями «черных дыр» называют еще два источника: один в созвездии Персея, а другой — на границе созвездий Ориона и Единорога. Сверхтяжелая «черная дыра» предположительно открыта в центре галактики М 87 в созвездии Девы.

Важную информацию о процессах ядерных превращений, связанных с экстремальными состояниями вещества в ядрах галактик, в квазарах и при взрывах звезд, об условиях синтеза тяжелых элементов, о плотности материи и антиматерии и интенсивности магнитных и электрических полей в межзвездном и межгалактическом пространстве, о природе и происхождении космических лучей можно ожидать от гамма-астрономии. Здесь пока еще сделаны самые первые шаги, что объясняется серьезными техническими трудностями проведения таких экспериментов, связанными с необходимостью регистрации очень малых потоков гамма-квантов. Тем не менее измерения, проведенные с использованием первых сравнительно несложных инструментов на спутниках «Космос-251», «Космос-264», «Прогноз-6», «Прогноз-7», SAS-2, «Вела», ISEE, COS-B, на аппаратах «Венера-11» и «Венера-12», уже позволили получить ряд интересных данных.

Успешные наблюдения кратковременных всплесков жесткого рентгеновского и гамма-излучения проведены в рамках комплексного экспери-

мента на станциях «Прогноз-6», «Прогноз-7», «Венера-11» и «Венера-12» при помощи советско-французских приборов «Снег-2МП», «Снег-2М3» и советского прибора «Конус». Они позволили зарегистрировать ряд событий, являющихся «отголосками» грандиозных катастроф во Вселенной: сопровождающее их излучение в этом диапазоне спектра в миллиарды раз больше солнечного. Одновременная (а точнее, с определенным опережением или запаздыванием) регистрация тех же событий на нескольких космических аппаратах, включая американские «Вела», «Гелиос-2», ISEE, дает возможность получить пространственную привязку индивидуальных всплесков, используя триангуляционную методику.

К настоящему времени открыто около двадцати локальных источников гамма-излучения, часть которых отождествлена с рентгеновскими источниками и радиопульсарами; получены сведения о распределении в Галактике межзвездного вещества и наличии в его составе больших количеств молекулярного водорода. Один из наиболее активных и ярких гамма-источников в Галактике, отождествленный с рентгеновским источником Лебедь X-3, по-видимому, является двойной системой, включающей нейтронную звезду, на которую аккретирует вещество соседней массивной звезды, а сама система предположительно находится внутри пылевого облака, препятствующего ее обнаружению в оптическом диапазоне длин волн. С существованием нейтронной звезды, очевидно, связан и гамма-источник, отождествляемый с радиопульсаром в центре Крабовидной туманности, электромагнитное излучение которого может вызываться торможением электронов в сверхсильном магнитном поле этой звезды напряженностью до 10^{12} Гс.

Исключительный интерес представляет одновременная регистрация на аппаратах «Прогноз-7», «Венера-11, 12» 5 марта 1979 г. мощного всплеска жесткого рентгеновского излучения с последующим резким (примерно в 100 раз) спадом интенсивности и пульсирующим хвостом с периодом 8 с (рис. 48). Область излучения проектируется на Магелланово облако, в ту его часть, где лежит объект, предположительно являющийся остатком сверхновой. Зарегистрированное событие представляет собой типичную картину нестационарного рентгеновского пульсара (нейтронной звезды) и может быть объяснено процессом аккреции в тесной двойной системе в результате накопления некоторой «неустойчивости». Если предварительно оцененное расстояние до этого источника (около 100 пс) окажется справедливым, то его энерговыделение в начальной фазе аккреции должно достигать громадной величины — около 10^{42} эрг, что на несколько порядков превышает оценки для других обнаруженных рентгеновских пульсаров в Галактике.

Дальнейший прогресс рентгеновской и гамма-астрономии непосредственно связан с совершенствованием аппаратуры, созданием сложных специализированных инструментов. В нашей стране с этой целью создается

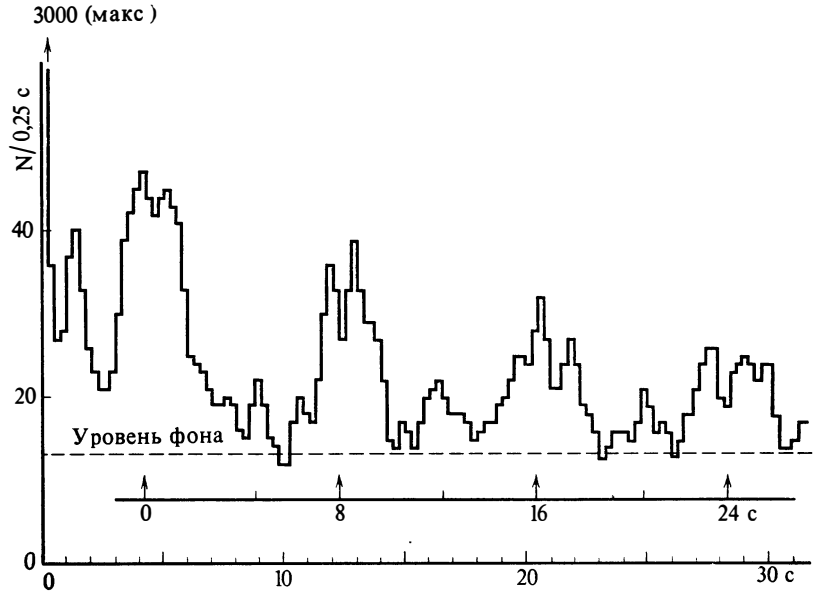


Рис. 48. Мощный всплеск и последующее пульсирующее затухание рентгеновского излучения, зарегистрированного станцией «Венера-12» 5.III 1979 г.

По оси ординат — интенсивность (скорость счета в импульсах за 0,25 с); по оси абсцисс — время регистрации начала отсчета от максимума всплеска. Хорошо видна 8-секундная периодичность всплесков

гамма-телескоп весом около полутора тонн, предназначенный для размещения на орбитальной станции (рис. 49). Принцип построения, конструкция и методы регистрации подобных телескопов существенно иные, чем у привычных нам оптических: вместо сложной оптики и светоприемников используются пакеты пластин, сцинтилляционных счетчиков, искровых камер, кристаллических детекторов. Чувствительность оптических телескопов, т. е. их способность регистрировать слабые объекты, достигается, помимо увеличения диаметра и относительного отверстия (отношения диаметра объектива к фокусному расстоянию), за счет высокой точности стабилизации, чтобы обеспечить необходимую длительность экспозиций. В отличие от них, чувствительность рентгеновских и гамма-телескопов целиком определяется эффективной площадью их приемников излучения и уровнем фона, учет которого особенно важен в гамма-астрономии из-за малой интенсивности сигналов. На станции «Салют-6» проводился эксперимент «Гамма-фон» при помощи малогабаритного гамма-телескопа

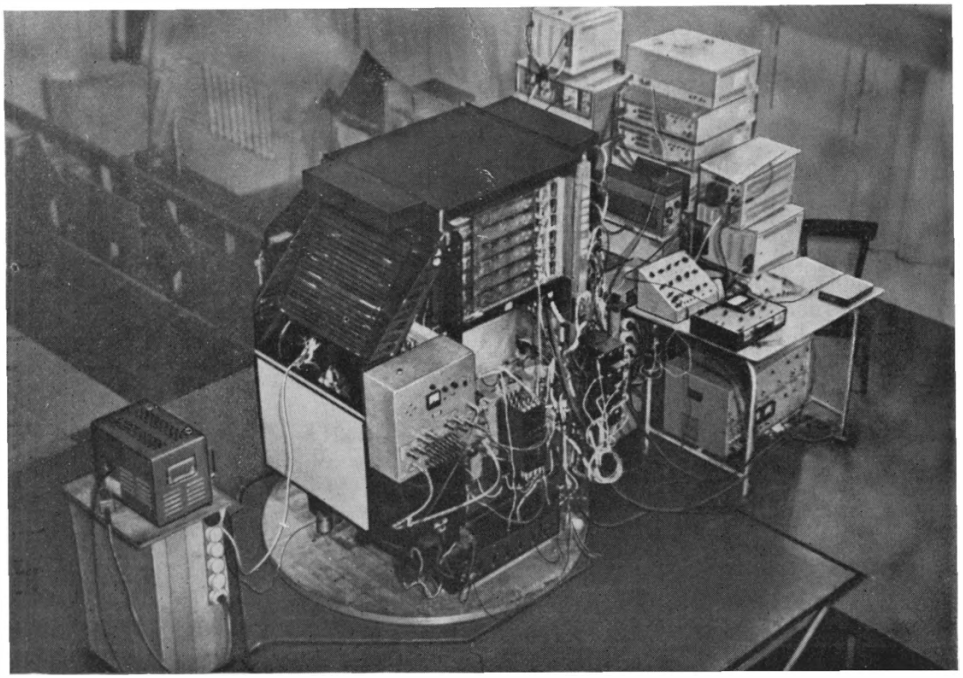


Рис. 49. Тяжелый гамма-телескоп, предназначенный для установки на орбитальной станции, с комплексом контрольно-проверочной аппаратуры при наземных испытаниях

«Елена», доставленного на станцию грузовым кораблем «Прогресс-5». Основной задачей этого эксперимента являлось изучение исходного фонового уровня, существующего на станции вследствие рождения гамма-квантов в ее конструкции при бомбардировке энергичными заряженными частицами космических лучей и околоземного космического пространства. Вклад этого фона необходимо будет учесть при проведении в будущем прецизионных измерений гамма-излучения от астрофизических объектов.

В изучении различных космических объектов важную роль играет радиоастрономия. Наблюдения радиолиний атомов водорода и возбужденных двухатомных молекул в источниках радиоволн сверхвысокочастотного диапазона — космических мазерах, сосредоточенных в газопылевых туманностях, открытия реликтового (фонового) излучения, пульсаров и радиогалактик стали крупнейшими достижениями современной астрофизики. Советским ученым принадлежит особенно большая заслуга в решении ряда теоретических проблем, среди которых нужно прежде всего назвать

объяснение источников космического радиоизлучения синхротронным механизмом; исследование механизма излучения межзвездного водорода и предсказание существования ряда молекулярных линий радикалов, в частности гидроксила; исследование природы реликтового излучения — «отголоска» ранних этапов эволюции материи — в рамках интенсивно разрабатываемой космологической модели расширяющейся Вселенной. Важно подчеркнуть, что благодаря успехам радиоастрономии проблема эволюции Вселенной постепенно становится на экспериментальную основу. Исследования относительно небольших пространственных вариаций интенсивности фонового излучения наряду с данными о радиоизлучении облаков горячего газа в областях скоплений галактик открывают перспективы ответа на вопрос о том, будет ли расширение Вселенной продолжаться неограниченно долго или же по прошествии миллиардов лет оно сменится сжатием.

Весьма прогрессивным направлением обещает стать космическая радиоастрономия, требующая выноса больших радиотелескопов в космическое пространство. Чем больше площадь телескопа, тем больше энергии от излучающего объекта он способен собрать, т. е. тем выше его чувствительность. На повестку дня поставлено создание бортовых радиотелескопов с диаметрами антенн в десятки (а в перспективе — в сотни) метров, представляющих высокоточные конструкции, по своим размерам значительно превышающие размер выводимого в космос космического аппарата. Поэтому требуется развертывание первоначально сложенной конструкции, что удобно делать с использованием орбитальных комплексов и при необходимости с помощью космонавтов, работающих в открытом космосе. Начало осуществлению таких проектов положено созданием на околоземной орбите космического телескопа КРТ-10 — параболоида диаметром 10 м. Он был доставлен к станции «Салют-6» грузовым кораблем «Прогресс-7» в сложенном состоянии, в виде цилиндра поперечником 0,4 м, и затем раскрыт с участием космонавтов. После выполнения сложной операции юстировки телескопа были проведены исследования излучения плоскости нашей Галактики (Млечного Пути), пульсара, а также земной поверхности. Работа осуществлялась синхронно с наземной антенной диаметром 70 м Центра дальней космической связи, что позволило впервые практически реализовать радиоинтерферометр с базой Земля — космос.

Вынос в космос радиотелескопов, особенно на большие расстояния (например, порядка радиуса орбиты Луны или планеты), открывает перспективы создания радиоинтерферометров со сверхдлинными базами. Этот метод был предложен и теоретически обоснован советскими учеными еще в 1963 г. В основе его лежит одновременный прием сигналов от исследуемого объекта на далеко разнесенные друг от друга антенны, что позволяет создать как бы аналог огромного радиотелескопа, размер которого определяется расстоянием между антеннами (базой), а от этого непосредствен-

но зависит разрешение, возможность изучения тонкой структуры исследуемого объекта. Сейчас такие системы на Земле работают с предельными базами до 10 тыс. км, реализованными в советско-американских радиоинтерферометрических исследованиях. Это обеспечивает на волне 1,35 см (линии излучения водяных паров в космических мазерах) угловое разрешение $3 \cdot 10^{-4}$ сек дуги — в тысячи раз лучше, чем разрешение, достигнутое на больших оптических телескопах. Повышение углового разрешения необходимо для выяснения «сверхтонкой» структуры излучающих источников (активных ядер галактик, квазаров и пульсаров), обладающих ничтожно малыми угловыми размерами — в тысячные доли секунды, и имеет решающее значение для изучения их природы. Космическая радиоинтерферометрия с несравненно бо́льшими базами позволяет поставить фундаментальной важности проблему измерения прямым геометрическим методом расстояний до удаленных галактических и метагалактических объектов, что важно для решения проблемы возраста Вселенной и мощности излучения заполняющих ее объектов.

Радиоинтерферометрия сверхвысокого разрешения открывает новое направление и в классической астрометрии. Она позволяет вместо существующей нестабильной (деформируемой) системы небесных координат, опирающейся на звезды нашей Галактики, получить лучшее приближение к инерциальной системе координат, использующей в качестве опорной сети удаленные галактики и квазизвездные источники, практически не испытывающие углового смещения относительно Земли. Это важно не только для изучения Вселенной, но и для решения многих чисто земных проблем, связанных с повышением точности определения формы Земли, неравномерности ее вращения, движения полюсов, смещений коры и т. д. Радиоинтерферометрический прием сигналов от радиомаяков, установленных на космических аппаратах или на других небесных телах, обеспечит значительное повышение точности определения параметров их движения и характера возмущений. Такой метод может, в частности, найти применение в решении задачи определения положения и направления дрейфа аэростатов в атмосферах других планет.

Исследованиями последних лет выявлено, что основная часть мощности излучения таких объектов, как квазары, ядра нестационарных галактик, гигантские звезды и протозвезды, облака космической пыли и прежде всего центральная часть нашей Галактики и ряд туманностей в ее пределах, сосредоточена в далекой инфракрасной области спектра (500—30 мкм). Создается представление, что большая доля излучения Вселенной находится именно в этом диапазоне длин волн. Так, мощность инфракрасного излучения знаменитого квазара 3С 273, обладающего сверхмассивным компактным ядром и протяженными выбросами газа с релятивистскими скоростями, в несколько тысяч раз превышает мощность всего оптического излучения Галактики. Природа физических процессов,

ответственных за это излучение, пока неясна. Возможно, что она непосредственно связана с огромными массами межзвездной пыли, экранирующей горячие источники и переизлучающей поглощаемую от них энергию на более длинных волнах. В любом случае, однако, это излучение отражает общие процессы эволюции звездных объектов. Эксперименты в этом направлении обещают дать важную информацию, хотя практическое их осуществление сопряжено с большими техническими трудностями.

Одним из первых шагов стали исследования в галактической плоскости при помощи инфракрасного сканирующего телескопа-спектрометра с диаметром зеркала 0,3 м и малоинерционным болометрическим приемником на орбитальной станции «Салют-5». Были проведены измерения спектров излучения инфракрасных источников в большой туманности Ориона, где предположительно может идти процесс рождения новых звезд. Следующим этапом стал запуск на станции «Салют-6» большого субмиллиметрового телескопа БСТ с диаметром главного зеркала 1,5 м и криогенной системой для охлаждения приемников излучения. Среди интересных направлений, открываемых исследованиями в этом диапазоне длин волн, весьма перспективным обещает стать изучение спектральных линий сложных молекул в газово-пылевых комплексах Галактики. Эти данные могут помочь, в частности, в решении проблемы происхождения планетных систем.

Сверхвысокого разрешения получаемых спектров можно добиться с использованием ИК-интерферометров, создание которых возможно путем разнесения двух инструментов в пределах одной большой космической конструкции или установок их на двух находящихся близко друг от друга космических аппаратах. Для успешного осуществления этого сложного эксперимента требуется обеспечить сохранение взаимного расположения инструментов с высокой точностью при проведении синхронных наблюдений.

Широкие перспективы открываются перед нейтринной астрономией, поскольку регистрация потоков нейтрино от звезд представляет собой, по существу, единственную возможность экспериментального изучения структуры их центральных областей. Интерес к этой области астрономии еще более возрос после недавно проведенных советскими учеными тонких экспериментов, по-видимому указывающих на наличие у нейтрино массы покоя. В результате создаются предпосылки для значительного уточнения представлений о строении Вселенной, об образовании и эволюции галактик, о процессах, происходящих в звездах, включая наше Солнце.

На протяжении нескольких десятилетий форпостом физики частиц высоких энергий служили космические лучи, представляющие собой релятивистские заряженные частицы — протоны, ядра, мезоны и гипероны, электроны и позитроны. Они были открыты свыше 50 лет назад и с тех пор непрерывно привлекают к себе внимание физиков и астрофизиков.

В исследованиях космических лучей существует два направления — космофизическое и ядерно-физическое. Космофизический аспект непосредственно связан прежде всего с проблемой происхождения космических лучей — весьма существенного энергетического и динамического фактора в межзвездной среде: по оценкам плотность их энергии в Галактике порядка плотности кинетической энергии газа и плотности энергии магнитного поля. Обсуждаются две основные модели — «внешняя», метагалактическая, и «внутренняя», галактическая. В первой предполагается, что частицы космических лучей приходят в Галактику извне, во второй — что они рождаются в пределах нашей Галактики при взрывах сверхновых звезд и вблизи пульсаров, находящихся в оболочках сверхновых, и возможно также — при взрывах внутри галактического ядра. В рамках второй модели рассматриваются две разновидности: галактическая модель с квазисферическим гало и дисковая. Для выбора между галактической и метагалактической моделями необходимо экспериментально установить соотношение между плотностями энергии космических лучей в Галактике и вне ее: если в Галактике она заметно выше, то метагалактическая модель должна быть отвергнута. Решение этой проблемы будет непосредственно зависеть от успехов развития гамма-астрономии.

В Советском Союзе, начиная с запуска первых спутников, уделялось большое внимание экспериментальному определению интенсивности, состава и вариаций галактических (первичных) и солнечных космических лучей. Было измерено относительное содержание легких ядер, согласующееся с оценкой проходимой космическими лучами толщи межзвездного водорода (около 3—5 г/см^2); получены энергетические спектры различных групп ядер; выявлен 11-летний ход первичного космического излучения, другие модуляционные эффекты, зависящие от солнечной активности.

Оказалось, что 11-летний солнечный цикл наиболее сильно сказывается на частицах сравнительно малых энергий, что находится в согласии с существующими представлениями о роли Солнца в создании подобных вариаций. Очевидно, изменение интенсивности первичных космических лучей вызывается некоторыми образованиями, вероятно, сгустками плазмы с магнитным полем, которые движутся по радиусу от Солнца с определенной скоростью и в то же время смещаются относительно Солнца в результате его вращения вокруг своей оси. С 11-летним ходом тесно связан и радиальный градиент интенсивности космических лучей. В годы максимума солнечной активности часть первичных космических лучей особенно сильно выметается из Солнечной системы корпускулярными потоками, испускаемыми Солнцем. По мере удаления от Солнца интенсивность космических лучей возрастает. При этом одни и те же изменения (например, форбуш-спад) в разных областях Солнечной системы наступают не одновременно, а с некоторым сдвигом по времени, в зависимости от расстояния, на котором находятся точки наблюдения.

В годы минимума солнечной активности были обнаружены плавные вариации интенсивности космического излучения с периодом, составляющим около 7 дней, близким к времени распространения спокойного солнечного ветра в Солнечной системе. Эти результаты показали, что вариации интенсивности космического излучения связаны не только с появлением мощных корпускулярных потоков, но и обусловливаются магнитной обстановкой, возникающей в некоторой точке пространства при нормальном истечении корпускул из Солнца, т. е. при спокойном солнечном ветре. Между тем такие спокойные, плавные изменения интенсивности первичного космического излучения было невозможно наблюдать в годы, близкие к максимуму солнечной активности, так как они затушевывались более сильными и частыми возмущениями, связанными со вспышками на Солнце. Эти исследования расширили наши представления о вариациях космических лучей, взаимодействии их с солнечным ветром и одновременно внесли определенный вклад в решение проблемы солнечно-земных связей.

Ядерно-физический аспект исследования космических лучей теснейшим образом связан с физикой элементарных частиц. Этот раздел физики изучает материю в наиболее элементарном ее представлении. Именно с помощью космических лучей было открыто большое многообразие так называемых «элементарных» частиц в природе, изучены ядерные процессы, в которых они рождаются, и их основные свойства. Для более детального изучения элементарных частиц и процессов их взаимодействия ядерная физика использует гигантские ускорители, позволяющие получать интенсивные потоки протонов и других частиц с энергиями в сотни и тысячи миллиардов электронвольт. Но энергия элементарных частиц, входящих в состав космических лучей, еще на несколько порядков выше: встречаются частицы с энергиями до 10^{17}—10^{20} эВ. Поэтому космические лучи по-прежнему остаются важным дополнительным средством изучения микромира.

Современные теоретические представления о сильных взаимодействиях элементарных частиц ставят перед экспериментальной физикой ряд важных задач, в том числе изучение зависимости эффективных сечений взаимодействия нуклонов с нуклонами и сложными ядрами в широком диапазоне энергий сталкивающихся частиц. Однако первичное космическое излучение высоких и сверхвысоких энергий сильно поглощается в атмосфере Земли; поэтому его интенсивность даже на высоте гор столь мала, что проведение соответствующих экспериментов крайне затруднено.

Ситуация резко улучшилась с появлением возможности использования космических аппаратов. Начало исследованиям по физике частиц высоких энергий с помощью космических средств было положено на космических станциях «Протон» (рис. 50). Четыре спутника этой серии были запущены в период с 1965 по 1968 г. при помощи созданной к этому времени мощной ракеты-носителя.

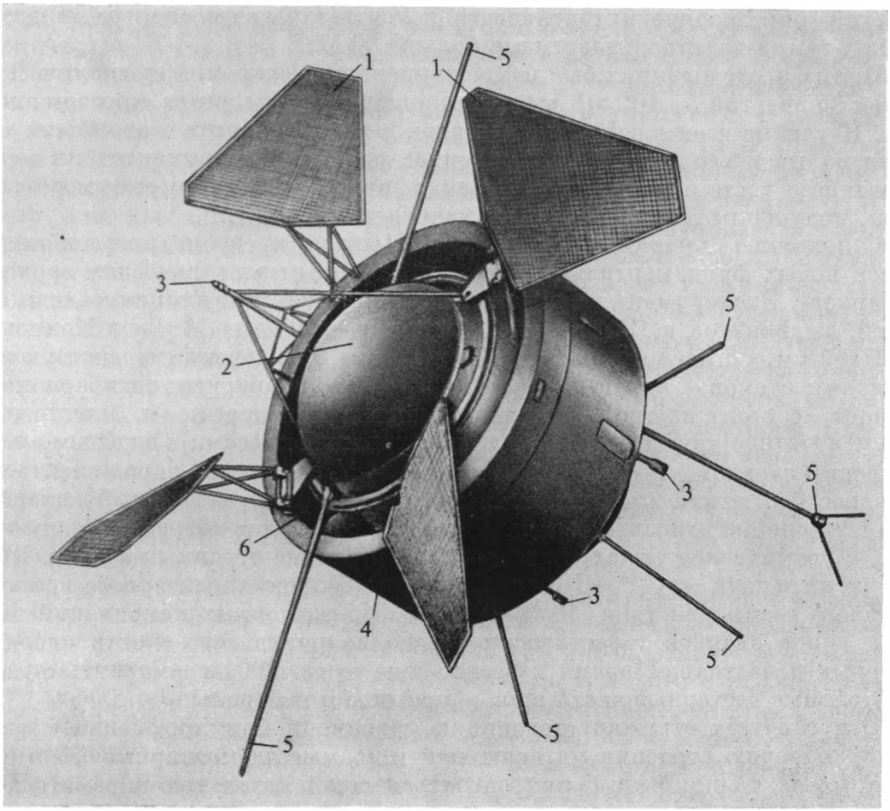


Рис. 50. Тяжелый искусственный спутник Земли для изучения частиц сверхвысокой энергии «Протон-1»

1 — панели солнечной энергетической установки; *2* — герметичный корпус; *3* — датчик системы индикации положения осей станции в пространстве; *4* — внешняя оболочка; *5* — антенны телеметрического, радиокомандного комплекса и комплекса внешнетраекторных измерений; *6* — химические источники тока

Для проведения обширного комплекса научных исследований на спутниках «Протон» советскими учеными была создана уникальная аппаратура. С ее помощью предусматривалось решение таких задач, как изучение энергетического спектра и химического состава частиц первичных космических лучей в интервале энергий до 10^{14} эВ, изучение неупругих взаимодействий протонов сверхвысоких энергий до 10^{12} эВ, определение абсолютной интенсивности и энергетического спектра электронов высоких

энергий, определение интенсивности и энергетического спектра галактических гамма-квантов с энергиями больше 50 МэВ.

В этих исследованиях был измерен энергетический спектр космических лучей до энергий $5 \cdot 10^{15}$ эВ, выявлено изменение их состава с ростом энергии. Изучение взаимодействия протонов высокой энергии с атомными ядрами подтвердило и развило полученное ранее в экспериментах на горах указание о росте эффективного сечения, предвосхитив тем самым результаты, полученные впоследствии на ускорителях.

С помощью аппаратуры спутников «Протон» предусматривался также поиск новых фундаментальных частиц с дробным электрическим зарядом (кварков). Эксперимент по обнаружению кварков был инициирован гипотезой, выдвинутой в 1963 г. американскими физиками М. Гелл-Манном и Д. Цвейгом. Согласно этой гипотезе частицы, сильно взаимодействующие с ядрами атомов — адроны, к которым относят барионы, антибарионы и мезоны,—состоят из трех основных элементарных частиц (и, естественно, их античастиц) двух типов, обладающих разными массами и дробным электрическим зарядом в $-{}^1/_3 e$ (${}^1/_3 e$) и ${}^2/_3 e$ ($-{}^2/_3 e$), где e — заряд электрона. Позднее был также предложен третий тип кварка — «странный» кварк — для объяснения относительно долгоживущих адронов, впервые обнаруженных в космических лучах и получивших название странных частиц. Хотя время их жизни $\sim 10^{-10} - 10^{-8}$ с, оно много больше характерного времени сильного взаимодействия, $10^{-24} - 10^{-23}$ с. Из различных комбинаций этих трех типов кварков теоретически можно получить весь спектр адронов, которых в настоящее время известно уже около 200, и построить фундаментальные составные части ядра — протоны и нейтроны.

Эта гипотеза отражает тенденцию современной микрофизики создать единую теорию строения материи, найти «самые элементарные» частицы, из которых можно было бы определять массы и остальные параметры существующих субатомных частиц в пределах отдельных групп, т. е. построить своего рода аналог таблицы Д. И. Менделеева для химических элементов. Поэтому данная проблема известна в литературе еще под названием спектра масс или третьей спектроскопии.

В земных лабораториях основными экспериментальными методами обнаружения кварков была бомбардировка протонов частицами высоких энергий из ускорителей или космическими лучами с последующей регистрацией гипотетического носителя дробного заряда. Однако, несмотря на всю элегантность теории, позволившей удивительно просто описать детали структуры адронов, усилия экспериментаторов в различных лабораториях мира не привели к успеху. Не были обнаружены кварки и в космических лучах, регистрировавшихся как на уровне моря, так и на горах.

Создание прибора для обнаружения кварков на спутниках «Протон» потребовало разработки специальных пропорциональных счетчиков большой площади в 0,4 м². В приборе было использовано 12 таких счетчиков,

чтобы резко снизить вероятность имитации кварков протонами первичных космических лучей. Тем не менее обнаружить кварки также не удалось.

По-видимому, полученные отрицательные результаты не являются случайными и не отвергают идеи кварков, которая за последние годы находит все больше приверженцев. Согласно развиваемым сейчас представлениям в силу фундаментальности кварков их невозможно отделить от образуемых ими адронов (это так называемое «невылетание кварков»), и поэтому они необнаружимы в принципе. Теория получила дальнейшее серьезное развитие благодаря введению понятия своего рода правила отбора, согласно которому каждый тип кварков обладает тремя особенностями, называемыми цветами. Переносчики цвета, названные глюонами, предопределяют допустимые комбинации кварков при образовании более крупных частиц. В рамках этих представлений наметилось сходство природы сильных (ядерных) и слабых взаимодействий, которые проявляются на уровне наиболее фундаментальных частиц — кварков и лептонов. Помимо этих взаимодействий в природе, как известно, существуют еще два типа сил — гравитационные, определяющие строение макромира, и электромагнитные, определяющие строение атомов и молекул. И все они, по-видимому, объединяются некоторым общим свойством, лежащим в основе единой теории поля.

Значительным усовершенствованием теории, приведшим к еще большей стройности в мире элементарных частиц, явилось введение понятия четвертого типа кварка, который был назван «очарованным». Важным подкреплением реальности его существования и вместе с тем обоснованности новых теоретических построений стало экспериментальное обнаружение целого семейства новых адронов. Подобно позитронию, состоящему из электрона и позитрона, эти частицы, предсказанные новой теорией и получившие название семейства «чармония», представляют собой различные связанные состояния одного очарованного кварка и одного очарованного антикварка. Были открыты очарованные Д-мезоны, состоящие из очарованного кварка (антикварка) и обычного антикварка (кварка).

Построение теории структуры микромира еще далеко от своего завершения и потребует больших усилий ученых многих стран мира. Необходимость продвижения в область все более высоких энергий с целью исследований гипотетических частиц требует создания нового поколения ускорителей, что связано с большими затратами. Развитие космической техники и методики физического эксперимента позволит проводить в космическом пространстве детальное изучение процессов взаимодействия частиц сверхвысоких энергий с атомными ядрами, сложных ядерных структур и состава самих космических лучей очень большой энергии. Эти исследования дадут информацию о строении материи и одновременно о гигантских взрывных процессах, происходящих во Вселенной. На этом пути намечается наибольшее сближение в изучении проблем макро- и микромира.

XI
ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ

После запуска первого искусственного спутника и начавшегося развития исследований околоземного пространства новым шагом явились полеты человека в космос. Первый исторический полет в космос Юрия Алексеевича Гагарина стал важнейшим решающим этапом в осуществлении будущих межпланетных перелетов — многовековой мечты человечества.

На пути осуществления первого полета человека в космическое пространство за короткий срок были преодолены серьезные научные и технические трудности. Была создана ракета-носитель «Восток» для надежного вывода на орбиту корабля-спутника весом в несколько тонн; разработаны системы, обеспечивающие пребывание в космическом корабле космонавта, подвергающегося большим перегрузкам во время взлета и посадки, находящегося в состоянии невесомости, в условиях повышенной радиации и почти полного вакуума во внешней среде. Были созданы системы спуска и посадки корабля на Землю.

Такие факторы космического полета, как перегрузки и вибрации, могли быть достаточно хорошо исследованы в лабораториях на Земле. Что же касается организма человека в условиях невесомости, то в лабораторных условиях такое состояние можно было изучать только косвенным путем и получить лишь ограниченные данные. Кратковременная (не более минуты) невесомость реализуется при маневрах на самолете. В течение ряда лет проводились исследования на животных (сначала на ракетах, а потом при полетах на спутниках), что дало богатый научный материал.

Большие требования предъявлялись к автономным системам обеспечения жизнедеятельности — кондиционирования и регенерации воздуха, терморегулирования. Все эти системы должны работать автоматически, поддерживая условия в кабине корабля, при которых космонавт мог бы нормально жить и работать в течение нескольких суток. Сложной задачей явилось создание специального скафандра для космонавта, обеспечивающего необходимые условия для благополучного завершения полета в случае разгерметизации корабля.

Принципиально новые задачи решались при создании систем, необходимых для управления кораблем в полете и при возвращении на Землю. Чтобы не увеличивать вес корабля в десятки раз, его торможение при спуске на Землю в основном должно быть обеспечено за счет аэродинамического сопротивления в атмосфере. Такая схема и была принята для ко-

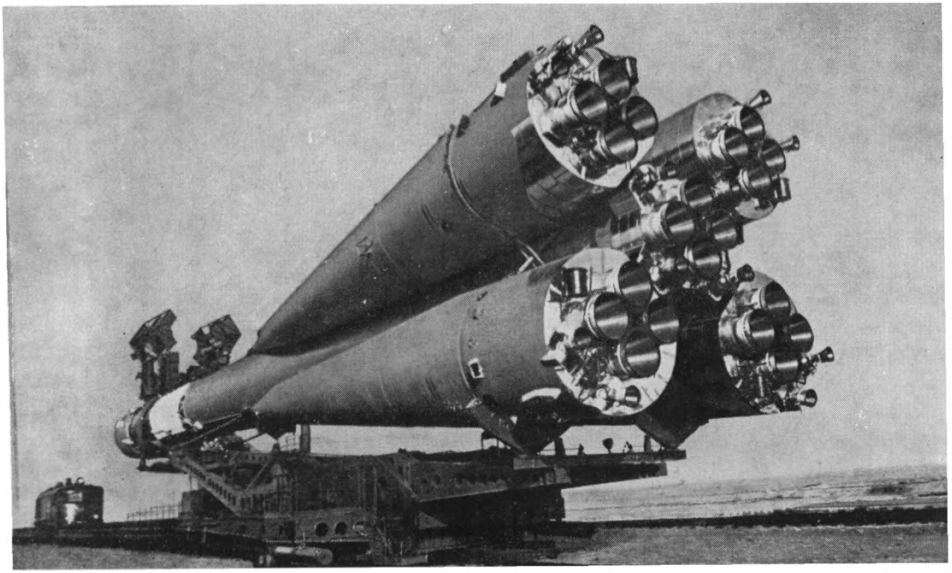


Рис. 51. Ракета-носитель «Восток»

раблей-спутников. Тормозной реактивный двигатель сообщал кораблю относительно небольшой импульс, чтобы уменьшить его скорость на 150—200 м/с. После схода с орбиты корабль осуществлял спуск по баллистической траектории, тормозился в плотных слоях атмосферы, и на дозвуковой скорости на высоте порядка 7 км вступала в действие парашютная система приземления. Тормозной импульс подбирался так, чтобы на траектории спуска перегрузки при торможении в атмосфере не превышали допустимых для человека. Для защиты космонавта от высоких температур, развивающихся при аэродинамическом торможении, поверхность кабины корабля была снабжена теплозащитным покрытием.

С момента включения двигательной установки до приземления корабль пролетал около 8000 км в течение примерно 30 мин. Приземление космонавта в первых полетах осуществлялось катапультированием из корабля с последующим спуском на парашюте, а в дальнейшем — в самом корабле с использованием системы мягкой посадки. Вся система управляемого баллистического спуска и приземления была разработана таким образом, чтобы обеспечить посадку в расчетную точку с точностью до десятков километров.

Трехступенчатая ракета-носитель «Восток» (рис. 51, 52) состоит из шести блоков и головного обтекателя, который защищает космический

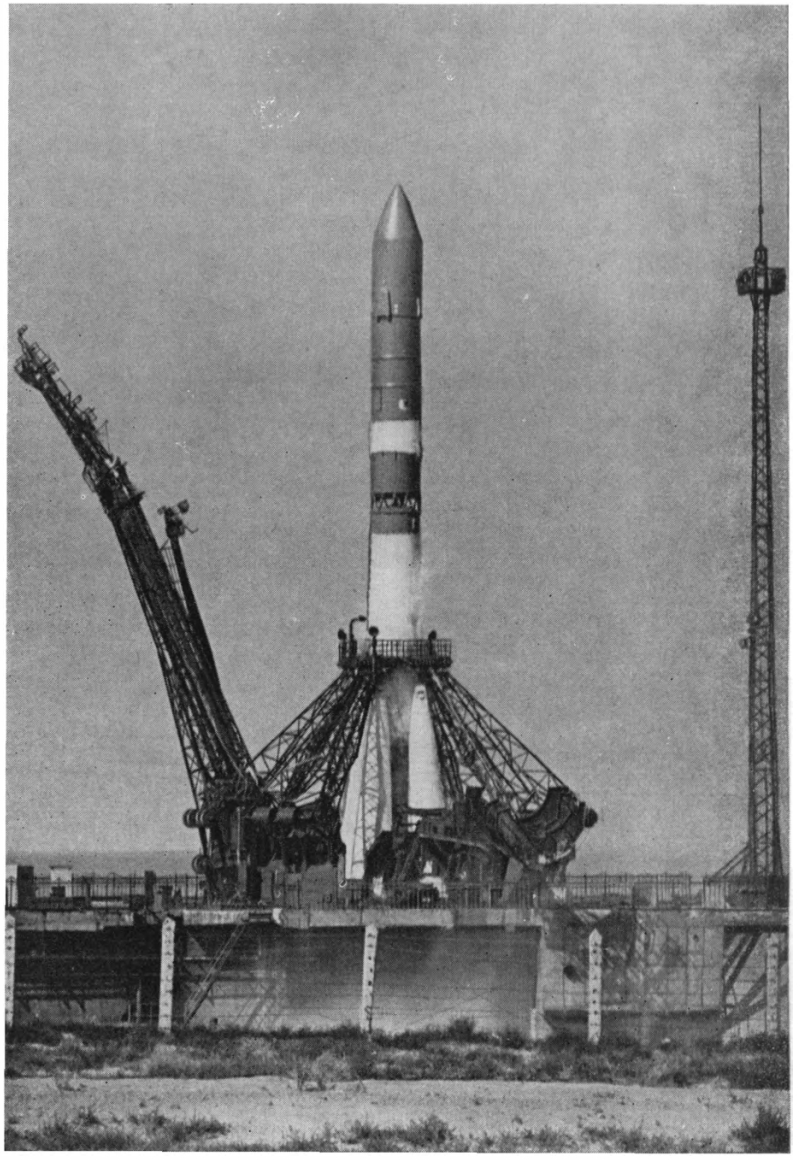


Рис. 52. Ракета-носитель «Восток» на стартовой позиции

корабль от аэродинамических нагрузок в плотных слоях атмосферы на активном участке полета. Первая и вторая ступени ракеты включают в себя центральный и четыре боковых блока, где размещены жидкостные реактивные двигатели; третья ступень оснащена самостоятельным двигателем. Общая длина ракеты — 38 м, ее диаметр у основания — более 10 м. Космический корабль «Восток» (рис. 53) состоит из двух основных частей: спускаемого аппарата с кабиной космонавта, где находится космонавт и все системы обеспечения жизнедеятельности, и приборного отсека, в котором размещается остальное бортовое оборудование. При вхождении корабля в плотные слои атмосферы спускаемый аппарат отделяется от приборного отсека, который сгорает. Такое конструктивное решение оказалось очень рациональным и выгодным в весовом отношении. Спускаемый аппарат имел форму шара диаметром 2,3 м и массой 2,4 т. В его корпусе было сделано три иллюминатора, закрытых жаропрочными стеклами. Запас пищи, воды и регенерационных веществ был рассчитан на 10 суток.

Создание кораблей-спутников потребовало больших усилий, широкого привлечения различных научных и конструкторских организаций. Сознание величия цели и упорная работа позволили им решить все задачи в короткий срок, и уже в мае 1960 г. начались экспериментальные запуски кораблей-спутников без человека на борту, которые проводились до марта 1961 г. На борту второго космического корабля-спутника находились живые существа — собаки Белка и Стрелка, впервые совершившие суточный полет в космос и благополучно возвратившиеся на Землю.

Большой экспериментальный материал, полученный при полетах первых космических кораблей-спутников, проверка в полете работы всех основных систем, включая системы возвращения на Землю, позволили советским ученым и конструкторам приступить к созданию корабля для полета человека в космос. В результате большой и напряженной работы был создан космический корабль «Восток». В марте 1961 г. были проведены два последних контрольных пуска этого корабля. В этих пусках в кресле пилота размещался манекен. Кроме того, в кабине находились подопытные животные.

Казалось, все было тщательнейшим образом продумано и проверено. И тем не менее после всех этих больших научных и лабораторных работ, после запуска ряда спутников с животными и различными датчиками первый полет человека все же таил какие-то загадки. Не все можно предвидеть, что случится в космосе. И поэтому С. П. Королев и все те, кто непосредственно участвовал в подготовке полета, испытывали большое волнение. Накануне полета первый космонавт планеты, имя которого вскоре облетело весь мир, крепко спал, а создатель корабля «Восток» провел тревожную ночь.

12 апреля 1961 г. в 9 ч 07 мин по московскому времени в Советском Союзе был дан старт первому полету человека в космическое пространство.

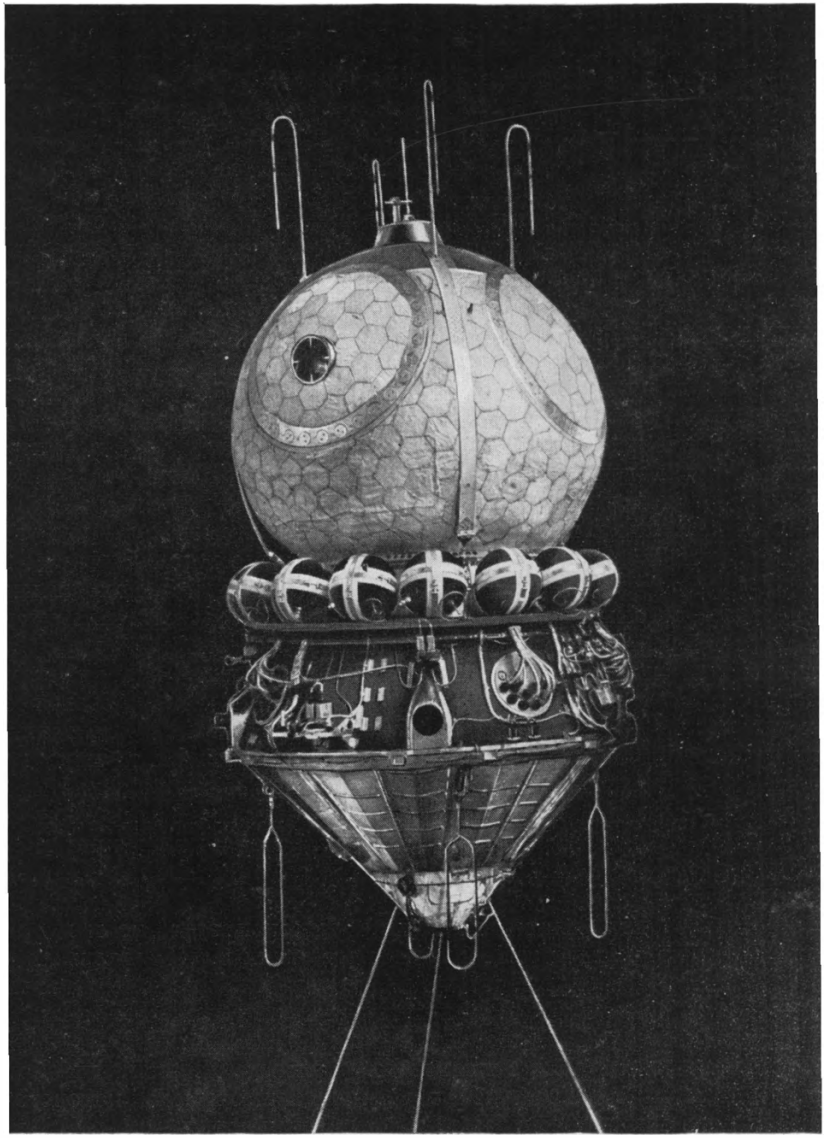


Рис. 53. Корабль-спутник «Восток-1» и внутреннее устройство его кабины

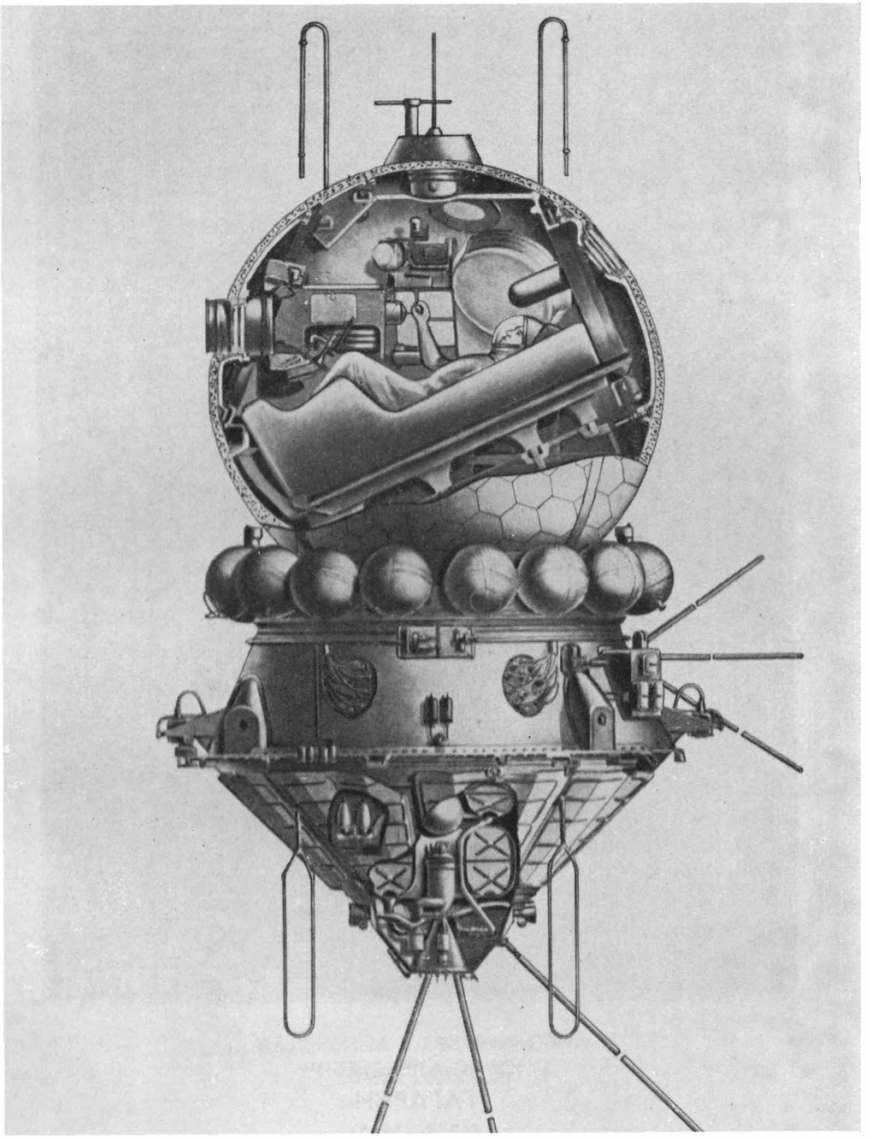
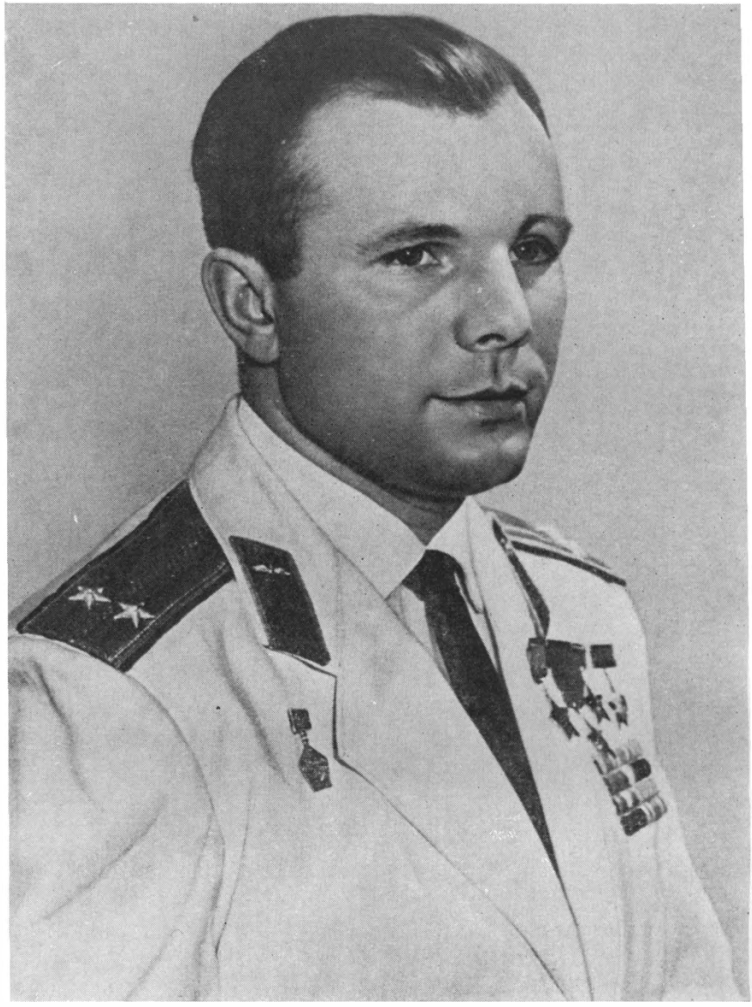


Рис. 53 (продолжение)



ЮРИЙ АЛЕКСЕЕВИЧ
ГАГАРИН
(1934—1968)



ВАЛЕНТИНА ВЛАДИМИРОВНА
ТЕРЕШКОВА

На орбиту вокруг Земли с помощью ракеты-носителя «Восток» был выведен корабль-спутник, пилотируемый гражданином СССР, коммунистом Юрием Алексеевичем Гагариным. Общая масса корабля-спутника без последней ступени ракеты-носителя составляла 4725 кг. Высота перигея орбиты равнялась 181 км, высота апогея 327 км, наклон орбиты к экватору 64° 57′.

Корабль-спутник «Восток» совершил один виток вокруг Земли за время 1 ч 48 мин и благополучно приземлился вблизи деревни Смеловка Саратовской области. Этот один виток никогда не будет забыт человечеством.

Полет космонавта Ю. А. Гагарина открыл эру проникновения человека в космос. Он явился результатом большой работы по изучению новых явлений и по преодолению больших трудностей технического характера. Он был шагом в неизведанное, первым шагом, который всегда труднее всего сделать. Его блестящее завершение открыло широкий путь человечеству в необъятные просторы Вселенной. 12 апреля ежегодно отмечается теперь как Всемирный день авиации и космонавтики.

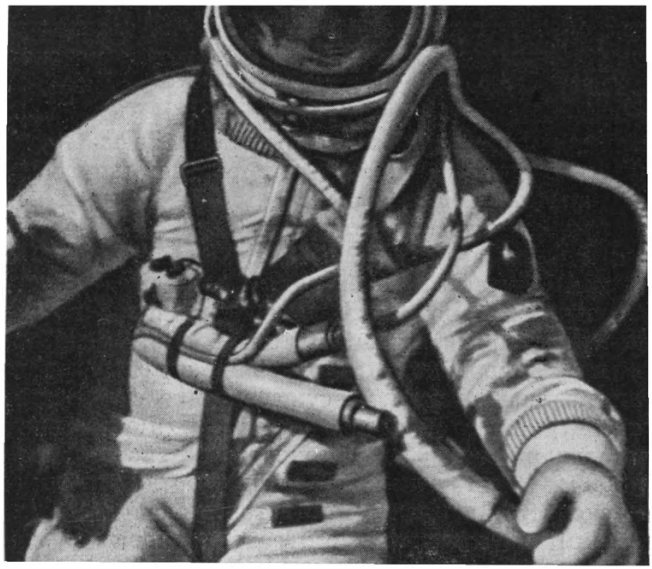
Первый космический полет вселил уверенность в правильности и надежности принципов, положенных в основу развития космонавтики. Вскоре был осуществлен ряд все более продолжительных космических полетов по околоземным орбитам. Суточный полет вокруг Земли совершил космонавт Г. С. Титов, в течение трех суток продолжался совместный групповой полет космонавтов А. Г. Николаева и П. Р. Поповича.

В июле 1963 г. был совершен многосуточный полет В. Ф. Быковского и первой женщины-космонавта В. В. Николаевой-Терешковой; их совместный полет продолжался более 70 ч.

После успешных одиночных и групповых полетов кораблей-спутников в Советском Союзе начались работы по созданию многоместного корабля «Восход». Это потребовало дальнейшего усовершенствования конструкции корабля-спутника. В частности, были значительно улучшены системы кондиционирования и регенерации, повышена надежность герметичности корабля, что дало космонавтам возможность обойтись без защитных скафандров. Тормозная двигательная установка была задублирована, и еще более тщательно отработана система мягкой посадки.

Полет на корабле «Восход-1» космонавтов В. М. Комарова, К. П. Феоктистова и Б. Б. Егорова продвинул вперед проблему освоения человеком космического пространства. Впервые в качестве членов экипажа корабля в космосе побывали инженер, ученый и врач. Они провели исследовательские работы, имевшие большую ценность для дальнейшего развития космонавтики. Полеты космонавтов позволили получить много важных данных о работе различных систем корабля в космосе, изучить ряд физических явлений в нем, получить фотографии поверхности Земли с больших высот.





Космонавт А. А. Леонов в открытом космосе

18 марта 1965 г. был сделан принципиально новый шаг в освоении космоса. На орбиту был выведен корабль-спутник «Восход-2», пилотируемый летчиками-космонавтами П. И. Беляевым и А. А. Леоновым, и через 1,5 ч после начала полета космонавт Леонов осуществил выход из корабля в открытое космическое пространство. В течение 20 мин в специальном скафандре с автономной системой жизнеобеспечения и радиосвязью он находился в открытом космосе, выполняя предусмотренные программой операции. Осуществление этого эксперимента потребовало еще более глубокого изучения физических условий в космическом пространстве, специальных конструкторских решений при создании системы шлюзования, чтобы обеспечить выход космонавта из корабля без его разгерметизации.

Выход человека в открытый космос имел огромное значение для всего дальнейшего развития космических полетов. Он открыл новые возможности для проведения различных работ непосредственно в космическом пространстве, широкие перспективы для дальнейшего освоения космоса.

Важное место в программе полетов в космосе с самого начала отводилось вопросам маневрирования, сближения и стыковки космических аппаратов с целью создания длительно действующих орбитальных станций и в перспективе монтажа крупных орбитальных комплексов и межпланетных кораблей. Поэтапно решая эту сложную проблему космонавтики, советские ученые и инженеры запустили в начале 60-х годов маневрирующие спутники «Полет-1» и «Полет-2», дважды успешно осуществили эксперименты по автоматической стыковке на околоземной орбите спутников серии «Космос». Запуск «Союза-1» в апреле 1967 г. открыл новый этап в развитии пилотируемых полетов.

В полете пилотируемых кораблей «Союз-2» и «Союз-3» отрабатывались процессы и системы ручного управления при взаимном маневрировании космических аппаратов, а в январе 1969 г. была создана первая в мире экспериментальная космическая станция «Союз-4» — «Союз-5» (рис. 54) с космонавтами В. А. Шаталовым, Б. В. Волыновым, Е. В. Хруновым и А. С. Елисеевым и осуществлен переход космонавтов из одного корабля в другой через открытый космос. Сложный комплекс последовательных операций включал в себя взаимный поиск аппаратов с помощью радиосистемы наведения, измерение параметров их относительного движения, определение линии визирования и осуществление сближения по рассчитанным величинам управляющих воздействий. Для этого вначале использовалась двигательная установка многократного действия, а начиная приблизительно с 300 м — двигатели малой тяги, работа которых обеспечивала относительную скорость аппаратов при встрече около 0,5 м/с. После причаливания и взаимного механического захвата кораблей производилось их жесткое стягивание и соединение электрических разъемов, а вслед за тем проверка электрических цепей и герметичности соединения. Групповые и одиночные полеты по программе «Союз» позволили отработать этот

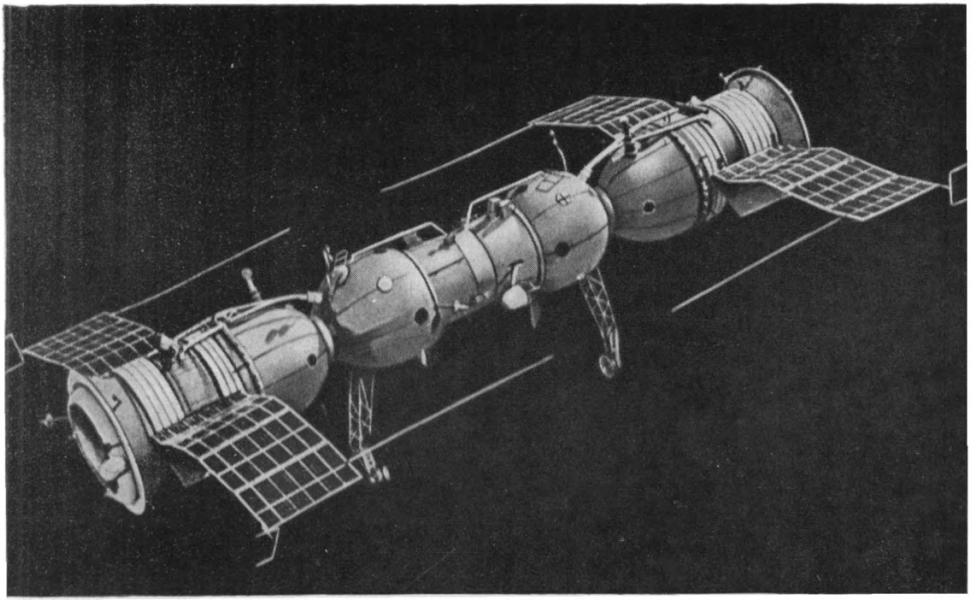


Рис. 54. Первая экспериментальная орбитальная станция, созданная на базе кораблей «Союз-4» и «Союз-5»

новый космический корабль и накопить необходимый опыт для осуществления разнообразных сложных операций на орбите при активной деятельности человека.

Космический корабль спроектирован как многоцелевой орбитальный пилотируемый аппарат длительного действия, служащий для решения самостоятельных научных и технических задач, отработки принципов создания орбитальных комплексов и использования в дальнейшем в качестве транспортного корабля при полетах космонавтов на крупные длительно действующие орбитальные станции.

Корабль «Союз» (рис. 55) состоит из трех основных модулей: орбитального, приборно-агрегатного и расположенной между ними кабины космонавтов (спускаемого аппарата). В передней его части (при использовании в качестве транспортного корабля) устанавливается активный стыковочный узел. Корабль оснащен системами ориентации и управления движением в полете и при спуске, средствами оптического и радионаведения для сближения и причаливания, корректирующей двигательной установкой и системой двигателей ориентации и причаливания, системами

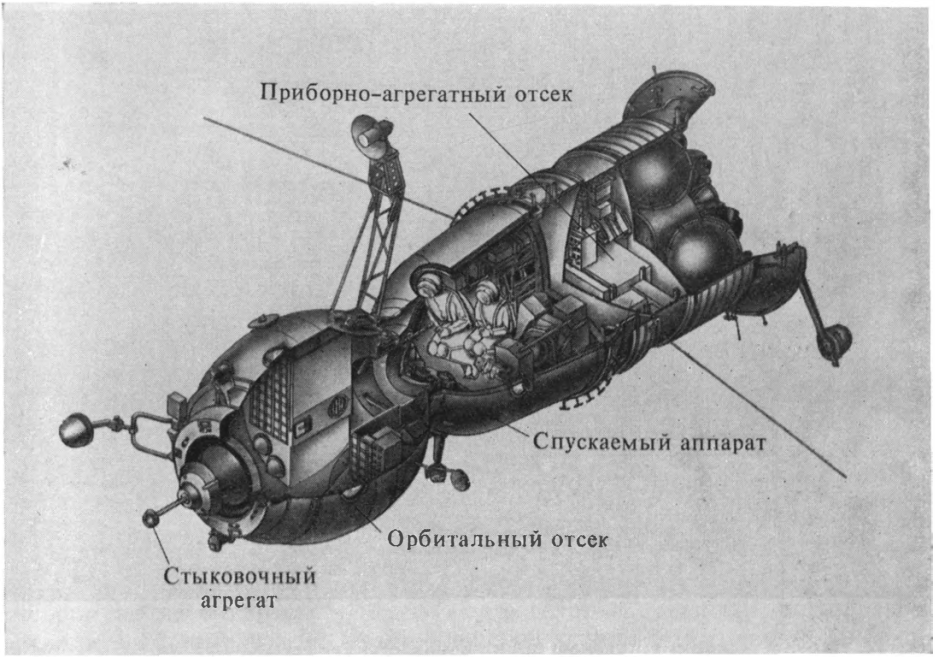


Рис. 55. Внутренний вид транспортного корабля «Союз»

Масса корабля 6800 кг; масса спускаемого аппарата 2800 кг; максимальная длина 7,94 м; диаметр жилых отсеков 2,2 м; масса полезного груза, возвращаемого с орбитальной станции, ~50 кг

приземления, мягкой посадки, обеспечения жизнедеятельности и др. В системе электропитания используются солнечные батареи с размахом «крыльев» свыше 8 м. Максимальная масса корабля 6,8 т, длина 7,9 м, диаметр жилых отсеков 2,2 м, а их суммарный объем около 10 м^3. В спускаемом аппарате находится пульт управления кораблем на всех этапах полета. В нем космонавты возвращаются на Землю. Поэтому его корпус снабжен теплозащитным покрытием для предохранения от воздействия высоких температур за счет аэродинамического нагрева при спуске с орбиты. За счет подъемной аэродинамической силы, обеспечиваемой специально выбираемой формой и центровкой спускаемого аппарата, обеспечивается снижение по довольно пологой траектории, что уменьшает перегрузки при входе в плотные слои атмосферы и повышает точность приземления. Орбитальный модуль служит рабочим местом космонавтов при проведении научных и технических экспериментов, используется для отдыха экипажа



Космонавты В. Ф. Быковский и В. В. Аксенов на борту корабля «Союз»

и может служить также шлюзовой камерой для выхода в космос. Он сообщается с кабиной космонавтов посредством герметичного люка-лаза. В комплексе «Союз» предусмотрена система аварийного спасения, обеспечивающая при помощи пороховых двигателей на головном обтекателе отстыковку корабля с экипажем от ракеты-носителя и его приземление в случае отклонения траектории от расчетной на участке выведения.

Осуществление программы запусков кораблей «Союз» значительно расширило возможности исследований в космическом пространстве при активном участии человека. Наряду с эффективной отработкой бортовых систем при различных режимах непосредственно в условиях полета и выработкой необходимых рекомендаций по их усовершенствованию космонавтами проводились разнообразные наблюдения земной поверхности и атмосферы, астрофизические и астронавигационные исследования, различные физические, медико-биологические и технические эксперименты. На «Союзе-6» была впервые произведена сварка в космосе. Наиболее полные и многосторонние исследования по изучению влияния факторов длительного космического полета на организм человека осуществлялись в 18-суточном полете А. Г. Николаева и В. И. Севастьянова на корабле «Союз-9» в июне 1970 г.

С 1962 г. были начаты орбитальные полеты американских космонавтов на одноместных кораблях-спутниках «Меркурий», а с 1965 г.— на двухместных кораблях «Джеминай». Эти эксперименты явились этапом в подготовке к осуществлению высадки человека на Луну по программе «Аполлон». 20 июля 1969 г. на Луну совершил посадку «Аполлон-11» с космонавтами Н. Армстронгом и Э. Олдрином, и человек впервые вступил на лунную поверхность. Вслед за этим полетом было осуществлено еще пять экспедиций по программе «Аполлон», суммарные затраты на реализацию которой составили около 25 млрд. долларов. В 1973 г. эта программа была завершена.

Магистральным направлением советской космической программы с самого начала была ориентация на максимальное использование автоматических аппаратов для изучения Луны и планет и всемерное развитие пилотируемых полетов с целью создания длительно действующих орбитальных станций. Закономерным итогом последовательного осуществления этой программы, качественно новым шагом в изучении и освоении космического пространства стал запуск 19 апреля 1971 г. орбитальной станции «Салют-1» и в последующие годы еще четырех станций. Их большая грузоподъемность, энерговооруженность, высокая степень автоматизации систем управления и бортовой аппаратуры открыли новые широкие перспективы для проведения исследований как в пилотируемом, так и в автоматическом режиме. Тем самым было положено начало созданию посещаемых многоцелевых орбитальных комплексов, значение которых для науки и народного хозяйства будет непрерывно возрастать.

Примером первого поколения орбитальных станций может служить станция «Салют-4», представляющая собой исследовательскую лабораторию на околоземной орбите. Она состоит из двух герметичных (переходного и рабочего) и одного негерметичного (агрегатного) отсеков. Переходный и рабочий отсеки являются жилыми помещениями станции размерами 2×3 и 2,9×4,15 м соответственно. Общий объем жилых помещений около 100 м³. В переходном отсеке размещены исследовательская аппаратура и оборудование систем жизнеобеспечения и терморегулирования. Там космонавты проводят основные научные наблюдения и эксперименты. В рабочем отсеке расположен центральный пульт управления станцией, отсюда экипаж осуществляет основные операции по управлению полетом, здесь же питается, отдыхает, выполняет комплекс физических упражнений на специально предусмотренных тренажерах. В передней части переходного отсека находится стыковочный узел, обеспечивающий возможность стыковки станции с транспортным кораблем и переход космонавтов на станцию через люк-лаз. Длина станции 16 м, ее масса 18,9 т, а вместе с транспортным кораблем соответственно 23 м и 25,6 т.

В совместной работе со станциями «Салют-1—5» участвовало восемь транспортных кораблей «Союз». Первый полет на станцию «Салют-1» совершил на корабле «Союз-11» героический экипаж в составе летчиков-космонавтов Г. В. Добровольского, В. Н. Волкова и В. И. Пацаева. Всего на станциях работало шесть экипажей космонавтов, причем П. И. Климук и В. И. Севастьянов находились на борту «Салюта-4» в течение 63 суток.

Космонавтами были выполнены обширные исследования, потребовавшие от них разносторонней теоретической и практической подготовки. Помимо анализа функционирования систем станции и корабля они регулярно проводили астрофизические наблюдения при помощи бортовых телескопов в рентгеновской, ультрафиолетовой, инфракрасной областях спектра, наблюдали за солнечной деятельностью, исследовали разнообразные физические процессы и явления в околоземном пространстве. Отрабатывались средства и методы наблюдений за земной поверхностью и атмосферой в интересах различных отраслей народного хозяйства, проводились исследования ряда физико-химических процессов в специфических условиях космоса. Так, важное место в научной программе станции «Салют-5» заняли первые технологические эксперименты на установках «Кристалл», «Поток», «Диффузия», «Сфера», «Реакция», на которых изучались особенности выращивания кристаллов (алюмокалиевых квасцов из пересыщенного водного раствора), поведение газовых пузырьков в жидкости и естественной конвекции в условиях микрогравитации, изменения формы, структуры и фазового состава специальных сплавов при нагревании в электропечи, процессы пайки и плавления металлов и др. Большое внимание уделялось медицинским исследованиям и проведению био-

логических экспериментов, включавших, в частности, изучение влияния невесомости на ряд важнейших параметров жизнедеятельности организмов — на эмбриональное развитие, рост и клеточное деление, наследственность, радиационную восприимчивость и поведение.

Возможности работы в околоземном космосе дополнительно значительно возросли с запуском 29 сентября 1977 г. первой орбитальной станции второго поколения — «Салют-6», оснащенной не одним, как предыдущие «Салюты», а двумя стыковочными узлами. Поэтому к станции можно одновременно пристыковать два корабля. Это позволило резко увеличить длительность полета как самой станции, так и экипажей космонавтов, расширить круг проводимых исследований, принимать экспедиции посещения. Благодаря использованию гравитационной стабилизации в поле земного тяготения «Салют-6» почти постоянно ориентирован в пространстве в таком положении, при котором удобнее всего вести наблюдения земной поверхности. Вместе с тем ориентация солнечных батарей (как и на «Салюте-4») осуществляется независимо, обеспечивая поддержание режима наибольшего подзаряда (т. е. когда угол отклонения нормали к плоскости батарей от направления на Солнце минимален) и тем самым большую энерговооруженность станции, что важно для решения самых разных задач. В составе оборудования «Салюта-6» предусмотрены средства, позволяющие космонавтам выходить в открытый космос и проводить работы снаружи станции.

Новая станция служит основным элементом орбитального научно-исследовательского комплекса, в состав которого могут входить два пилотируемых транспортных корабля «Союз» или корабль «Союз» и грузовой корабль «Прогресс» (рис. 56). Общая масса комплекса достигает при этом 32 т, его длина 30 м, на нем могут одновременно работать два экипажа космонавтов.

Автоматические грузовые корабли «Прогресс» (рис. 57), созданные на базе пилотируемых кораблей «Союз», открыли качественно новый этап в развитии орбитальных полетов, в отработке методик монтажных и транспортных операций в космосе. Первый запуск такого корабля был осуществлен в январе 1978 г., положив начало регулярному снабжению «Салюта-6» всем необходимым для его длительного функционирования. «Прогрессы» обеспечивают станцию топливом для дозаправки двигательных установок, служащих для подъема орбиты с целью компенсации эффекта торможения атмосферой и для управления ориентацией станции, пополняют запасы воздуха, продовольствия и других материалов, необходимых для обеспечения жизнедеятельности экипажа, доставляют оборудование и аппаратуру для проведения исследований, почту. При общей массе «грузовика» немногим более 7 т вес доставляемых на орбиту грузов составляет 2,3 т, из которых около тонны занимает топливо.

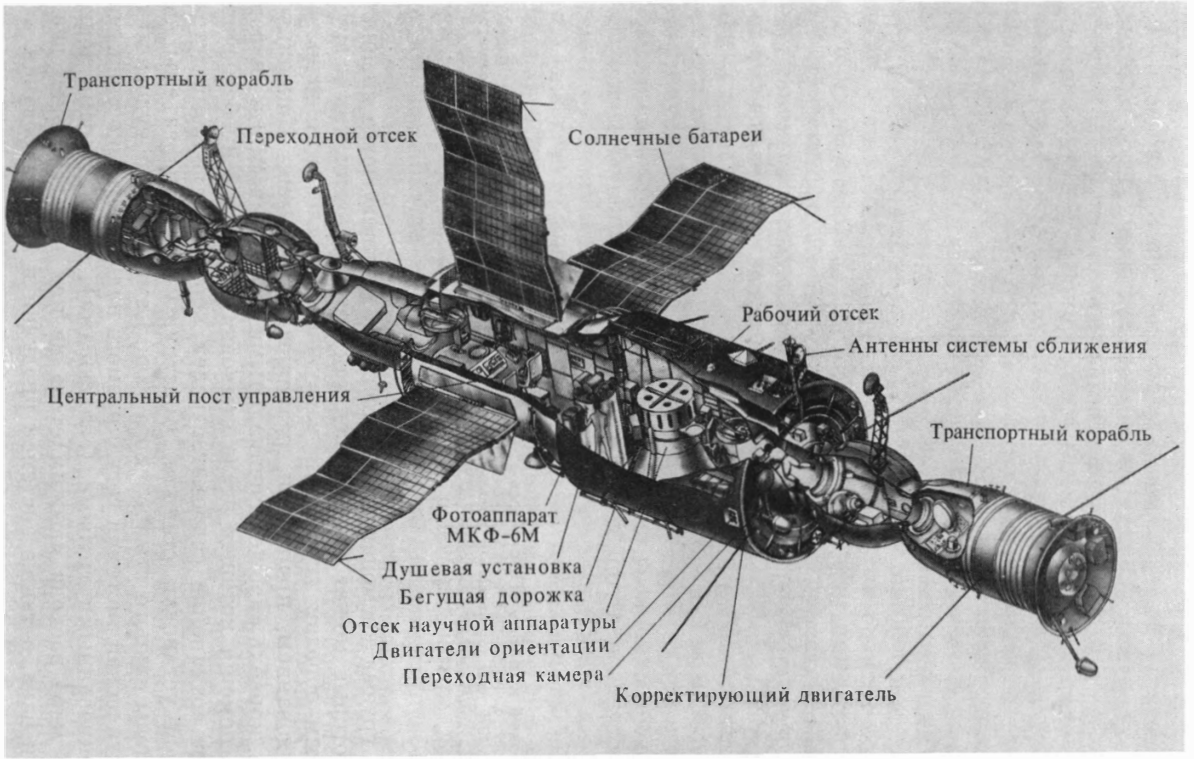


Рис. 56. Орбитальный научно-исследовательский комплекс на базе станции «Салют-6»

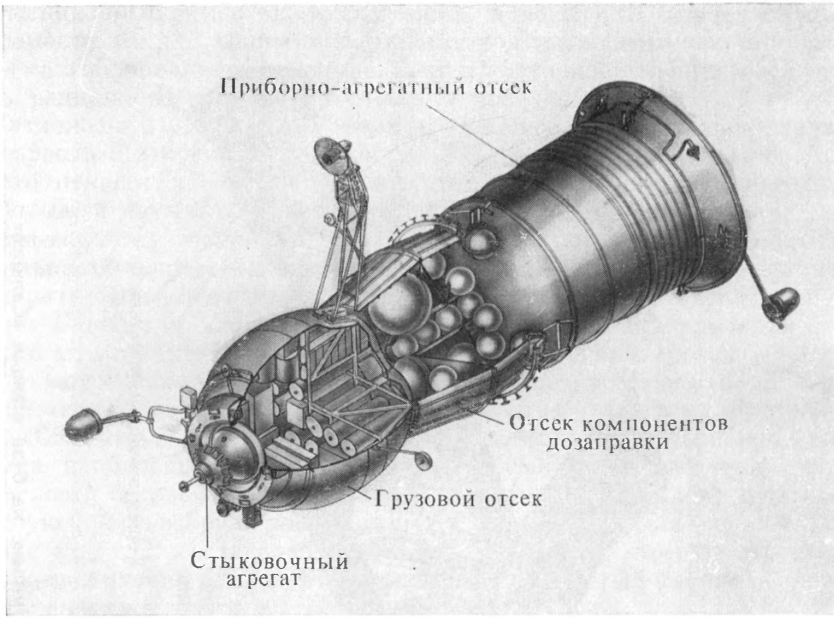


Рис. 57. Грузовой корабль «Прогресс»

Масса корабля 7020 кг; доставляемый полезный груз ~2300 кг, в том числе: в грузовом отсеке до 1300 кг, в отсеке компонентов дозаправки до 1000 кг; максимальная длина 7,94 м; максимальный диаметр гермоотсеков 2,2 м

«Сухие грузы» космонавты переносят на станцию через специальный люк-лаз, который может открываться как автоматически, так и вручную. Аналогичным образом «грузовик» загружается после этого использованным оборудованием, приборами, различными отходами. Как танкер-дозаправщик, корабль снабжен специальными автоматическими гидроразъемами, при помощи которых после стыковки со станцией обеспечивается герметичное соединение гидромагистралей корабля с гидромагистралями двигательной установки станции. Конструктивно гидроразъемы «вписаны» в пределы единого стыковочного узла. Сами баки оборудованы сложной автоматической системой регулируемого наддува с тонкостенными гибкими гофрированными трубами (сильфонами), заполняемыми топливом, которое по мере расхода «выжимается» из них под действием давления газа внутри бака, а также системой продувки и вакуумирования топливных магистралей. Надо заметить, что к надежности этих магистралей, как и к самим топливным бакам многократного действия, предъявляются осо-

бенно высокие требования, поскольку в двигательной установке используются весьма агрессивные компоненты топлива (горючее — несимметричный диметилгидразин, окислитель — четырехокись азота).

Коррекция орбиты станции может выполняться как независимо, после отстыковки грузового корабля, так и совместно с ним, в составе всего комплекса, с учетом динамических характеристик всей этой многозвенной системы. В последнем случае грузовой корабль выполняет роль космического буксира. Такие буксиры, как и операции автоматической дозаправки топливом и воздухом, впервые примененные в практике космических полетов, несомненно найдут в дальнейшем широкое применение. Они открывают перспективы для снаряжения на околоземных орбитах космических кораблей и их выведения на межпланетные и межзвездные трассы.

Автоматические грузовые корабли явились логическим завершением курса на планомерное создание крупных орбитальных комплексов, основы которого были заложены еще при жизни С. П. Королева. Одним из принципиальных элементов этого направления стали системы автоматического сближения и стыковки, которым с самых первых шагов не случайно отводилось столь важное место в нашей космической программе.

Операции снабжения позволили значительно увеличить продолжительность активного функционирования и эффективность использования пилотируемых орбитальных комплексов в интересах науки и для нужд народного хозяйства. Убедительно подтверждена правильность заложенных при создании «Салюта-6» инженерно-технических решений, в результате чего время функционирования станции достигло к концу 1980 г. более трех лет и существенно превысило заложенный ресурс работы. Свыше полутора лет из этого срока на «Салюте-6» работали четыре длительные экспедиции космонавтов и девять экспедиций посещения, в том числе шесть международных. Продолжительность работы экипажа в составе Ю. В. Романенко и Г. М. Гречко составила 96 суток, экипажа В. В. Коваленка и А. С. Иванченкова достигла 140 суток. Космонавты В. А. Ляхов и В. В. Рюмин работали в космосе 175 суток, а космическая вахта Л. В. Попова и В. В. Рюмина продолжалась 185 суток.

Благодаря систематической доставке грузовыми кораблями оборудования и материалов существенно расширен объем проводимых на борту станции исследований. Возможности корректировки методик экспериментов по результатам оперативного анализа доставляемых на Землю материалов, постановки новых опытов в ходе полета значительно повысили эффективность исследований, их преемственность. Значительно возрос объем проводимых на станции ремонтно-профилактических работ, неизбежно связанных с длительным функционированием такого сложного комплекса агрегатов и систем, каким является современная орбитальная станция, насчитывающая многие тысячи различных элементов. Роль космонавтов при этом незаменима. Ведь, несмотря на высокую надежность, являю-

щуюся важнейшим критерием при создании космической техники, за годы работы в любой машине естественно возникают отдельные неисправности, выявляются дефекты. А часть оборудования и приборов, служащих для проведения исследований, просто желательно заменять новыми, более совершенными. Так, заменялись плавильные печи, на которых выполняются эксперименты по космической технологии, отдельные установки для биологических экспериментов. Были устранены некоторые неисправности в системе радиосвязи, акустической аппаратуре, заменен ряд кабелей. Эффективно проведены ремонтные операции с топливной системой объединенной двигательной установки станции, которые были связаны с выявившимися отклонениями контрольных параметров в пневмомагистралях системы наддува из-за повреждения подвижной мембраны в одном из трех баков горючего. Со временем эти отклонения могли привести к неустойчивой работе регулирующих клапанов топливной системы, поэтому было решено исключить бак с неисправной мембраной из общего контура системы, перелив находящееся в нем горючее в два других исправных бака. При выполнении этих операций использовались присоединенные топливные магистрали грузового корабля «Прогресс-5». Привычным стал выход космонавтов в открытый космос — экипажи «Салюта-6» совершали его трижды. Осматривался один из стыковочных узлов станции, выполнялись работы по демонтажу и частичной замене аппаратуры, установленной на ее внешней поверхности. Важное значение для дальнейшего функционирования «Салюта-6» имел недавно проведенный космонавтами Л. Д. Кизимом, О. Г. Макаровым и Г. М. Стрекаловым сложный ремонт системы терморегулирования: впервые в условиях невесомости произведена разгерметизация гидросистемы и без слива рабочего тела осуществлено подключение в нее нового агрегата. Были также заменены отдельные блоки в системах телеизмерений и управления и в системе дозаправки топливом объединенной двигательной установки.

Работа на орбите в течение многих месяцев предъявляет повышенные требования к космическому «дому» космонавтов. Существенно улучшились бытовые условия внутри станции, предусмотрены возможности более тщательной уборки помещений, расширены ассортименты средств личной гигиены и питания. Есть теперь на станции и душ, ставший совершенно необходимым при длительности полетов, исчисляемой месяцами. Учтены даже такие на первый взгляд незначительные факторы, как цвет обивки внутренних помещений, степень освещенности, ионизация воздуха жилых отсеков, рациональность расположения аппаратуры и т. д. Большую роль сыграла установка аппаратуры для двухсторонней телевизионной связи с Землей, позволившая космонавтам увидеть на своих экранах специалистов Центра управления, родных, принимать схемы, графики, чертежи, смотреть телевизионные передачи.

Важно подчеркнуть, что в течение всего многомесячного полета эки-

пажи сохраняли высокую работоспособность, которая к концу экспедиций даже несколько возрастала по сравнению с начальным периодом. Значительно быстрее, чем при менее продолжительных экспедициях, происходила и реадаптация космонавтов к земным условиям после приземления, а изменения реакций были выражены слабее. На основе объективных показателей специалисты непосредственно связывают эти положительные результаты с сохранением у космонавтов достаточно высокого объема циркулирующей крови за счет оптимального уровня потребления воды, применения водно-солевых добавок и достаточного объема регулярно выполнявшихся физических упражнений. Эти упражнения включали бег на третбане, занятия с эспандером и на велоэргометре, ношение тренировочно-нагрузочного костюма «Пингвин», тренировки с помощью специального костюма «Чибис», обеспечивающего воздействие отрицательного давления на нижнюю половину тела и проверку компенсационных возможностей системы кровообращения, проведение курсов электростимуляции мышц. Немалую роль, естественно, сыграла и хорошая психологическая совместимость экипажей, обеспечившая нормальные дружеские взаимоотношения людей в ограниченном объеме в течение длительного периода, успешное преодоление неизбежно сопутствующих таким ситуациям «эффектов монотонности». Каждая из экспедиций была по-настоящему рабочей, заполненной напряженным трудом, ибо время на орбите дорого и использовать его надо предельно эффективно.

На борту «Салюта-6» проводились наблюдения в субмиллиметровой области спектра при помощи большого телескопа БСТ-1М, снабженного криогенной системой для поддержания на приемниках излучения температуры жидкого гелия (около 4 К). Такая система впервые использована в условиях космоса, до этого при кратковременных полетах применялись заправленные жидким гелием сосуды-криостаты (например, на «Космосе-669» в 1974 г.), что нерационально при длительной работе на орбитальной станции. Этот же телескоп использовался для изучения пространственно-временны́х вариаций тепловой структуры и содержания водяного пара в верхней атмосфере Земли, а с помощью дополнительного ультрафиолетового канала — также для контроля за состоянием озоносферы — нашего естественного защитного экрана от губительной коротковолновой солнечной радиации, подверженного воздействию некоторых продуктов индустриальной деятельности человечества (фреонов, окислов азота). Уже упоминавшийся другой телескоп «Елена» использовался для регистрации гамма-излучения, приходящего из космоса и возникающего в материале станции под воздействием космических лучей.

Был существенно расширен объем прикладных исследований. Традиционными в орбитальных полетах стали визуальные наблюдения и фотографирование характерных природных образований земной поверхности и акватории Мирового океана, метеорологических процессов и явлений

в атмосфере Земли, включая дымовые и пылевые загрязнения. Фотосъемка с помощью многозональной аппаратуры МКФ-6М позволяет наилучшим образом выявить те или иные характерные черты и детали объектов на местности после синтезирования получаемых изображений в естественных или условных цветах. Количество отснятых за время полета «Салюта-6» кадров исчисляется десятками тысяч и позволяет прослеживать динамику изменения ландшафтных особенностей отдельных регионов. Одновременно с этим большое внимание уделялось изучению методических возможностей улучшения наблюдений земной поверхности из космоса и выявлению погрешностей, вносимых при фотосъемке атмосферой. С этой целью использовалась спектрометрическая аппаратура, поляризационные светофильтры, исследовались спектральные характеристики рассеянного солнечного света при различных высотах Солнца над горизонтом, а также количественно оценивалась степень изменения оптических свойств иллюминаторов за длительное время функционирования станции в космосе.

Большое внимание уделялось технологическим экспериментам. С этой целью использовались специальные ампульные электронагревательные печи «Сплав» и «Кристалл» (рис. 58). Первая позволяет варьировать в широких пределах режимы нагрева, выдержки и охлаждения исследуемых веществ и тем самым изучать тепло- и массообмен в жидких средах в условиях малых ускорений в зависимости от ряда параметров. Это дает возможность подбирать оптимальные технологические процессы при создании композиционных материалов, при пайке и сварке в космосе. Вторая предназначена для выращивания полупроводников в виде слитков, объемных кристаллов или эпитаксиальных структур из расплава, паровой или газовой фазы. Здесь наибольший интерес представляет изучение закономерностей формирования кристаллических структур и распределения компонент, возможностей повышения однородности расплава с целью создания материалов с новыми, наиболее пригодными для промышленного использования свойствами.

На специальных установках «Цитос», «Оазис», «Фитон» проводились биологические эксперименты с целью углубленного изучения тонких биохимических механизмов, протекающих в невесомости. Использовались некоторые виды бактерий, низшие и высшие растения, культуры ткани. Анализ сложных процессов в биологических объектах на разных уровнях организации позволяет исследовать устойчивость и диапазон адаптации клеток, структурно-функциональные особенности клеток и клеточных органелл, интенсивность и направление обмена веществ под влиянием факторов космического полета. На установке «Оранжерея» выращивались высшие растения, а в приборе «Биогравистат» изучалось развитие некоторых высших растений под действием искусственной силы тяжести. Проводилась отработка новых систем и приборов, которые найдут применение в перспективных орбитальных станциях и космических кораблях.

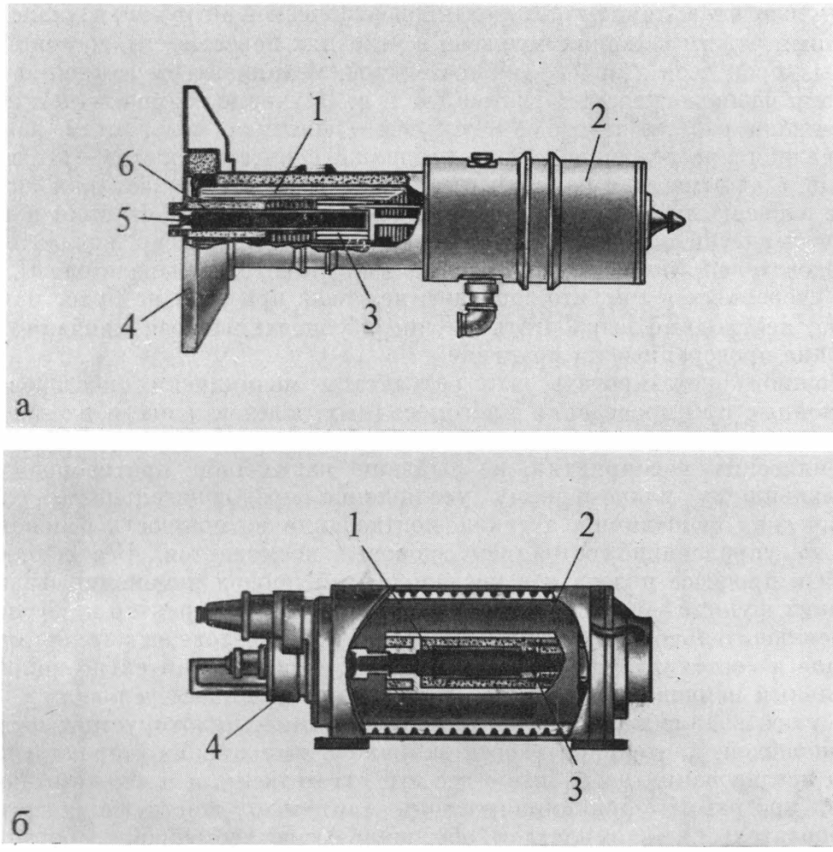


Рис. 58. Электронагревательная печь «Сплав» (а) и установка для выращивания кристаллов «Кристалл» (б)

а: *1* — экранно-вакуумная изоляция; *2* — термостат; *3* — нагреватель; *4* — излучатель; *5* — капсула; *6* — ампула. б: *1* — капсула с используемым материалом; *2* — теплоизоляция; *3* — нагреватель; *4* — электропривод для протяжки капсулы

Наконец, большое место в программе всех экспедиций отводилось медицинским исследованиям. С помощью специальной регистрирующей бортовой аппаратуры регулярно осуществлялся клинический контроль за состоянием здоровья космонавтов и работоспособностью сердечно-сосудистой системы, проводились комплексные исследования системы кровообращения с целью анализа особенностей перераспределения крови в организме,

в том числе под влиянием дозированной физической нагрузки, изучался кислородный режим в тканях человека в условиях невесомости, состояние обменных процессов и эндокринной системы, механизмы перестройки и изменения физиологических функций и т. п. Изучение возможностей жизни и активной работы человека в космосе — конечная цель этого важного направления исследований. Ведь продолжительность полетов — это не самоцель, а сложнейшая научная проблема, от успешного решения которой будет зависеть не только повышение КПД орбитальных станций и крупных космических лабораторий на околоземных орбитах с коллективами исследователей, но и осуществление межпланетных перелетов. И надо быть уверенным в том, что здоровью человека при этом не будет нанесен ущерб, необходимо выработать научно обоснованные рекомендации, всесторонне проверенные на практике.

Можно констатировать, что результаты медицинских исследований, полученные при проведении многомесячных полетов и после их завершения с использованием широкого комплекса профилактических и санитарно-гигиенических мероприятий, не выявили каких-либо противопоказаний к дальнейшему планомерному увеличению продолжительности работы космических экспедиций, а также подтвердили возможность целенаправленного управления состоянием здоровья космонавтов. Все наблюдавшиеся в процессе полета и в послеполетный период изменения физиологических функций, как оказалось, носят временный характер и обусловлены исключительно процессами приспособления человеческого организма вначале к состоянию невесомости, а затем, через сравнительно непродолжительный период реадаптации,— к привычным земным условиям.

Осуществление полетов орбитальных станций, пилотируемых и грузовых кораблей, длительная работа экипажей, выполнение широкого комплекса исследований на орбите — все эти ответственные и сложные компоненты программы функционирования длительно действующих научно-исследовательских комплексов обеспечиваются громадной работой как в космосе, так и на Земле (рис. 59—61). С этой целью создана единая наземная автоматизированная система, включающая в себя Центр управления полетом, наземные и плавучие станции слежения, обеспечивающие двухстороннюю радио- и телевизионную связь, крупные вычислительные системы и моделирующие комплексы, позволяющие на математических моделях или системах-аналогах «проиграть» заданную программу или воспроизвести расчетные или нерасчетные условия полета.

На Центре управления лежит основная ответственность за выполнение задач полета на всех его этапах, здесь находится «мозговой центр», включающий в себя специалистов самых разных направлений (рис. 62). Сюда же стекается вся информация о полете, здесь анализируется состояние систем станции и здоровья космонавтов, проводится экспресс-анализ данных научных и прикладных исследований, с учетом которых вносятся

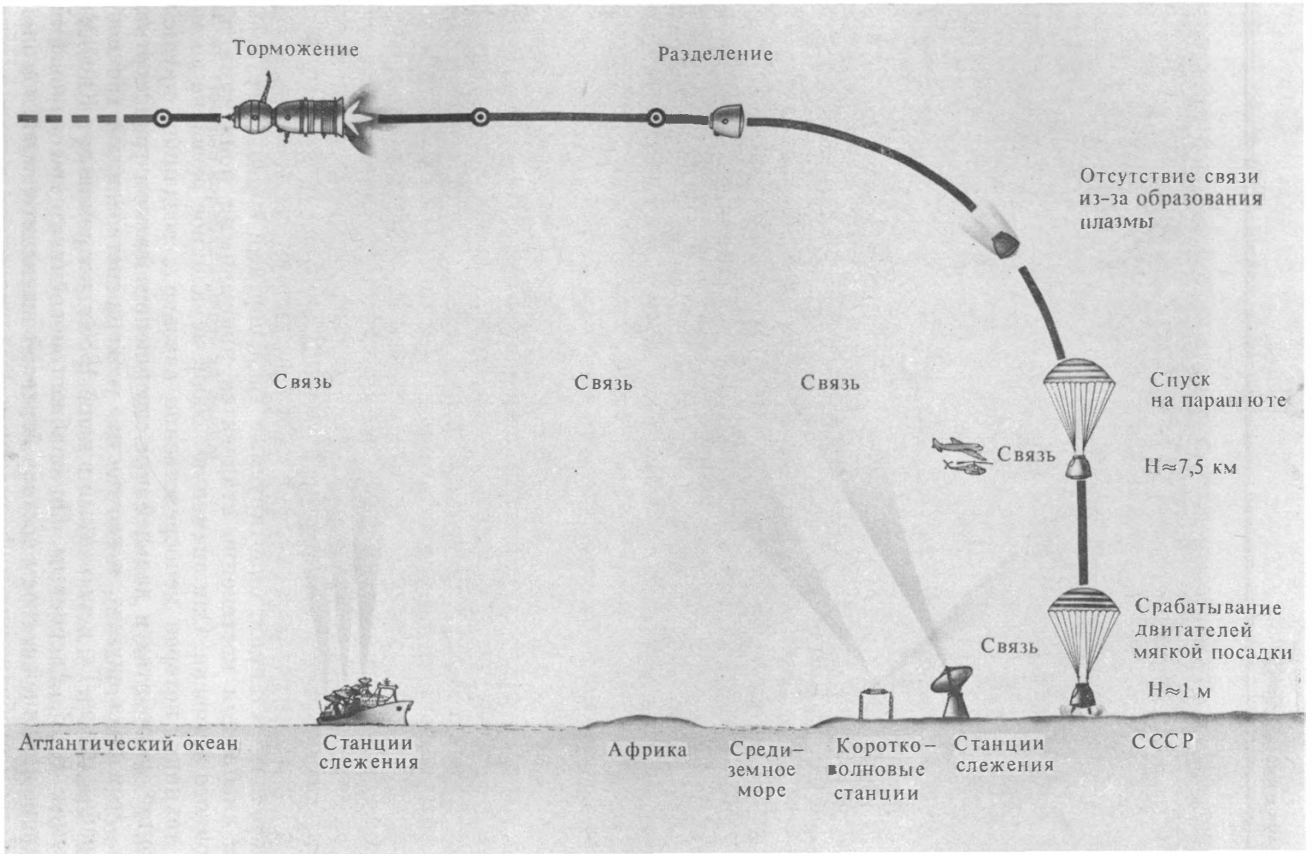


Рис. 59. Схема спусков космонавтов на Землю в транспортном корабле «Союз» и функционирование наземных средств обеспечения посадки и поиска

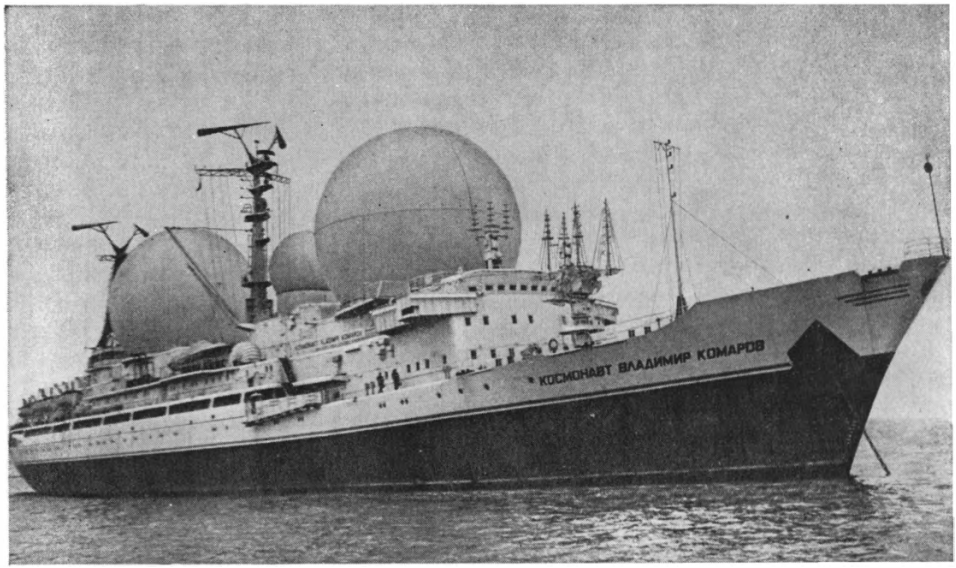


Рис. 60. Корабль слежения «Космонавт Владимир Комаров»

корректировки в программу, отсюда специалисты, журналисты, родные беседуют с космонавтами. Сами полеты все больше приобретают привычный, будничный характер, но достигается это большим комплексом подготовительных мероприятий и приобретенным опытом.

В американской космической программе получило развитие направление, отличное от нашего курса на создание многоцелевых длительно действующих орбитальных комплексов. Единственная орбитальная станция «Скайлэб», созданная в рамках программы «Аполлон», была запущена в 1973 г. На ней проводили исследования три экипажа астронавтов.

Орбитальные станции, пилотируемые транспортные корабли, грузовые корабли снабжения постепенно становятся привычными понятиями для современного человека. Они знаменуют собой неуклонное развитие космической техники, которое непосредственно связано с созданием крупных сооружений на орбитах и дальнейшим совершенствованием транспортных средств. Этой цели служит, в частности, усовершенствованный трехместный корабль «Союз-Т», испытанный в июне 1980 г. космонавтами Ю. В. Малышевым и В. В. Аксеновым. Он снабжен новой системой управления движением, имеющей в своем составе бортовой вычислительный комплекс с устройством отображения информации на телевизионном экране — дисп-

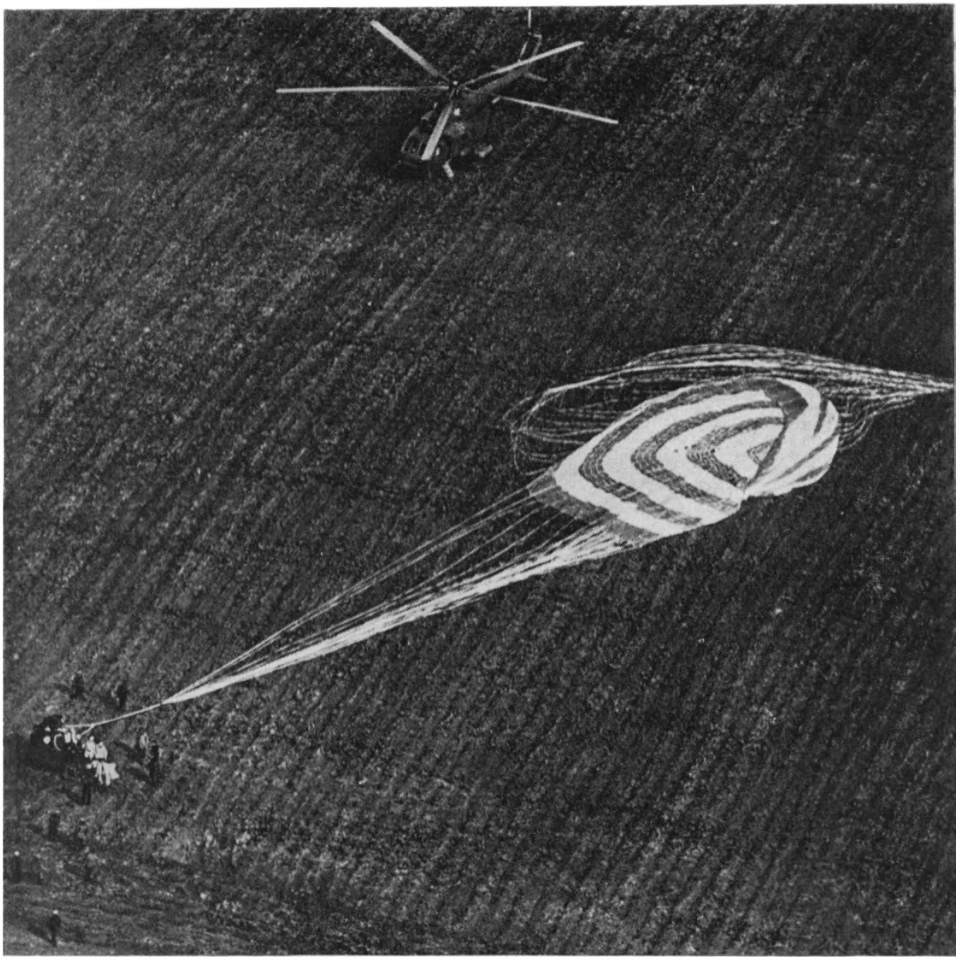


Рис. 61. Посадка корабля «Союз» на Землю

лее, комбинированной двигательной установкой, состоящей из двигателей большой, средней и малой тяги, что улучшает динамические возможности корабля на разных режимах работы, новой системой управления спуском, обеспечивающей значительно более точное приземление. Все это существенно расширяет возможности пилотируемых полетов и обслуживания орбитальных научных станций.



Рис. 62. Советский центр управления полетом (ЦУП)

Может быть, широкое применение найдет в будущем принцип сборки на орбите больших комплексов, построение своего рода «сотовых» конструкций. Наличие нескольких стыковочных узлов позволит присоединять к основной станции не только транспортные корабли, но и отдельные специализированные научные модули, оснащенные аппаратурой определенного типа и назначения. Такие модули могли бы, очевидно, работать преимущественно в автоматическом режиме и периодически посещаться космонавтами-исследователями. Вообще выбор оптимальной стратегии исследований, определение роли человека в выполнении сложных многоцелевых научных программ и обеспечении длительных наблюдений — одна

из важных проблем, решение которой будет непосредственно связано с наиболее рациональным использованием орбитальных комплексов.

Ракетно-космический транспорт будущего откроет новые перспективы не только для орбитальных полетов, но и для дальнейшего развития сообщений между континентами на Земле, даст возможность еще больше увеличить скорость этих перелетов. Видимо, определяющим для широкого развития полетов в космос станет создание экономичной энергетики космических ракет, основанных на новых достижениях физики. В этом заложена и величественная перспектива межпланетных перелетов, посещения человеком других планет, овладения их богатствами.

Можно с уверенностью сказать, что человечество придет к межпланетным полетам. И точно так же, как несколько столетий назад нельзя было предсказать заранее, что именно человечество найдет на новых континентах, нельзя заранее предсказать, что оно найдет на планетах. Может быть, через много лет тем, кто полетит на другие планеты, современные космические ракеты будут казаться столь же примитивными и несовершенными, как нам кажутся древние пирóги, на которых первые отважные мореплаватели переплывали океан. Ведь мы находимся только в самом начале пути за пределы Земли. Предстоит еще решить много сложных научных и технических вопросов. Но этот процесс начался, его темпы стремительно нарастают, и нет сомнения в том, что пророческие слова К. Э. Циолковского о завоевании всего околосолнечного пространства станут уделом человечества грядущего столетия.

XII

ПРИКЛАДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМОСА

С каждым годом возрастает роль космоса в обеспечении практических нужд человека. Особенно большой вклад вносят связные и метеорологические спутники, регулярные запуски которых начались с середины 60-х годов. Максимальное использование научно-технических достижений для решения народнохозяйственных задач стало одним из магистральных направлений осуществляемой в нашей стране программы космических исследований, и масштабы этого процесса будут непрерывно расти.

Все глубже в жизнь человечества входит космическая связь. Связные спутники обеспечивают различные виды связи в широкой полосе частот, располагая большим числом телеграфно-телефонных каналов и телевизионными каналами. Эффективность такой связи проявляется не только в международном масштабе, но и в пределах стран, обладающих большими территориями, таких, как СССР, Канада, Индия. Радиомосты через космос на ультракоротких волнах обеспечивают высокую пропускную способность и делают ненужным строительство дорогих высокочастотных наземных линий связи, прокладку подводных кабелей, что дает большую экономию. Спутники связи позволяют приобщиться к достижениям цивилизации людям в различных уголках мира, способствуют росту образования и культуры народов развивающихся стран.

В СССР с 1967 г. начала функционировать система связи «Орбита» на основе использования спутника ретранслятора «Молния-1» (рис. 63), созданного под руководством С. П. Королева. Этот спутник выводится на эллиптическую орбиту высотой около 500 км в перигее и около 40 тыс. км в апогее с периодом обращения около 12 ч и наклонением 62—63°. Система «Орбита» связала телефонно-телеграфной связью самые отдаленные районы страны, дала возможность десяткам миллионов жителей Сибири, Дальнего Востока, Крайнего Севера, Средней Азии смотреть передачи Центрального телевидения.

С 1971—1974 гг. в системе «Орбита» началась эксплуатация спутников «Молния-2» и «Молния-3», работающих в новом сантиметровом диапазоне частот и обладающих по сравнению с «Молнией-1» большей пропускной способностью. На основе этих спутников была создана международная система связи «Интерспутник». Другая международная система спутниковой связи «Интелсат», в состав которой входит несколько типов американских спутников, охватывает территории, примыкающие к Атлантиче-

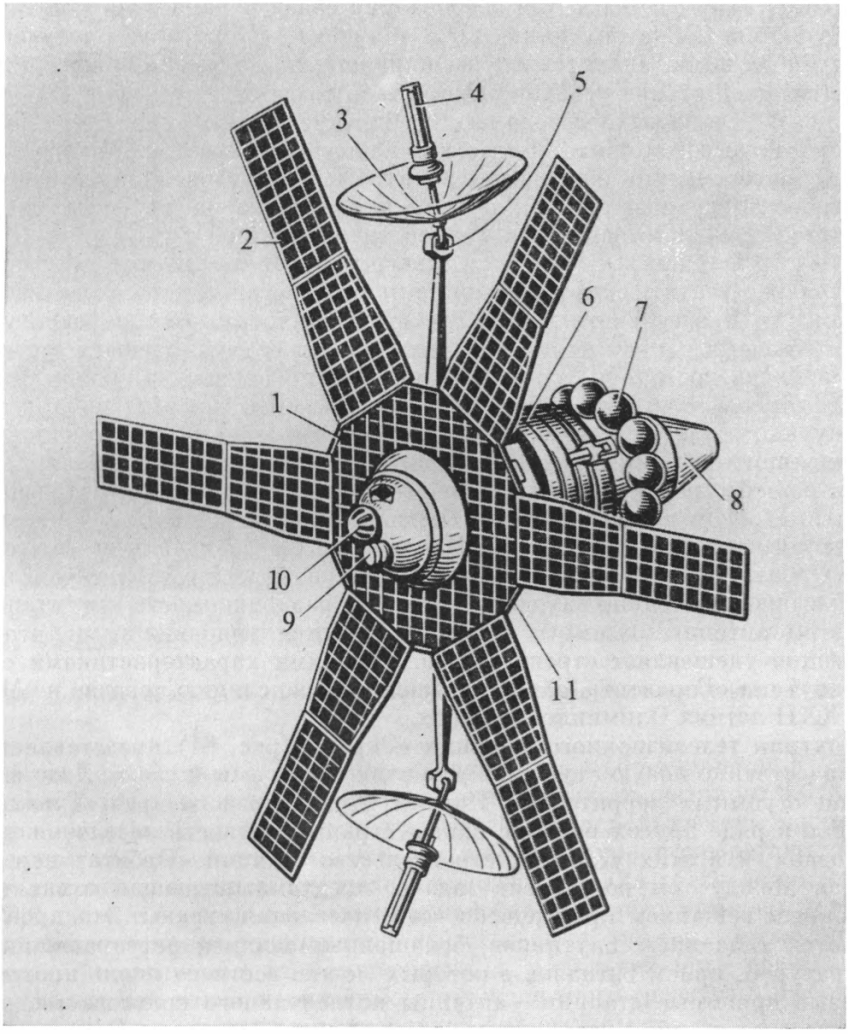


Рис. 63. Спутник связи «Молния-1»

1 — герметичный корпус; *2* — солнечная батарея; *3* — остронаправленная антенна; *4* — датчик ориентации антенны на Землю; *5* — антенный привод; *6* — радиаторный холодильник; *7* — запас рабочего тела для проведения микрокоррекции; *8* — корректирующая двигательная установка; *9* — датчик ориентации для проведения коррекции; *10* — датчик солнечной ориентации; *11* — панель-нагреватель

скому и Тихому океанам. Для обеспечения связи в западном полушарии используются также спутники АТС, «Сатком», «Комстар». Следующими важными этапами, значительно расширившими возможности и облегчившими в нашей стране условия связи, стало создание спутников «Радуга», «Экран» и «Горизонт», выводимых на близкую к геостационарной круговую орбиту высотой около 36 тыс. км в плоскости экватора. Находясь на такой орбите, спутник обращается вокруг Земли с угловой скоростью, равной скорости ее вращения, и потому для земного наблюдателя как бы «висит» неподвижно над определенной точкой земной поверхности. Координаты такой точки выбираются в зависимости от того, какую территорию желательно охватить или через какие пункты организовать «космический радиомост», и обеспечиваются после выведения спутника на орбиту дополнительными корректирующими импульсами его двигательной установки. Находясь постоянно в ориентированном положении, спутник обеспечивает требуемое взаимное расположение приемной и передающей антенн.

Спутник «Радуга» оснащен усовершенствованной многоканальной ретрансляционной аппаратурой, предназначенной для обеспечения населения нашей страны круглосуточной телефонно-телеграфной радиосвязью в сантиметровом диапазоне волн. Одновременно он служит для передачи цветных и черно-белых программ Центрального телевидения на сеть станций «Орбита». Такой спутник можно уподобить гигантской ретрансляционной вышке, постоянно находящейся в зоне радиовидимости этих станций; при этом антенны наземных станций остаются неподвижными, что существенно удешевляет строительство. Близкими характеристиками обладает спутник «Горизонт», обеспечивавший ретрансляцию передач из Москвы о XXII летних Олимпийских играх.

Спутник телевизионного вещания «Экран» (рис. 64) представляет собой качественно новую ступень в развитии космической связи. Дело в том, что на огромных территориях Якутии, Красноярского края, Тувинской АССР и в ряде других районов нашей страны плотность населения крайне низкая, и в этих условиях строительство станций «Орбита» нерентабельно. Между тем поставлена задача, предусматривающая охват телевизионным вещанием практически всего населения страны. Эта проблема решается созданием спутников, оснащенных мощной ретрансляционной аппаратурой, прием сигналов с которых можно вести на очень простые и дешевые приемные станции — антенны коллективного пользования, устанавливаемые в небольших городах и населенных пунктах. Спутник принимает передачи из Москвы и после усиления посылает их на наземные станции. Бортовая энергетика спутника имеет мощность до 2 кВт, сигналы мощного передатчика усиливаются огромной антенной, представляющей собой фазированную решетку площадью 12 м^2.

Прием телевизионных программ, передаваемых через спутники, непосредственно на приемники индивидуального пользования, увеличение

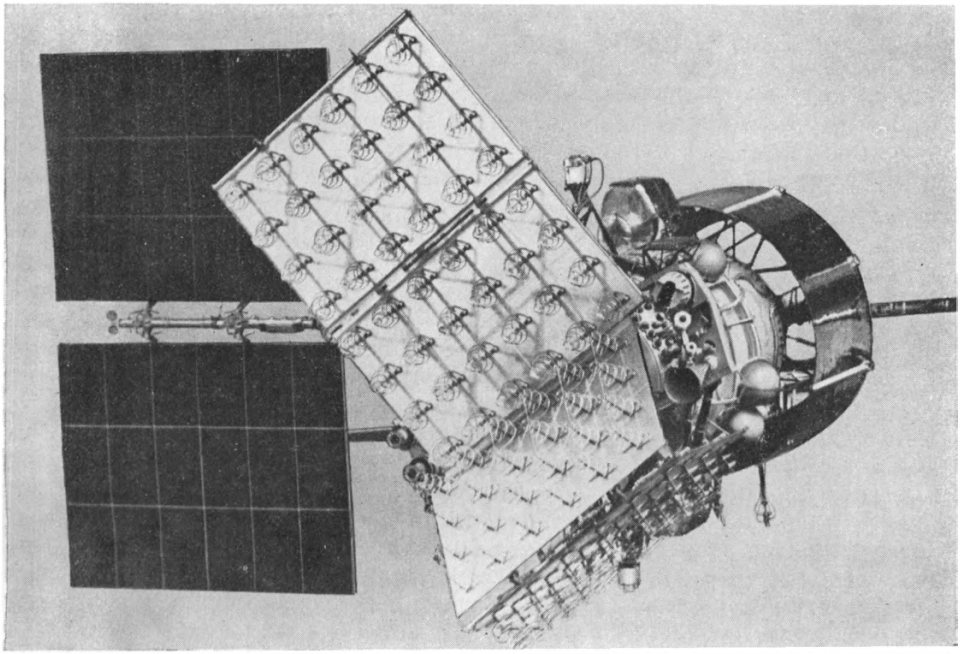


Рис. 64. Спутник связи для непосредственного телевизионного вещания «Экран»

числа информационных каналов, создание на геостационарной орбите крупных радиотехнических комплексов дополнительно расширят в будущем возможности этого направления практического использования космоса и уменьшат его себестоимость. Все большее значение приобретают также спутники, используемые для целей навигации и для обеспечения оперативной связи с береговыми базами и кораблями. Они открывают перспективы существенного уменьшения себестоимости морских и воздушных перевозок, повышения их безопасности, а в дальнейшем — возможности определения местоположения любого транспортного средства в любой точке земного шара с помощью портативной аппаратуры.

Для самых разнообразных аспектов человеческой деятельности первостепенное значение имеет задача улучшения службы погоды. Одна из основ прогнозирования погоды — фактические данные о состоянии атмосферы и динамике ее процессов. Метеорологи считают, что для получения достаточно полных данных об атмосфере Земли надо иметь более 100 000 метеорологических станций, что практически невозможно. Более

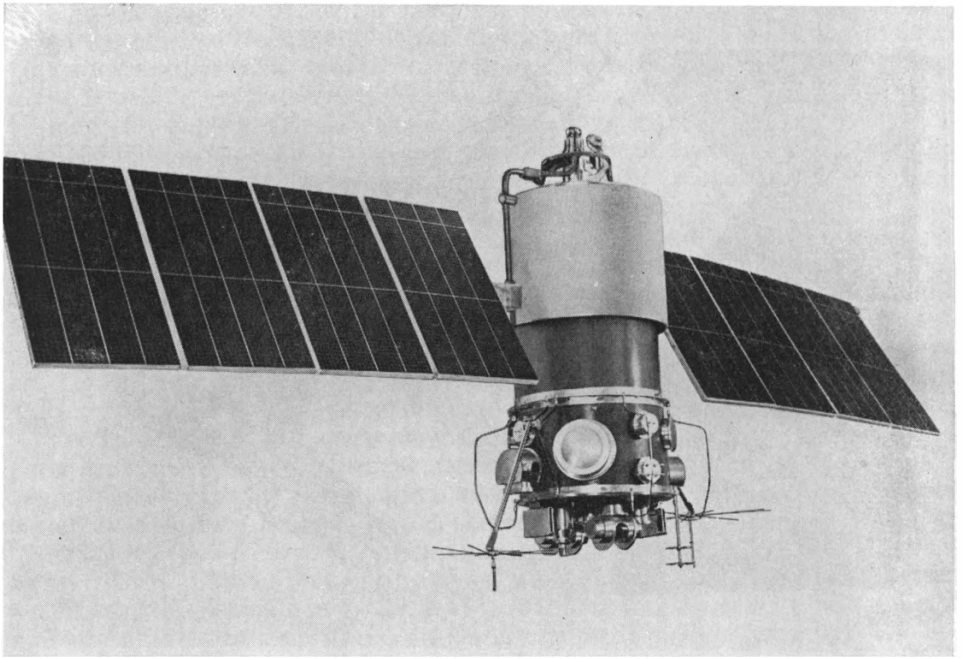


Рис. 65. Метеорологический спутник «Метеор-2»

двух третей поверхности Земли (океаны, пустыни, полярные и горные районы) остаются для метеорологов «белыми пятнами». Вот почему столь важную роль стали играть метеорологические спутники, представляющие собой совершенный инструмент для глобального охвата разнообразных процессов в атмосфере Земли и прослеживания динамики их развития, прежде всего над труднодоступными районами и океанами.

В Советском Союзе в 1966 г. был запущен первый метеорологический спутник «Космос-122», а с 1969 г. начались запуски спутников «Метеор-1», оснащенных телевизионными камерами. Новое поколение метеоспутников «Метеор-2» (рис. 65) стало регулярно эксплуатироваться с 1975 г. Эти спутники оснащены сканирующими телефотометрами и ИК-телевидением, с помощью которых производится обзор состояния облачного покрова над освещенной и ночной сторонами земной поверхности. Комплекс актинометрической аппаратуры служит для измерения поступающей солнечной радиации, а также уходящей (отражаемой и излучаемой Землей и ее атмосферой) радиации. За час спутник накапливает и передает информацию

охватывающую площадь свыше 30 млн. км². На рис. 66, 67 показаны примеры фотографий со спутников «Метеор», в частности пример обнаружения крупного циклона.

Создана специальная система оперативной обработки поступающей метеорологической информации и использования ее для прогнозирования. Существующие в настоящее время две системы метеорологических спутников — «Метеор» в СССР и «Тайрос» — «Нимбус» в США с возможностями взаимного оперативного обмена получаемой информацией позволяют существенно повысить надежность прогнозов погоды. Функционирование этих систем осуществляется в тесном контакте с созданными при ООН Всемирной метеорологической организацией и Всемирной службой погоды, три главных центра которой функционируют в Москве, Вашингтоне и Мельбурне. Они обеспечивают прогнозами региональные метеорологические центры в различных частях мира.

Важным новым качеством спутника «Метеор-2» стала возможность непосредственной передачи телевизионного изображения в любое время суток того района Земли, над которым пролетает спутник, в полосе шириной около 2300 км. Это позволяет оперативно получать информацию о данной области, температуре верхней границы облаков, состоянии ледового покрова практически любому заинтересованному потребителю, располагающему довольно простой приемной аппаратурой. В частности, установка такой аппаратуры на атомоходе «Арктика» во время его знаменитого похода к полюсу и получение регулярных сведений об окружающих льдах в немалой степени способствовали успеху этой экспедиции. Большие перспективы открывает использование метеоспутников, находящихся на геостационарной орбите, что позволяет регулярно передавать информацию о метеорологических процессах, происходящих одновременно почти на целом полушарии. Экономический эффект от точности метеопрогнозов, в которых заинтересованы различные отрасли хозяйства, морской и воздушный транспорт, очень велики. У нас в стране, например, большие экономические выгоды дает наблюдение ледовой обстановки во время навигации по Северному морскому пути. Метеорологические спутники дают обширную информацию о возникновении и приближении разрушительных ураганов, тайфунов, губительных морозов, дождей и засухи. Легко понять, какое огромное значение имеет своевременное предсказание этих явлений природы для многих сторон человеческой деятельности.

Создание спутников связи и метеорологических спутников — замечательный пример мирного использования космоса.

Очень выгодным оказалось применение спутников для целей геодезии и картографии. Геодезические спутники служат для создания опорной геодезической сети, привязки координат пунктов и уточнения фигуры Земли. Они открывают перспективы регистрации тектонических сдвигов, обнаружения смещений участков земной коры. Космическое картографи-

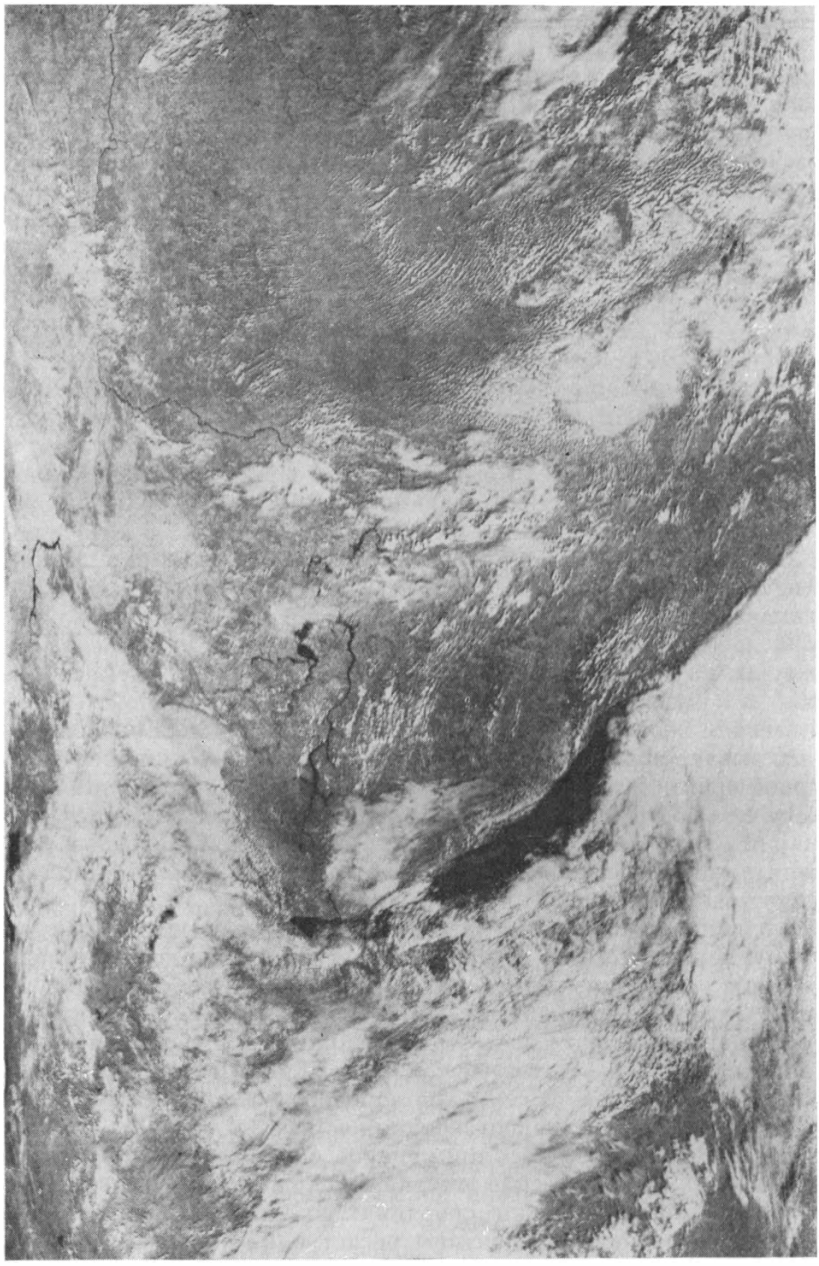


Рис. 66. Кучевые и кучево-дождевые облака, на юго-востоке фронтальная облачная полоса (оз. Байкал, р. Ангара, р. Енисей). Снимок с «Метеора-1» 27.VII 1977 г.

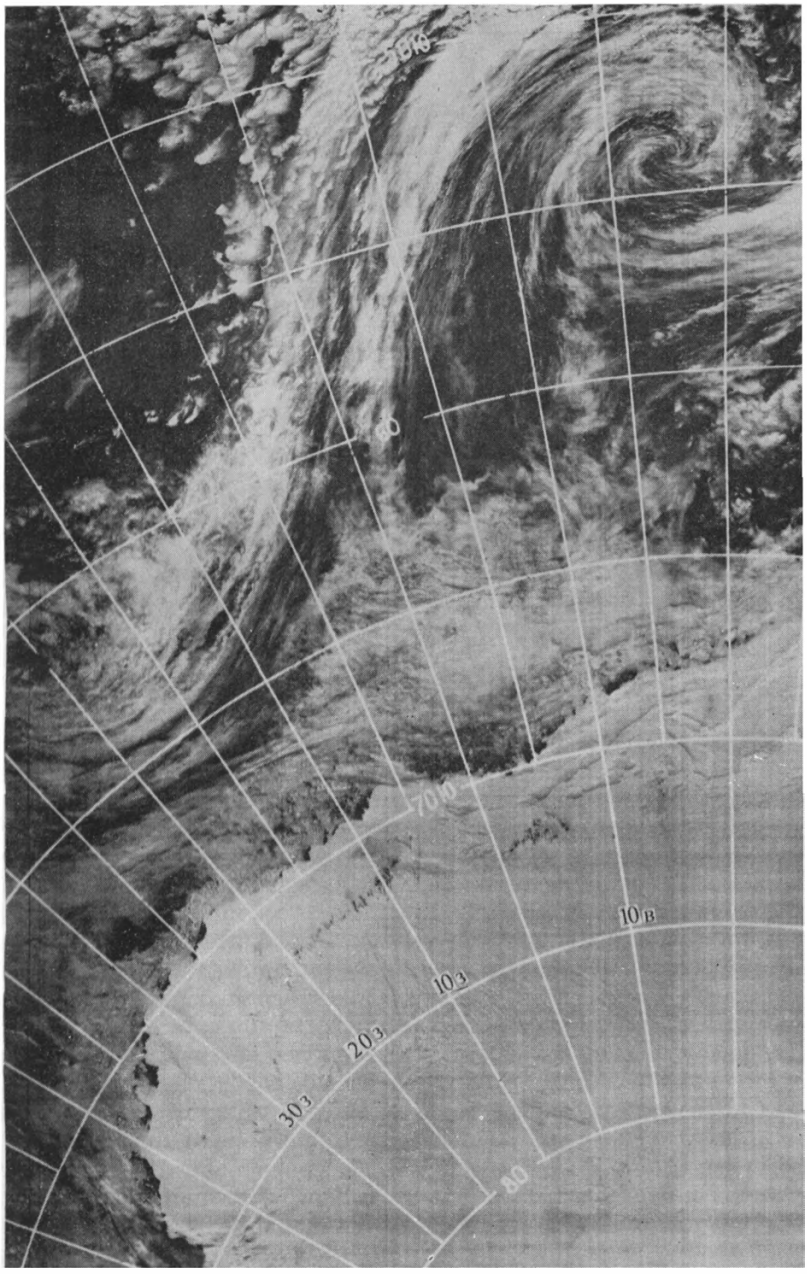


Рис. 67. Льды различной сплоченности у берегов Антарктиды, фронтальная облачная полоса с облачным вихрем. Снимок с «Метеора-2» 14.XII 1978 г.

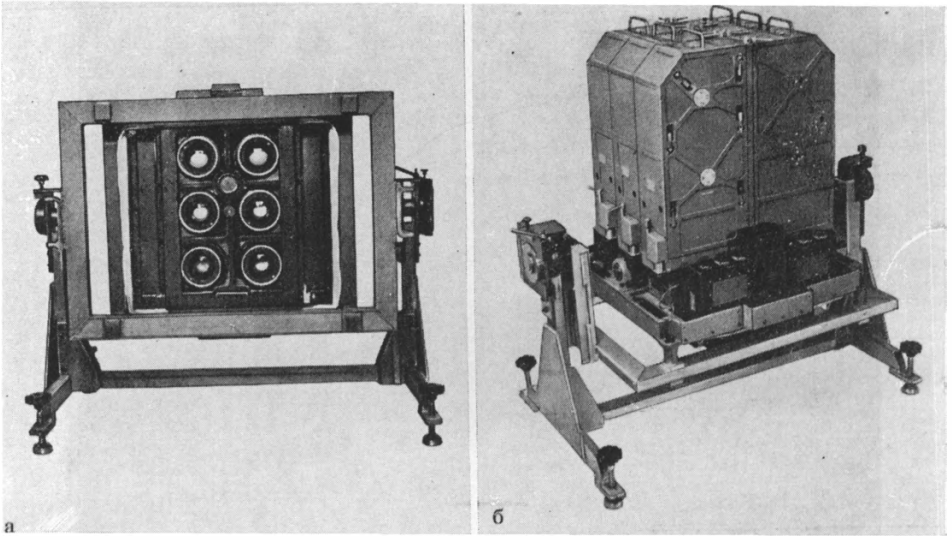


Рис. 68. Фотоаппарат многозонального фотографирования МКФ-6
а — вид со стороны объективов, б — со стороны кассет

рование значительно экономичнее и оперативнее аэрофотосъемки, когда речь идет об охвате больших территорий, и оба эти метода хорошо дополняют друг друга. Появилась возможность регулярного получения карт, отражающих результаты хозяйственной деятельности человека, уточняющих морфологию труднодоступных районов, сетку речных притоков и границы водоемов и т. п.

Новым перспективным направлением практического использования космоса становится исследование природных ресурсов Земли. Непрерывно возрастающие темпы научно-технического прогресса, развитие экономики и все большее проникновение индустриальных методов в разнообразные сферы человеческой деятельности выдвигают задачи совершенствования методов изучения различных объектов геосферы и биогеоценозов, более рационального подхода в решении сложной проблемы взаимоотношений человека и окружающей природной среды.

Методы изучения Земли из космоса по своему существу являются одним из направлений планетной физики. В основе их лежит регистрация и анализ собственного (теплового) и отраженного излучений Земли как планеты Солнечной системы. Различные объекты геосферы имеют свои специфические спектральные характеристики в широком диапазоне длин

волн, включая видимый и ближний инфракрасный, охватываемые обычной фотографией. Они хорошо подчеркиваются при съемке на спектрозональную пленку с использованием отечественной фотокамеры КТ-40. Более информативны фотоснимки, получаемые в отдельных цветах (зонах). Последующий синтез этих изображений (многозональные снимки) позволяет выявить некоторые, наиболее характерные, черты или состояние отдельных природных образований. Такими возможностями обладает разработанный совместно советскими и немецкими специалистами фотоаппарат многозонального фотографирования МКФ-6 (рис. 68). Примеры полученных снимков показаны на рис. 69, 70. Весьма перспективно использование узкополосных спектров отражения отдельных участков земной поверхности, однако при дешифровке и отождествлении этих спектров требуется подробное сопоставление с соответствующими эталонными спектрами, получаемыми в комплексных измерениях (совмещенных подспутниковых или самолетных экспериментах) на специальных полигонах. Существенные ограничения на однозначность интерпретации свойств подстилающей поверхности оказывает состояние земной атмосферы, для чего необходимо подробно исследовать и учитывать в анализе ее пространственно-временны́е особенности в данном регионе (так называемую атмосферную передаточную функцию).

Анализ методических и технических возможностей позволяет наметить ряд областей, в которых использование спутников для исследования земных ресурсов, связанных с дальнейшим широким развитием методов дистанционного зондирования, обещает стать наиболее эффективным. К ним следует прежде всего отнести вопросы состояния почвенного и растительного покрова, представляющие первостепенный интерес для сельского и лесного хозяйства; вопросы гидрологии, океанографии, морского рыболовства. В качестве примеров перспективного применения космических методов называются возможности эффективного решения таких задач, как составление почвенных и геоботанических карт, карт морских течений и термальных перепадов на поверхности океана, оценка состояния посевов и степени их созревания, зараженности посевов и лесов вредителями, обнаружение очагов лесных пожаров, определение динамики снегового, ледового покрова и выпадения осадков, оценки состояния водоемов и запасов пресной воды, определение районов наибольшего содержания планктона, скопления и миграции рыбных косяков и др.

Например, космическое лесоведение особенно перспективно для нашей страны, почти половина территории которой покрыта лесами. На основе результатов регулярных космических съемок и составления соответствующих мелкомасштабных (обзорных) и крупномасштабных (тематических) карт открываются возможности получения подробных сведений о состоянии лесных ресурсов и динамике их изменений, что позволяет более целенаправленно планировать объемы заготовок древесины и необходимые ме-

роприятия по восстановлению лесных массивов. Своевременное выявление зараженных участков леса и их локализация, изучение состояния лесонасаждений в целях борьбы с эрозией, оперативная передача информации о лесных пожарах или потенциально опасных очагах загорания — все это несомненно будет способствовать решению важной задачи охраны природы, сохранения лесных богатств, растительного и животного мира.

Для специалистов сельского хозяйства большую важность представляют результаты изучения сезонной динамики характеристик почвы при интенсивном использовании, ее влагосодержания, развития почвенной эрозии, определение содержания зеленой массы и вегетации растений, получение оценок урожайности важнейших сельскохозяйственных культур (таких, например, как пшеница, ячмень, кукуруза, соя) и решение других проблем рационального использования земель.

В руках геологов космическое фотографирование становится мощным средством прослеживания крупных геологических форм, кольцевых структур и зон разломов, обладающих повышенной сейсмичностью. В частности, к кольцевым структурам, часто влияющим на размещение многих видов минерального сырья, привлечено сейчас особое внимание, хотя ограниченность критериев для их поиска и типизации пока не позволяет делать сколько-нибудь определенных выводов. Тем не менее можно уже говорить о том, что выявление районов, перспективных на поиск новых месторождений полезных ископаемых, и составление соответствующих карт позволит на десятки процентов снизить затраты на последующие геологоразведочные работы. Снимки из космоса океанических мелководий, областей прибрежных зон (материковых отмелей) позволяют обнаружить формы подводного рельефа, выявить очаги вулканической деятельности.

Одним из применений спутников для исследования земных ресурсов может также стать участие в осуществлении мероприятий по регулированию хозяйственной деятельности человека, проведению землеустроительных работ, ограничению загрязнений окружающей среды путем обеспечения эффективного и регулярного контроля на огромных территориях за сбросом промышленных отходов и термальных вод, а также степенью загрязнения океанической поверхности нефтью и нефтепродуктами. Для своевременного принятия мер с целью сохранения теплового и химического равновесия в атмосфере важное значение имеет определение вариаций содержания и высотного распределение малых атмосферных составляющих (окисей азота и углерода, озона, углекислого газа, сернистого ангидрида и др.), естественный природный баланс которых нарушается в результате все расширяющихся масштабов антропогенного воздействия на окружающую среду. Контроль средствами космической техники будет способствовать, в частности, выполнению принятых в нашей стране важнейших законодательных актов об усилении охраны природы и улучшении использования природных ресурсов.

Широкое использование космических методов исследования природной среды и контроля ее состояния (космической экологии) станет, конечно, возможным лишь после завершения экспериментальной стадии работ. Только по результатам этой стадии можно будет сделать окончательные выводы о том, в каких сферах человеческой деятельности использование космических средств окажется действительно перспективным и вместе с тем экономически оправданным. Такие работы с применением как космических аппаратов, так и самолетов ведутся в течение нескольких лет в СССР и США, и результаты в целом являются достаточно обнадеживающими. У нас в стране этим целям служат исследования, проводимые на орбитальных станциях «Салют» и пилотируемых кораблях «Союз», на спутниках «Метеор» и «Метеор-Природа». С этих спутников оперативно передавались изображения подстилающей поверхности с помощью многоканального сканирующего телефотометра в четырех участках спектра, охватывающих видимую и ближнюю ИК-области, и одновременно данные измерений, получаемые при помощи СВЧ- и ИК-радиометров и поляриметров. Большое внимание на «Салютах» и «Союзах» уделяется обычному и многозональному фотографированию. Потребителями этой информации уже стало несколько сотен организаций нашей страны.

Ряд специфических требований предъявляется к спутникам природных ресурсов, предназначенным для изучения Мирового океана, покрывающего $^2/_3$ поверхности нашей планеты. За последнее время с этой целью были запущены спутники «Космос-1076», «Космос-1151», международный спутник «Интеркосмос-20». На этих спутниках проводится отработка методов дистанционных измерений характеристик поверхности океана и примыкающего к нему пограничного слоя атмосферы, играющего важную роль в формировании метеорологических процессов. Бортовая аппаратура позволяет определять температурные неоднородности на океанической поверхности и связанные с ними волнения и течения, содержание влаги в атмосфере, зоны наибольшего скопления льдов в арктическом бассейне и др. Совершенствуется также методика отождествления спектральных и фотометрических характеристик с физическими параметрами поверхностного слоя. С этим, в частности, связана принципиальная возможность выявления областей в океане с повышенной биологической продуктивностью.

Все большее развитие получают проводимые на орбитальных станциях технологические эксперименты, в которых изучается влияние факторов космического полета (невесомость, глубокий вакуум, сочетание высоких и низких температур, радиация) на получение новых материалов, полуфабрикатов и изделий. Это направление исследований может привести в перспективе к созданию высокоэффективных производственных комплексов в космосе. Однако и здесь надо в первую очередь тщательно изучить особенности соответствующих физико-химических процессов, убе-

диться в экономической целесообразности перехода от экспериментальной стадии к промышленной.

Наиболее перспективными направлениями в космическом материаловедении обещает стать выращивание кристаллов в невесомости, получение пористых металлов, композитных и других конструкционных материалов. Без кристаллов немыслимы микроэлектроника, квантовая электроника, электронная оптика и многие другие области современной науки и техники. Их прогресс целиком зависит от совершенства структуры кристаллов — однородности по составу и свойствам в продольном и поперечном направлениях, соотношения и заданного расположения примесей и др. Основной источник колебаний условий роста кристаллов на Земле — конвекция в расплаве или газовой фазе, отсутствующая в невесомости, где перераспределение веществ протекает за счет диффузии и атомы в кристаллических решетках могут занимать строго определенные положения. Это позволяет значительно (на несколько порядков) уменьшить число дислокаций и одновременно открывает совершенно уникальные возможности контролировать и при необходимости направлять процесс получения материалов с нужными свойствами за счет специально вводимых легирующих присадок. Особенно интересно использование бестигельных методов кристаллизации, исключающих основной источник внесения нежелательных примесей и загрязнений, поскольку неоднородность состава даже на уровне десятитысячных долей процента резко ухудшает качество полупроводника.

Не все это пока удается практически реализовать. Существуют проблемы самопроизвольного колебания скорости роста, неоднородности захвата атомов примесей и слитка в целом и т. п. Так, у некоторых кристаллов, выращенных в невесомости на «Салюте-5», наблюдалось повышенное количество газожидких включений и чередование зон, содержащих такие включения, с зонами, свободными от включений. Источниками их, видимо, были пузырьки газа, растворенного в жидкости, поэтому на «Салюте-6» использовались обезгаженные растворы. Были успешно проведены эксперименты по направленной кристаллизации веществ с высокой упругостью паров и склонных к ликвации. Анализ полученного поликристаллического слитка из растворов теллуридов кадмия и ртути показал диффузионный характер выравнивания состава в расплаве и высокую микроодпородность его отдельных участков. Проводились также эксперименты по кристаллизации из газовой фазы на полупроводниковых материалах — твердых растворах теллуридов свинца и олова, селенидов и теллуридов цинка и кадмия.

Композитные материалы выращивают на земле как целиком, путем направленного замораживания специальных сплавов, так и путем внедрения тончайших твердых нитей в пластичный металл (его армирования). И здесь невесомость позволяет значительно облегчить процесс получения

требуемой однородности. На «Салюте-6» исследовалось взаимодействие расплавов с твердыми тугоплавкими металлами на таких композициях, как алюминий—вольфрам, индий—медь, галлий—молибден, медь—алюминий, олово—свинец и др. Всего за время работы экспедиций было получено на установках «Сплав» и «Кристалл» свыше двухсот образцов полупроводниковых материалов, сплавов и соединений с новыми свойствами. Продолжалась отработка методов нанесения в условиях космического вакуума и невесомости металлических покрытий. Полученные образцы переданы организациям промышленности и испытываются в различных приборах, системах и механизмах.

Экспериментам в космосе сопутствуют лабораторные исследования, математическое моделирование процессов тепло- и массообмена при малых значениях силы тяжести (микрогравитации). Такие комплексные исследования позволяют совершенствовать методики получения кристаллов, полупроводников, оптических стекол, композитов и других уникальных материалов, что представляет первостепенный интерес для физики твердого тела, оптики, электроники, материаловедения. Есть, например, определенные указания на перспективность использования основного фактора космического полета — невесомости — в фармакологии, для получения некоторых особо чистых и биологически активных лекарственных препаратов.

Развитие космонавтики способствует общему научно-техническому прогрессу, вызывая появление новых материалов, методов измерений, технических устройств, приборов, технологических и производственных процессов. Это стимулирующее влияние происходит двояким образом. Высокий уровень требований к материалам, элементам, агрегатам, приборам, предназначенным для использования в ракетно-космической технике, способствует совершенствованию характеристик «некосмической» продукции, выпускаемой тем же заводом, предприятием, отраслью. С другой стороны, разрабатываемые специально для целей космонавтики образцы оказываются часто чрезвычайно полезными в других сферах человеческой деятельности, повышая их эффективность, принося дополнительную экономическую выгоду.

Большое количество технических достижений последних лет является прямым следствием развития космической техники. К ним относятся новые химически стойкие и жаропрочные сплавы, миниатюризованные электронные элементы и микропроцессоры, негорючие материалы, мощные аккумуляторные батареи с малым временем подзаряда и высокоэффективные электрогенераторы (радиоизотопные, на основе топливных элементов и др.), буровые инструменты, биомедицинское оборудование, совершенные методы обработки пищевых продуктов и многие другие научно-технические достижения. Так, жаропрочные сплавы нашли применение в самолетостроении при изготовлении моторов, аккумуляторные

батареи космических зондов, требующие на подзарядку 15—20 мин вместо нескольких часов, могут эффективно использоваться для автокаров и электромобилей и т. д. Широкое распространение в вычислительной технике и электронике получили микропроцессоры, выполняющие в чрезвычайно малом объеме функции тысяч транзисторов, конденсаторов, сопротивлений.

Потребности космонавтики содействовали решению многих вопросов в области автоматизации, совершенствования теории и средств дистанционного управления, систем оперативного контроля за функционированием технически сложных устройств, методов передачи и обработки информации. Они способствовали также резкому улучшению физических характеристик конструкционных материалов, точности и надежности многих изделий, промышленному освоению новых технологических процессов.

На оспове специально разработанных для космической техники материалов созданы разнообразные хирургические инструменты. Созданы катетеры для длительной катетеризации магистральных сосудов и сердца. В различных областях применяются фармакологические препараты против болезни укачивания, для повышения устойчивости организма к кислородной недостаточности и др. Большое значение имеют исследования влияния снижения двигательной активности на организм человека. Многие методы и приборы для регистрации разнообразной физиологической информации и ее автоматической обработки, разработанные для космических исследований, получают все более широкое распространение в медицинской практике. В частности, аппаратура для исследования минеральной насыщенности костной ткани. Представляет большой интерес использование опыта идентификации вредных примесей в атмосфере, характеристики аутомикрофлоры человека, малогабаритной аппаратуры газового анализа.

В связи с исследованиями вопросов, связанных с пребыванием человека в космосе, глубокому изучению подверглась физиология человека при разнообразных воздействиях и нагрузках. Были усовершенствованы методы отбора людей для профессиональной деятельности (летчиков, подводников). Несомненную пользу практической медицине принесли специальные методы выявления скрытой патологии, в частности модифицированные гипоксические пробы, помогающие выявлять скрытую коронарную недостаточность, усовершенствованные методики исследования нарушений деятельности вестибулярного аппарата. Физиология получила возможность изучить роль гравитационных сил в жизнедеятельности человеческого организма.

Значительных успехов достигла космическая медицина и в разработке методов дистанционной регистрации показателей деятельности различных систем организма. Часть этих методов внедрена как в клиническую практику, так и в такие области, как спортивная и подводная медицина.

XIII
МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО

Космические исследования ввиду их преимущественно глобального характера в сильной степени способствовали и продолжают способствовать развитию международного научного и технического сотрудничества, сближению народов мира. Успешно развивается сотрудничество Советского Союза по линии «Интеркосмоса». Наиболее крупные программы совместных работ Советский Союз осуществляет со странами социалистического содружества, с Францией, США, Индией. Заключаются также отдельные соглашения с другими странами и международными организациями.

Многостороннее сотрудничество социалистических стран было начато в 1965 г. В 1967 г. была принята программа «Интеркосмос» на основе Соглашения между правительствами Болгарии, Венгрии, ГДР, Кубы, Монголии, Польши, Румынии, Советского Союза и Чехословакии. В 1971 г. ими было принято совместное решение о создании международной организации связи «Интерспутник», которая открыта для всех государств мира, желающих сотрудничать на равноправных и взаимовыгодных условиях. В июле 1976 г. участники программы «Интеркосмос» подписали межправительственное Соглашение о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях. В этом документе подчеркнуто стремление братских стран закрепить накопленный опыт проведения совместных работ в космосе и всемерно содействовать дальнейшему развитию сотрудничества в этой области.

В 1966 г. межгосударственное Соглашение о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях было заключено с Францией, а в 1972 г.— с США. В мае 1977 г. вступило в силу новое Соглашение о сотрудничестве между СССР и США.

Совместные работы СССР с другими странами проводятся с использованием широкого арсенала научных и технических средств, начиная от метеорологических, геофизических ракет и дрейфующих высотных аэростатов до луноходов, межпланетных станций, пилотируемых кораблей «Союз» и орбитальных станций «Салют». За период с 1965 г. было запущено 20 спутников серии «Интеркосмос» и несколько высотных ракет типа «Вертикаль» с аппаратурой, разработанной учеными и специалистами социалистических стран. На них были проведены многочисленные эксперименты с целью изучения верхней атмосферы и ионосферы Земли, солнечного ультрафиолетового, рентгеновского излучений и корпускуляр-

ных потоков, разнообразных характеристик захваченной радиации в магнитосфере Земли и другие исследования по комплексной проблеме солнечно-земных связей. Непрерывно возрастает в общих программах работ удельный вес экспериментов, имеющих прикладное, народнохозяйственное значение.

Свыше 10 советско-французских экспериментов выполнено на космических аппаратах «Ореол», «Прогноз», «Луноход», «Марс», «Венера», запущены специальные французские технологические спутники МАС, индийские спутники «Ариабата» и «Бхаскара». Большой интерес представили эксперименты по лазерной локации Луны с использованием уголковых отражателей французского производства, исследования солнечного радиоизлучения при помощи аппаратуры «Стерео» и плазмы солнечного ветра с использованием аппаратуры «Жемо», эксперименты по изучению ядерных взаимодействий при помощи аппаратуры «Снег». Успешно проведены совместные советско-французские исследования водородно-дейтериевой компоненты верхней атмосферы Венеры на автоматических станциях «Венера-9—12» и исследования гамма-всплесков при помощи гамма-телескопа «Снег-3», который был установлен на спутнике «Прогноз-7», и примерно аналогичной аппаратуры, установленной на пролетных аппаратах станций «Венера-11, 12».

Многочисленным лабораториям мира были переданы для всесторонних исследований доставленные на Землю образцы лунного грунта.

Активно развивается международное сотрудничество в области медико-биологических исследований, включающее в себя широкий круг проблем гравитационной и радиационной биологии, поведения живых организмов в условиях экстремальных факторов космического полета и др. В 1975 г. был запущен специальный биологический спутник «Космос-782», в исследованиях на котором приняли участие ученые Чехословакии, Польши, Венгрии, Румынии, США и Франции. Завершена многолетняя работа по подготовке и изданию совместного трехтомного советско-американского труда «Основы космической биологии и медицины».

Большая и разнообразная программа международного сотрудничества осуществляется в области метеорологических исследований — от регулярного зондирования атмосферы при помощи метеоракет типа М-100 и МР-12 и использования информации, поступающей с космической системы «Метеор», до организации крупных совместных программ исследований глобальных атмосферных процессов. Все большее значение приобретают совместные работы по изучению окружающей природной среды и разработке для этих целей аппаратуры дистанционного зондирования. Важные результаты в области исследований земных ресурсов получены при полете в 1976 г. пилотируемого корабля «Союз-22» с аппаратурой многозонального фотографирования МКФ-6, разработанной специалистами СССР и ГДР и изготовленной на народном предприятии ГДР «Карл Цейс Йена».

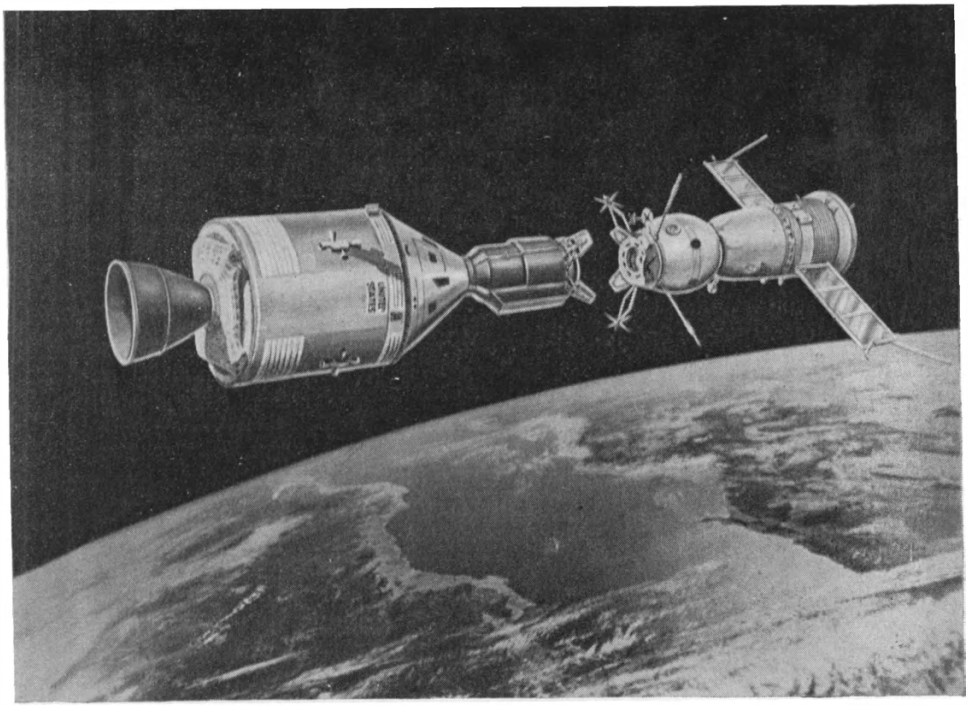


Рис. 71. Советско-американский эксперимент по стыковке космических кораблей «Союз» — «Аполлон» (рисунок)

В рамках программы советско-американского сотрудничества в исследовании космического пространства в июле 1975 г. был осуществлен совместный полет космических кораблей «Союз» и «Аполлон» с космонавтами А. А. Леоновым, В. Н. Кубасовым, Т. Стаффордом, Д. Слейтоном и В. Брандом. Во время этого полета отрабатывались совместимые средства сближения и стыковки советских и американских пилотируемых кораблей, был проведен ряд научных и технических экспериментов (рис. 71).

Новой замечательной страницей сотрудничества по программе «Интеркосмос» стала реализация Соглашения о полетах космонавтов социалистических стран на орбитальных станциях «Салют». В этом Соглашении, подписанном в Москве 13 июля 1976 г., подчеркнуто стремление братских стран закрепить накопленный опыт проведения совместных работ в космосе и всемерно развивать дальнейшее сотрудничество в этом направлении. К настоящему времени успешно завершились полеты летчиков-космонавтов



Первый интернациональный экипаж на борту орбитальной станции «Салют-6»: летчик-космонавт СССР А. А. Губарев и летчик-космонавт ЧССР В. Ремек

ЧССР, ПНР, ГДР, ВНР, СРВ и Республики Куба — В. Ремека, М. Гермашевского, З. Йена, Б. Фаркаша, Фам Туана и А. Тамайо Мендеса, которые вместе с командирами международных экипажей советскими космонавтами А. А. Губаревым, В. Ф. Быковским, П. И. Климуком, В. Н. Кубасовым, В. В. Горбатко, Ю. В. Романенко и экипажами длительных экспедиций выполнили на борту «Салюта-6» обширный комплекс наблюдений отдельных районов земной поверхности и океана, научных и прикладных исследований по совместно разработанным программам. Среди последних важное место заняли технологические эксперименты по получению в условиях невесомости металлических сплавов, выращиванию кристаллов, используемых в качестве полупроводниковых материалов, биологические эксперименты по изучению влияния факторов космического полета на структурно-функциональную организацию клеток, медицинские иссле-

дования, в том числе изучение психофизиологических реакций человека в замкнутом пространстве, и др. Высокое профессиональное мастерство, выдержку и мужество продемонстрировал советско-болгарский космический экипаж — космонавты Н. Н. Рукавишников и Г. Иванов. В процессе сближения со станцией «Салют-6» возникли отклонения от штатного режима в работе сближающе-корректирующей двигательной установки корабля «Союз-33», и стыковка была отменена. Для возвращения на Землю космонавты использовали резервный двигатель корабля, четко и слаженно провели все операции и благополучно приземлились.

Космонавты МНР и СРР завершают предполетную подготовку в Центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина. В соответствии с достигнутым Соглашением с середины 1980 г. там начали подготовку французские космонавты. Космос стал ареной дружеских встреч представителей разных народов, получивших возможность приобщиться к самым современным научно-техническим достижениям.

Полноправными участниками работ стали ученые и космонавты социалистических стран — участниц программы «Интеркосмос». Тем самым открыт качественно новый этап социалистической интеграции в области научных исследований космического пространства. В этом проявляются лучшие черты интернационализма и товарищеской взаимопомощи.

Освоение космоса явилось закономерным, исторически предопределенным этапом неуклонного развития производительных сил человечества. Оно призвано помочь в решении острых экономических и социальных проблем, связанных с устранением противоречий между растущими потребностями увеличивающегося народонаселения Земли и ограниченными земными источниками их удовлетворения. Разрешить эти проблемы можно только на пути объединения усилий всех государств, их добровольного и равноправного сотрудничества.

Развитие международного сотрудничества в космических исследованиях служит благородному делу разрядки напряженности в мире, укреплению доверия и взаимопонимания между народами. Подчеркивая важность исследования и освоения космического пространства для всего человечества, Советский Союз неоднократно выступал с предложениями о согласованных действиях в использовании космоса. По инициативе СССР на XXV сессии Генеральной Ассамблеи ООН в 1966 г. одобрен договор «О принципах деятельности государств по исследованию и использованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела», регламентирующий важнейшие правовые основы и равноправное сотрудничество в космосе.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Советский Союз запустил первый в мире искусственный спутник Земли, осуществил первый полет человека в космическое пространство, открыв тем самым дорогу в космос для всего человечества. Реализация советской космической программы отмечена рядом выдающихся приоритетных достижений, способствовавших прогрессу мировой космонавтики. Эти успехи были обеспечены большими коллективами ученых, инженеров, техников и рабочих, при постоянном внимании и заботе Коммунистической партии и Советского правительства. «Уже сегодня достаточно важны и актуальны,— говорил на XXV съезде КПСС товарищ Л. И. Брежнев,— такие глобальные проблемы, как сырьевая или энергетическая, ликвидация наиболее опасных и распространенных заболеваний и охрана окружающей среды, освоение космоса и использование ресурсов Мирового океана. В перспективе они будут оказывать все более заметное влияние на жизнь каждого народа, на всю систему международных отношений. Наша страна, как и другие страны социализма, не может стоять в стороне от решения этих проблем, затрагивающих интересы всего человечества».

Возрастающая сложность решаемых задач требует непрерывного совершенствования космической техники, расширения возможностей и областей применения создаваемых средств. В области фундаментальных и прикладных исследований по-прежнему важная роль будет принадлежать посещаемым орбитальным станциям, оснащенным совершенными комплексами аппаратуры для проведения астрофизических, геофизических исследований, изучения динамики процессов, происходящих на Земле, контроля за состоянием окружающей среды, различных наблюдений для обеспечения хозяйственной деятельности человека, проведения технологических, медико-биологических и других экспериментов. Космические исследования постепенно вступают в новую фазу, космос все больше становится научной лабораторией, рабочим местом исследователей.

Для изучения ряда кардинальных астрофизических проблем, связанных со строением и эволюцией звезд, галактик, туманностей, проблемы эволюции Вселенной в целом необходим охват практически всего диапазона электромагнитного излучения — от самых коротких гамма-лучей до радиоволн. Эти задачи будут решаться как путем создания специализированных спутников, так и посредством установки больших сложных инструментов на орбитальных станциях, интеграции отдельных специализированных

модулей. Речь, таким образом, идет о создании в будущем крупных орбитальных комплексов, рассчитанных на десятки человек и непрерывную работу в космосе.

По-прежнему важное место будет занимать изучение Солнечной системы. Новые экспериментальные данные о физико-химических особенностях планет, комет и астероидов, расширение представлений о механизмах и закономерностях формирования существующих природных комплексов на небесных телах способствуют решению кардинальной проблемы эволюции всей планетной системы и вместе с тем углубленному пониманию общих проблем космохимии, геологии, метеорологии. В области геофизических исследований главным остается дальнейшее комплексное изучение верхней атмосферы Земли, ионосферы, магнитосферы во всем многообразии процессов и явлений, объединяемых понятием солнечно-земных связей. Необходимо детальное изучение физики околоземного пространства как важной составной части окружающей человека среды.

Процесс освоения космоса способствует все более тесному функциональному объединению Земли и примыкающих к ней областей пространства.

С каждым годом будет возрастать роль космоса в решении повседневных практических задач, в решении народнохозяйственных проблем, его «индустриализация». Дальнейшее развитие получат системы автоматических спутников для обеспечения потребностей связи, метеорологии, навигации, геодезии, рационального использования земных ресурсов. Максимальное удовлетворение насущных потребностей людей на Земле, забота о сохранении ее природных богатств по-прежнему будет одной из главных задач космических исследований.

Непрерывно расширяющиеся масштабы потребления энергии и одновременно истощение запасов нефти, угля, газа настоятельно диктуют необходимость овладения новыми энергетическими источниками. До тех пор, пока не будет решена проблема овладения управляемым термоядерным синтезом, возрастающее применение найдут атомные электростанции, работающие на природном урановом сырье. При этом еще более остро, чем сейчас, встанет проблема захоронения радиоактивных отходов, для чего ни глубокие шахты, ни глубоководные океанические впадины не могут служить достаточно емкими и надежными хранилищами. Выход здесь представляет вывод контейнеров с этими остатками в космос, с последующим постепенным удалением их от Земли при помощи двигателей малой тяги, использующих тепло самих осколков деления.

Важным направлением практического использования космоса может стать создание на околоземной орбите крупных энергетических комплексов — солнечных электростанций, аккумулирующих солнечную лучистую энергию и преобразующих ее «без отходов» в энергию СВЧ с целью передачи на Землю на специальные приемные антенны узким направленным

лучом. Панели солнечных батарей таких станций должны иметь размеры в несколько километров, чтобы обеспечить мощность в десятки ГВт — только при этом условии создание таких электростанций, по-видимому, окажется рентабельным. В свою очередь это потребует создания ракет-носителей большой грузоподъемности, чтобы можно было выводить в космос блоки весом в сотни тонн — элементы конструкции орбитальной солнечной электростанции с целью их последующего монтажа космонавтами. Видимо, новая специальность космического монтажника появится уже в недалеком будущем. Принципиально возможно также создание больших экранов — отражателей солнечного света для освещения отдельных районов Земли, что представляет наибольший интерес для высокоширотных зон зимнего полушария. В более отдаленной перспективе можно говорить об использовании природных богатств планет и астероидов, создании поселений на Луне и т. д. Обсуждается актуальная проблема удешевления пусков и уменьшения загрязнений атмосферы, в связи с чем предлагаются различные, часто полуфантастические, варианты транспортировки в космос и обратно грузов при минимальных затратах энергии.

Трудно сейчас, естественно, говорить о том, какие из многочисленных идей, связанных с дальнейшим освоением космоса, окажутся действительно плодотворными и осуществимыми. Несомненно, однако, что стремительное развитие науки и техники неуклонно приближает к реальности такие проекты, которые еще совсем недавно казались безудержным полетом фантазии, и вряд ли нужно ограничивать себя рассмотрением только кажущихся реальными сегодня краткосрочных проблем и планов. Ведь по существу мы сейчас реализуем только то, о чем К. Э. Циолковский мечтал в самом начале этого столетия.

Космические исследования положили начало практическому освоению космоса и стали одним из величайших достижений человеческой цивилизации, ее неотъемлемой составной частью. Они оказали и продолжают оказывать огромное влияние на научно-технический прогресс. Эти достижения служат самым благородным целям прогресса человечества, повышения благосостояния людей на Земле, интересам мира и сотрудничества.

ОГЛАВЛЕНИЕ

ПРЕДИСЛОВИЕ 5
ВВЕДЕНИЕ 7
I. ИСТОРИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ 10
II. СТАНОВЛЕНИЕ КОСМИЧЕСКОЙ ТЕХНИКИ 14
III. ИСКУССТВЕННЫЕ СПУТНИКИ ЗЕМЛИ 20
IV. ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕРХНЕЙ АТМОСФЕРЫ И ИОНОСФЕРЫ 32
V. ИССЛЕДОВАНИЯ МАГНИТОСФЕРЫ, СОЛНЕЧНОГО ВЕТРА 39
VI. ИССЛЕДОВАНИЯ СОЛНЦА 47
VII. ПОЛЕТЫ К ЛУНЕ 53
VIII. ПОЛЕТЫ К ПЛАНЕТАМ 77
IX. ФИЗИКА ПЛАНЕТ 103
X. АСТРОФИЗИКА 121
XI. ПИЛОТИРУЕМЫЕ ПОЛЕТЫ 138
XII. ПРИКЛАДНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОСМОСА 168
XIII. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО 183
ЗАКЛЮЧЕНИЕ 188

Мстислав Всеволодович
КЕЛДЫШ,
Михаил Яковлевич
МАРОВ

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Утверждено к печати ордена Ленина
Институтом прикладной математики
Академии наук СССР им. М. В. Келдыша

Редактор
Ю. И. Ефремов
Редактор издательства
Э. С. Павлинова
Художник
Б. И. Астафьев
Художественный редактор
Т. П. Поленова
Художественный редактор
графического материала
В. Н. Невзорова
Технический редактор
Р. Г. Грузинова
Корректоры
М. К. Запрудская, Г. Н. Лащ

ИБ № 21041

Сдано в набор 10.11.80
Подписано к печати 26.12.80
Т-16387. Формат 70×90¹/₁₆
Бумага люксоарт
Гарнитура обыкновенная
Печать высокая
Усл. печ. л. 14,3. Уч.-изд. л. 12,0
Тираж 8600 экз. Тип. зак. 3656
Цена 1 р. 80 к.

Издательство Наука
117864 ГСП-7, Москва, В-485, Профсоюзная ул., 90
2-я типография издательства «Наука»
121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

Ар 80 к.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»

1 р. 80 к.

М. В. Келдыш, М. Я. Маров

КОСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Выход книги приурочен к 70-летию выдающегося ученого современности трижды Героя Социалистического Труда академика М. В. Келдыша (1911—1978).

«Советский Союз открыл человечеству дорогу в космос. Это эпохальное достижение было подготовлено трудами блестящей плеяды ученых и конструкторов — пионеров отечественного ракетостроения. Рядом с именами основоположника космонавтики К. Э. Циолковского и создателя ракетно-космических систем С. П. Королева по праву называют имя М. В. Келдыша, стоявшего у истоков работ по изучению и освоению космического пространства в нашей стране. Он внес громадный вклад в решение теоретических проблем, связанных с выводом искусственных небесных тел на околоземные орбиты, полетами к Луне и планетам Солнечной системы, до конца своей жизни руководил разработкой и практическим осуществлением космических программ... Он упорно работал над претворением в жизнь мечты о завоевании человечеством всего околосолнечного пространства, глубоко веря, что космос станет одним из наиболее притягательных и благородных устремлений будущих поколений».

Академик А. Н. ТИХОНОВ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»



В книге в сжатой и доступной форме рассказывается об основных этапах становления и развития в нашей стране космических исследований, о сформировавшихся на их основе научных направлениях, которые неизмеримо расширили и во многом изменили представления об окружающих человека областях пространства, о характере солнечно-земных связей, об изучении звезд и планет, о развитии пилотируемых полетов и об использовании космоса в народнохозяйственных целях. Книга рассчитана на широкий круг читателей, интересующихся космическими исследованиями.

На суперобложке: космический корабль и орбитальная научная станция «Салют» (рисунок)