

Глава 6

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ СПУТНИКОВ ЗЕМЛИ

§ 1. Космические объекты в околоземном пространстве

Различные организации в Советском Союзе и за рубежом занимаются регистрацией запусков и орбит космических объектов. По существующим правилам о запусках искусственных спутников Земли, межпланетных автоматических станций, космических кораблей и любых других космических объектов, а также о прекращении существования их на орбитах каждая страна представляет информацию в Организацию Объединенных Наций в стандартной форме. Все регистрирующиеся объекты могут быть разделены на «полезные нагрузки» и «вспомогательные объекты». Вторые представляют собой последние ступени ракет-носителей, части головных обтекателей ракет, объекты, остающиеся на вспомогательных орбитах (переходных эллиптических и низких круговых), отделившиеся отсеки лунных кораблей, различные детали и т. п. (Только после взрыва последней ступени одной из ракет США было зарегистрировано 450 орбит осколков; по неизвестной причине развалился на части спутник «Пагеос».) Обычно учитываются только объекты, движущиеся или двигавшиеся когда-то по орбитам, но не указываются отдельно ни полезные нагрузки (даже действующие), ни обломки на поверхностях Луны и планет.

По данным Центра противокосмической обороны в Колорадо-Спрингс (штат Колорадо, США) на 3 июля 1977 г. им было зарегистрировано более 10000 объектов, из которых более 4300 еще обращались по орбитам в ближнем и дальнем космосе, а остальные опустились (или упали) на Землю, Луну, Венеру и Марс или сгорели в земной атмосфере (Spaceflight, 1977, v. 19, № 10). По данным того же Центра на 31 декабря 1978 г. на орбитах в ближнем и дальнем космосе находилось уже 4629 объектов, в том числе на околоземных орбитах находилось 4516 объектов, а именно 1007 полезных нагрузок и 3509 вспомогательных объектов¹⁾. Из числа полезных нагрузок на

¹⁾ Эти и последующие ниже данные содержатся в таблице, опубликованной в журнале *Interavia Air Letter* (№ 9170 от 12 января 1979 г.). Та же таблица указывает, что на орбитах в дальнем космосе (вокруг Луны, Солнца, Марса и Венеры) на 31 декабря 1978 г. находилась 61 полезная нагрузка (из них 27 советских, 32 американских, 2 западногерманских) и 52 вспомогательных объекта.

орбитах вокруг Земли 507 были запущены с помощью советских ракет, в том числе один спутник ЧССР и один спутник Индии. Из числа вспомогательных объектов на околоземных орбитах на долю СССР приходилось 939, а остальные 2507 «принадлежали» остальным странам.

Подробный обзор всего огромного многообразия космических объектов в околоземном пространстве в этой книге сделать невозможно, да эта задача и не может быть целью автора, повествующего о теории полета в мировом пространстве. Поэтому в настоящей и последующей главах сделана лишь попытка классификации по назначению хотя бы главной части функционирующих на околоземных орбитах объектов.

Многие из объектов, причем не только пилотируемые, способны совершать орбитальные маневры. Еще больше число таких, которые снабжены системами для коррекции орбиты. Все современные спутники обладают, как правило, системами ориентации. (Первые спутники были их лишены. Даже о самой ориентации — положении корпуса спутника в конкретный момент времени — приходилось судить косвенно: по показаниям приборов на спутнике или по наблюдаемым визуальным колебаниям его блеска на сумеречном небе [2.24].)

В этой главе будут рассмотрены лишь автоматические, непилотируемые, спутники, причем рассказ об их внутреннем устройстве, о составе научной аппаратуры, о телеметрических системах не входит в задачу автора. Важное внимание будет уделяться выбору орбит и механических свойств движения спутников в зависимости от поставленной перед ними цели.

Запускаемые в разных странах спутники могут быть разделены по своему назначению на два больших класса:

1) исследовательские спутники (рис. 52, 53), предназначенные для изучения верхней атмосферы, излучений, полей и вещества в околоземном пространстве и самой Земли;

2) спутники прикладного назначения (рис. 55, 56), служащие для удовлетворения «земных» нужд народного хозяйства.

Спутники первого класса крайне разнообразны. Некоторые из них специализированы, другие универсальны и служат интересам различных наук (геофизики, астрофизики, астрономии, ядерной физики, биологии). Спутники прикладного назначения (метеорологические, связные, навигационные, военные и др.) также иногда обслуживают разные ведомства. В ряде случаев они несут на себе и некоторую исследовательскую аппаратуру.

Указанное деление спутников в какой-то мере условно, так как сами научные исследования имеют прикладное значение.

Многообразие областей исследования должно, вообще говоря, приводить к многообразию конструкций спутников, что, увы, не способствует удешевлению космических программ. В Советском

Союзе, однако, большинство спутников серии «Космос» (на 31 декабря 1979 г. было запущено уже 1148 спутников этой серии) имеет унифицированную в главных чертах конструкцию, несмотря на то, что они предназначены для совершенно разных целей. Поэтому дальше, о чем бы ни говорилось, приходится постоянно добавлять «... и спутники серии «Космос»».

§ 2. Исследовательские спутники

Информация, поставляемая исследовательскими спутниками (рис. 52, 53), дает информацию: а) о Земле как планете; б) о Солнце; в) о звездах и галактиках; г) о межпланетной и даже о межзвездной среде. В значительно меньшей степени спутники Земли могут изучать планеты солнечной системы. Пункты б, в, г возможны потому, что аппаратура спутников может быть вынесена за пределы мешающих наземным обсерваториям преград — атмосферы и земного магнитного поля.

Из огромного числа исследовательских спутников можно условно выделить две большие группы — *геофизические спутники*, предназначенные для исследования Земли¹⁾, верхней атмосферы и околоземного космического пространства (в частности возмущений, производимых движущейся Землей в межпланетной среде), и *астрономические* и *астрофизические спутники*, задача которых — изучение далеких объектов: Солнца, звезд, галактик, межпланетной и межзвездной среды. Одни из спутников представляют собой универсальные орбитальные лаборатории, другие бывают узко специализированы.

Первым универсальным геофизическим спутником был третий советский спутник (1958 г.). К подобным же спутникам относятся часть советских спутников серии «Космос» и спутников социалистических стран «Интеркосмос», американские — серий «Эксплорер», OGO («Орбитальная геофизическая обсерватория») и другие.

Невозможно перечислить все спутники, занимавшиеся или занимающиеся сейчас исследованием *атмосферы*: с них началась космическая эра. Позднее к Советскому Союзу и США присоединились другие страны, например в 1964 г., был запущен итальянский спутник «Сан-Марко», а в 1972 и 1974 гг. выведены спутники ФРГ серии «Аэрос» (во всех случаях использовались американские ракеты-носители). Иногда атмосферные спутники запускаются на орбиты, довольно далеко «высовывающиеся» из газовой оболочки Земли, что гарантирует более долгую продолжительность их существования. Например, у американских «Эксплорер-51, -55» (третьего

¹⁾ Сюда не включаются метеорологические и тому подобные наблюдения, о которых будет говориться в следующем параграфе.

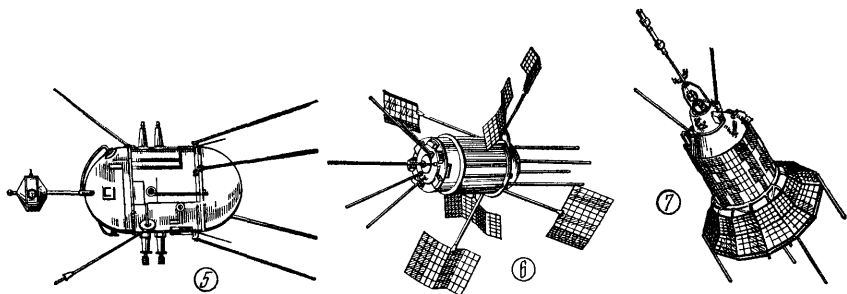
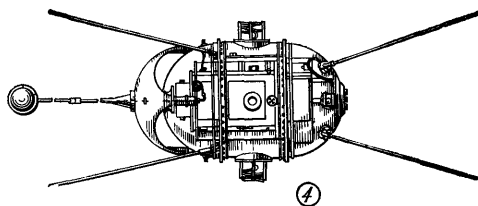
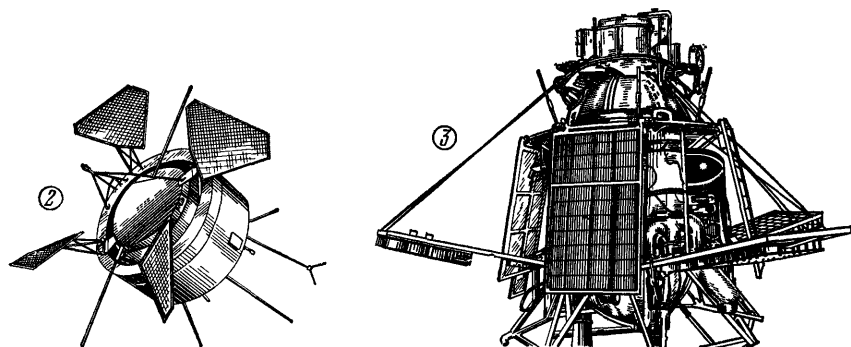
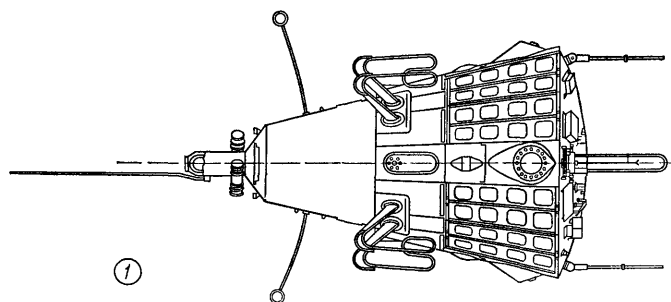


Рис. 52 Советские исследовательские спутники: 1 — третий спутник, 2 — «Протон-1», 3 — «Интеркосмос 1», 4 — спутник серии «Космос» для магнитных измерений, 5 — спутник серии «Космос» для изучения верхней атмосферы, 6 — «Электрон-1», 7 — «Электрон-2».

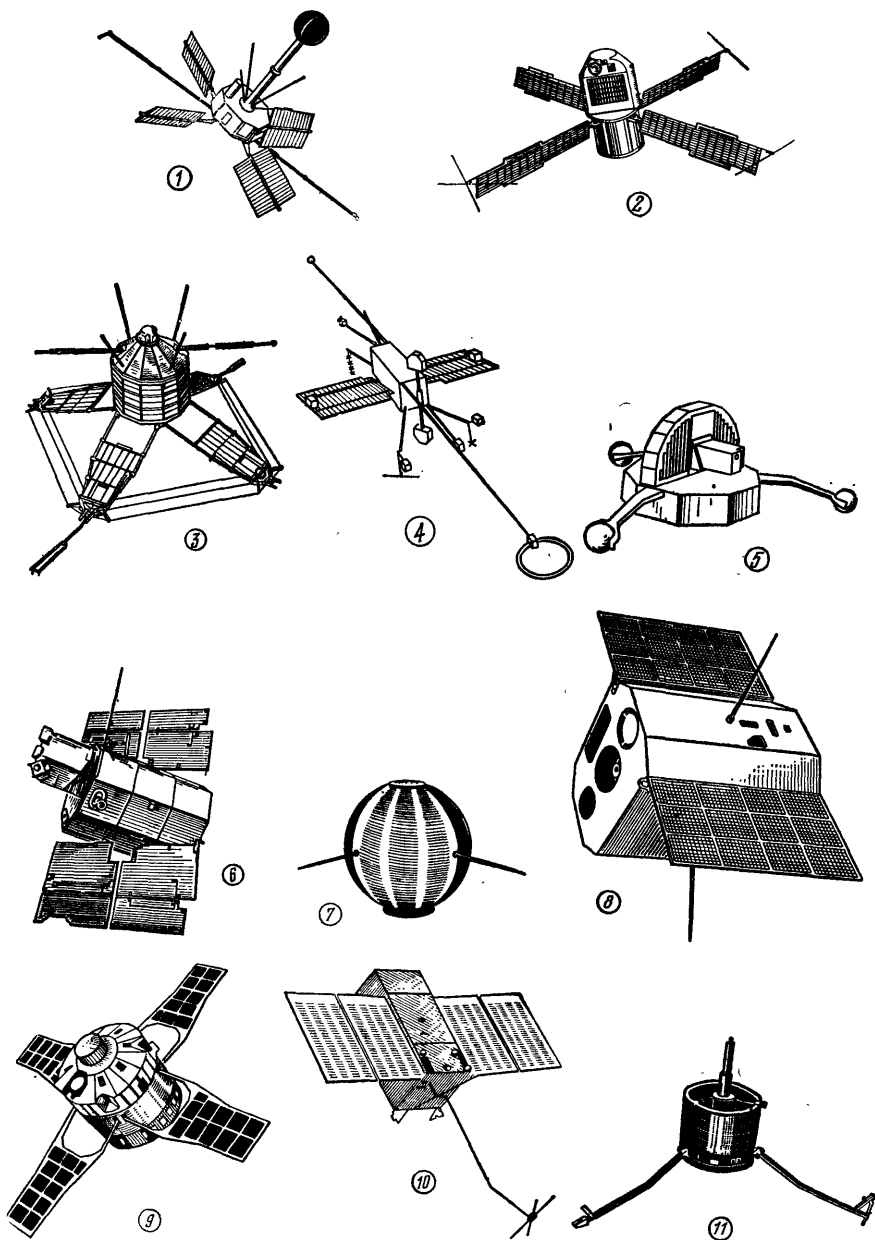


Рис. 53. Иностранные исследовательские спутники: 1 — «Эксплорер-28» (США), 2 — «Эксплорер-42» (США), 3 — «Ариэль-4» (Великобритания), 4 — OGO-1 (США), 5 — OSO-1 (США), 6 — OAO-1, 7 — «Сан-Марко» (Италия), 8 — ANS (Нидерланды), 9 — «Снет-3» (Франция), 10 — TD-1, 11 — ISEE-2 (западноевропейские).

и четвертого из специальных «Атмосферных Эксплореров») апогеи были на высотах 4300 км и 3200 км; имея бортовой двигатель, «Эксплорер-51» примерно 1—2 раза в месяц погружался в перигеи на несколько дней до высоты 120 км.

Большая часть геофизических спутников занята исследованием *земной магнитосферы* [2.28, 2.29] — области межпланетного пространства, в которой движение заряженных частиц подчиняется не

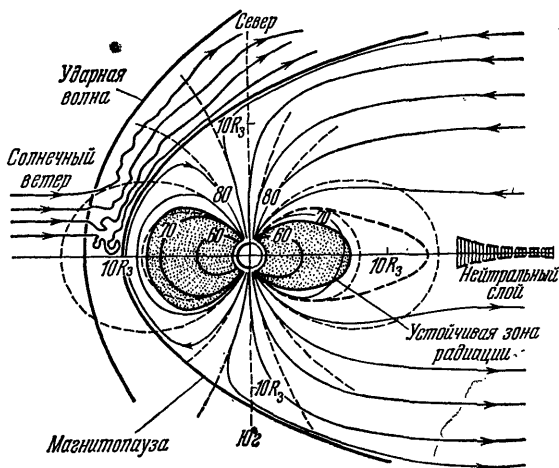


Рис. 54. Меридиональный разрез магнитосферы Земли [2.28].

магнитному полю Солнца, а магнитному полю Земли (рис. 54). Магнитосфера имеет ширину в 60 земных радиусов и простирается на 600 млн. км в сторону, противоположную Солнцу (как хвост кометы). Постоянно истекающий из Солнца поток частиц — *солнечный ветер*¹⁾, наталкиваясь на магнитное поле, образует ударную волну. На расстоянии примерно 10 радиусов Земли между Землей и Солнцем проходит магнитопауза — граница, внутри которой господствует магнитное поле Земли. Через воронки на дневной стороне («полярные каспы») заряженные частицы проникают в верхнюю атмосферу над полюсами Земли и служат причиной полярных сияний.

Магнитосферу исследовали многие спутники серии «Космос». Прохождение радиоволн в ионосфере исследовалось на спутниках «Космос-2, -142, -259, -378». Магнитную съемку проводили «Космос-26, -49, -321». Полярные сияния изучались спутниками «Космос-261,

¹⁾ Обычно вблизи земной орбиты в солнечном ветре на 1 см³ приходится 3—4 частицы, движущихся со скоростью 400 км/с, а во время повышенной активности Солнца — 15—20 при скорости 700 ÷ 1000 км/с [2.28].

-348, -900», спутниками серии «Ореол» (аппаратура СССР и Франции) и другими. Такие спутники запускаются на низкие орбиты с большим наклоном. На спутниках «Молния» (апогеи на высоте 40 000 км), в основном предназначенных для других целей (см. § 4 настоящей главы), устанавливалась аппаратура для изучения свойств кольцевого тока на высоте 10 000 км.

Спутники зондируют магнитосферу в различных направлениях и на различных высотах. При этом одни дают разрез магнитосферы по высоте (вытянутые эллиптические орбиты), а другие детально исследуют ситуацию на заданной высоте (околокруговые орбиты).

К числу первых можно отнести советские спутники «Электрон-1, -2» (у второго апогей на высоте 68200 км) и семейство «Прогнозов» с апогеями на высотах порядка 200000 км, находившимися в период запуска примерно на линии Земля — Солнце, западноевропейские HEOS-1, -2, направленные аналогично «Прогнозам» и на то же примерно расстояние. В той же стороне находятся на высоте 138000 км апогеи американского спутника ISEE-1 и западноевропейского ISEE-2, запущенных 22 октября 1977 г. одной ракетой, причем второй из них способен, включая в перигее двигатель, так варьировать свою орбиту, чтобы расстояние между обоими спутниками не превышало 5000 км (через 3 года их орбиты должны стать круговыми.) А 12 августа 1978 г. был запущен в окрестность точки либрации L_1 системы Солнце — Земля (см. § 7 гл. 15) аппарат ISEE-3, «сотрудничающий» с ISEE-1, -2, но об этом речь впереди (гл. 15). Все перечисленные спутники исследуют головную часть ударной волны и, «высовываясь» из магнитосферы, наблюдают за вспышками на Солнце. Американский «Эксплорер-52» (апогей на высоте 125 000 км) прорезал магнитосферу над северным полюсом, а «Эксплорер-34» (апогей 214 000 км) имел орбиту, вытянутую в сторону от Солнца.

Ко второй группе относятся западноевропейские GEOS-2 (первый стационарный научный спутник) и GEOS-1 (расчетная орбита которого должна была быть стационарной, а оказалась орбитой высотой 2100 ÷ 38500 км), а также американские «Эксплорер-47, -50» (IMP-N, IMP-J), которые двигаются своеобразным дозором (один впереди другого на 90°), совершая один оборот за 12 суток по орбитам на высотах примерно от 200 000 до 300 000 км, т. е. движутся как внутри, так и вне магнитосферы, давая информацию о невозмущенной межпланетной среде. Подобно этим последним для исследования магнитного шлейфа Земли могли бы послужить и «космические буи» в треугольных точках либрации L_4 и L_5 , каждая из которых пересекает шлейф ежемесячно в течение нескольких дней (они предлагались еще до открытия магнитного «хвоста» Земли).

Переходя к спутникам для изучения далеких областей Вселенной, заметим, что ценную информацию могут дать орбитальные лаборатории типа советских «Протонов», предназначенных для изучения взаимодействия космических лучей и частиц высоких энергий

с веществом, находящимся на борту (17-тонный «Протон-4» содержал 12,5 т научной аппаратуры):

Собственно *астрономическими* называются спутники, которые снабжены телескопами для наблюдения электромагнитных излучений небесных объектов в различных диапазонах: коротковолновом (ультрафиолетовом, рентгеновском, гамма-лучах), оптическом и длинноволновом (инфракрасном и радиодиапазоне). Рентгеновское и гамма-излучения дают информацию о пульсарах, квазарах, черных дырах, межзвездной среде. Все астрономические спутники стабилизируются или по трем осям, или, по крайней мере, вращаются вокруг одной оси, неизменно ориентированной в пространстве.

Рентгеновские телескопы на спутниках первого поколения дали ценнейшую информацию, совершившую переворот в астрономии. К этим спутникам принадлежали советские «Космос-215» (1968 г.), «Космос-262» (1968 г.), «Космос-264» (1969 г.), «Космос-428» (1971 г.), «Космос-461» (1971 г.), американские спутники серии SAS («малые астрономические спутники», нумеровались также как «Эксплореры»), английский «Ариэль-5» (1974 г.), французские «Аура» (1975 г.) и «Снег-3» (1977 г., запущен советской ракетой), индийский «Ариабата» (1975 г., запущен советской ракетой), голландский ANS (1974 г., запущен американской ракетой), западноевропейский COS-B (1975 г., американская ракета-носитель; орбита $316 \div 116\ 000$ км для избежания помех от пояса радиации), американо-западноевропейский IUE (1978 г., орбита $25000 \div 40000$ км). Гамма-телескопы, имевшиеся на некоторых из этих спутников, были всенаправленными и дали гораздо меньше информации, чем рентгеновские. Гораздо более совершенной рентгеновской и гамма-аппаратурой обладают американские астрономические спутники второго поколения серии HEAO. Они имеют длину 5,8 м, диаметр 2,1 м и массу более 3 т каждый и должны выводиться на круговые орбиты высотой от 420 до 460 км (первый был запущен в апреле 1977 г.). Их приборы сканируют небесную сферу, медленно вращаясь вокруг оси, направленной на Солнце, но могут и детально «рассмотреть» уже обнаруженные рентгеновские источники. Спутники HEAO способны обнаруживать в миллион раз более слабые рентгеновские источники, чем выведенный в 1970 г. спутник SAS-1 (он же «Эксплорер-42», он же «Ухуру»).

Оптические телескопы помещались на американских спутниках серии ОАО («Орбитальная астрономическая обсерватория»). Наиболее совершенным из них был спутник «Коперник» (1972 г., орбита $739 \div 751$ км, масса 2220 кг). Его система стабилизации была рассчитана на точность наведения в течение часа с точностью 0,1" (фактически оказалось даже 0,03"). США намечают в начале 1983 г. вывести с помощью орбитального самолета на круговую орбиту высотой 520 км телескоп длиной 14 м с диаметром зеркала 2,4 м.

Телескоп, управляемый наземным оператором, должен будет удерживать заданное направление с точностью $0,007''$. Удастся наблюдать объекты, удаленные на 14 млрд. св. лет (сейчас на Земле — лишь 2 млрд. св. лет). Угловое разрешение $0,1''$ позволит различить на Юпитере детали размером 300 км.

Советские телескопические наблюдения проводились на пилотируемых орбитальных объектах. Для этого на первой станции «Салют» во время ее 23-суточного полета в 1971 г. использовалась астрофизическая установка «Орион»; аналогичные наблюдения проводились в 1973 г. на космическом корабле «Союз-13» с помощью установки «Орион-2».

Радиоастрономические спутники имеют очень большие развертываемые антенны. Так, американский радиоастрономический спутник «Эксплорер-38», запущенный в июле 1968 г. на орбиту высотой от 5850 до 5858 км, имеет четыре антенны, каждая из которых может раздвигаться до 229 м. Колоссальные размеры и площади могут иметь орбитальные радиотелескопы, монтируемые из отдельных блоков (см. § 6 гл. 7). В июле 1979 г. на борту орбитальной станции «Салют-6» успешно работал 10-метровый радиотелескоп, доставленный в сложенном виде грузовым кораблем «Прогресс-7».

Особый вид астрономических спутников представляют *солнечные спутники*, которые ориентируются на Солнце и направляют на него свои приборы. Таковы советские «Космос-166, -200, -230» и другие этой же серии, спутники серии «Интеркосмос», «Интеркосмос-Коперник 500» (аппаратуры разработаны в СССР, ГДР, ПНР, ЧССР), американские спутники серии OSO («Орбитальная солнечная обсерватория»), западноевропейский TD-1A, японский «Стратс». Конечно, их аппаратура используется зачастую и для наблюдений других рентгеновских источников. В связи с наступлением периода солнечной активности (1979—1983 гг.) в США проектируется запуск нескольких спутников.

К астрономическим спутникам примыкают, так сказать, по ведомственной принадлежности *метеороидные* спутники. Их представителями служат советские спутники «Космос-135, -163», американские «Эксплорер-13, -16, -23, -46» и «Пегас -1, -2, -3», английский «Просперо». Спутники «Пегас» снабжались развертываемыми поверхностями для пробивания их метеоритами.

Особо следует сказать о спутниках, предназначенных для проверки общей теории относительности. По крайней мере, в некоторых случаях они могут представлять собой просто радиомаяки без каких-либо приборов. Дело в том, что, как вытекает из теории, плоскость орбиты спутника должна бы была совершать медленное прецессионное движение, даже если бы Земля обладала точной сферической симметрией. В США предполагалось запустить на близкие полярные орбиты в противоположных направлениях два спутника: эффект бы удвоился и расхождение плоскостей удалось бы наблюдать. А влия-

ние во много раз большей «обычной» прецессии было бы исключено: орбиты — полярные!

К числу исследовательских спутников принадлежат также *биоспутники*, служащие для изучения воздействий условий космического полета на живые организмы — животные и растения. Главным фактором, интересующим при этом науку, является невесомость, но представляет интерес и воздействие радиации. Продолжительность воздействия невесомости при орбитальном полете неограничена. С этой точки зрения на орбите спутника Земли может быть промоделирован полет до любой планеты. Помимо значения таких испытаний для будущих полетов людей, они имеют и большое теоретическое значение, так как помогают выявить роль силы тяжести в развитии живых организмов.

Специально биологическими были второй советский спутник (1957 г.) со знаменитой Лайкой на борту (первый биоспутник в истории), «Космос-110» (1966 г., две собаки, 22-суточный полет), «Космос-368» (1970 г.), «Космос-573» (1973 г.), «Космос-605» (1973 г., лабораторные животные и другие объекты), «Космос-690» (1974 г., крысы в условиях искусственного облучения радиоизотопным источником), «Космос-782» (1975 г.), «Космос-936» (1977 г.). На двух последних спутниках помещались вращающиеся центрифуги, создающие искусственную тяжесть (см. § 3 гл. 7), под воздействием которой находились насекомые, растения, рыбы, микроорганизмы на «Космосе-782» и 10 крыс на «Космосе-936». В США выводились спутники «Биос-2» (1967 г., насекомые и растения), «Биос-3» (1969 г., макака — погибла после экстренного спуска по неясной причине), OFO-1 (две лягушки). Подопытные животные помещались на кораблях-спутниках при испытательных полетах, предшествовавших полету человеку (собаки и кролики в СССР, обезьяны в США).

Информация, полученная с помощью исследовательских спутников, дала ценнейшую информацию для физиков, геофизиков, астрономов, астрофизиков, биологов. Объем ее столь велик, что даже беглое изложение потребовало бы отдельной книги. Автор предпочитает не затрагивать этих вопросов.

§ 3. Метеорологические спутники и спутники для исследования природных ресурсов Земли

Мы начнем обзор *прикладных спутников* (рис. 55, 56) с широкого класса автоматических орбитальных лабораторий, предназначенных для обзора облачного слоя и поверхности Земли с различными целями.

Метеорологические спутники предназначены для оперативного обеспечения службы погоды информацией об облачности и состоянии нижнего слоя атмосферы (температура, скорость ветра), а также для оповещения о грозах, штормах, ураганах и т. п. Они снабжа-

ются телевизионными камерами и инфракрасными датчиками для наблюдения облачности на ночной стороне Земли и измерения теплового баланса Земли. Орбиты таких спутников должны быть достаточно высокими, чтобы был обеспечен широкий обзор, и круговыми, чтобы легче можно было компоновать метеокарты в одном масштабе. Желательны кратнопериодические орбиты, чтобы один спутник

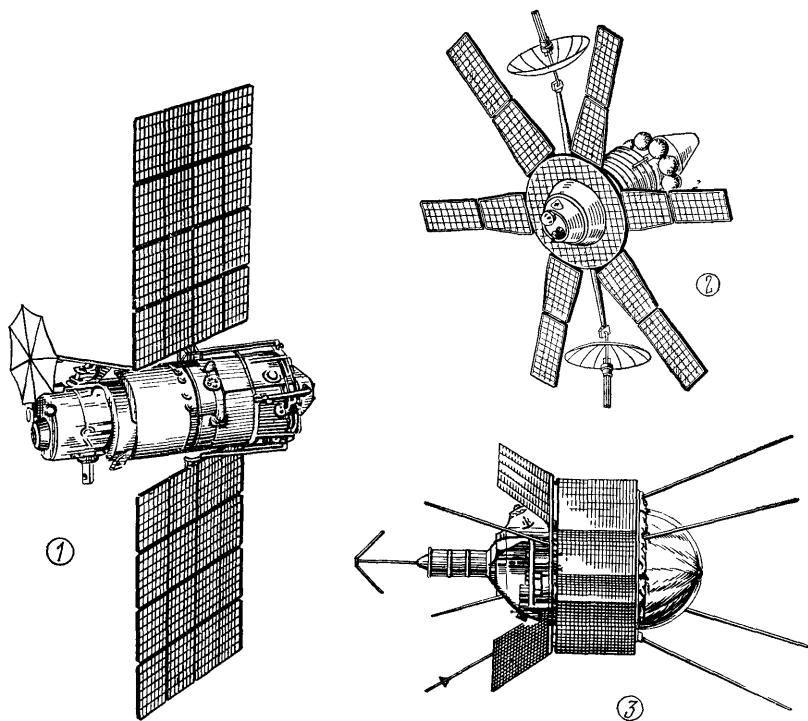


Рис. 55. Советские прикладные спутники: 1 — «Метеор», 2 — «Молния-1», 3 — «Космос-97»

многokrатно проходил над одними и теми же районами. Система из многих спутников должна обеспечить обзор всей земной поверхности. Ясно, что это невозможно без полярных спутников. В зависимости от высоты орбит, определяющейся прогрессом оптической и телевизионной аппаратур, система должна теоретически содержать то или иное число спутников.

На первоначальном этапе как в СССР, так и в США запускались экспериментальные метеоспутники или необходимая аппаратура обрабатывалась на спутниках, предназначенных для других целей. В Советском Союзе для этого использовались спутники «Космос-4, -45» и другие этой же серии, а также спутники связи «Молния». Наконец, была создана система «Метеор», в которую постепенно

включались, заменяя одни других, спутники «Космос-122, -144, -155, -184, -206, -226» и многочисленные спутники серий «Метеор» и «Метеор-2». В основном сейчас используются высоты 900 км (ранее — 650 км) [2.30], причем разрешающая способность телевизионных камер в надире составляет 1,5 км [2.31].

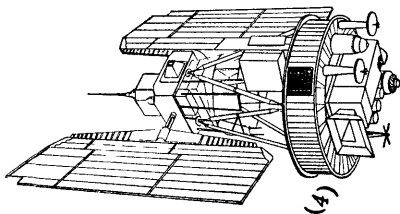
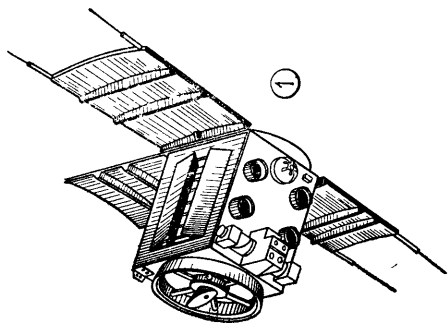
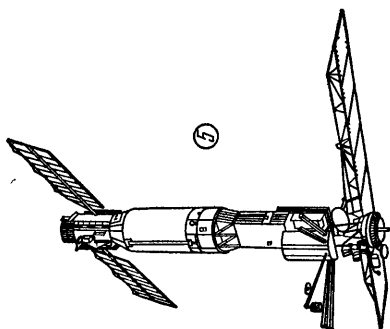
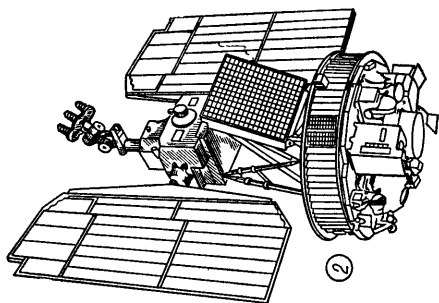
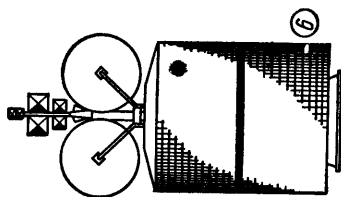
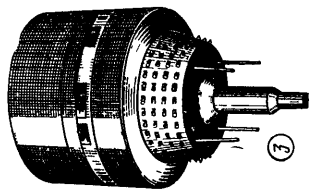
В США, начиная с 1960 г., метеорологические спутники в своем развитии прошли серии «Тирос», ESSA, ITOS (начиная со второго назывались также NOAA), несколько модификаций экспериментальных спутников «Нимбус». В октябре 1978 г. был запущен первый из восьми эксплуатационных спутников серии «Тирос-N». Все эти спутники выводились на круговые солнечно-синхронные орбиты («Тирос-N» — высотой 1000 км). Эпизодически в роли метеорологических выступали спутники серии ATS. Наконец, стали выводиться стационарные метеорологические спутники серии SMS, серии GOES (третий из них, запущенный в 1978 г., управляется Западноевропейским космическим агентством). Свои метеорологические спутники имеет и военное ведомство США.

Должны быть упомянуты также французский спутник «Эол», японские «Осуми» и GMS-1 (последний — стационарный, для наблюдения за ураганами).

Поскольку погода не знает границ и состояние ее в любом пункте земного шара зависит от условий в других районах, естественно стремление создать глобальную международную оперативную метеорологическую систему. Сообщалось о системе из спутников NOAA, SMS, GOES, «Метеосат» [2.30] и о системе, включающей советские спутники «Метеор», NOAA, SMS-1, -2 [2.31]. На период декабрь 1978 — декабрь 1979 гг. намечался глобальный эксперимент по проверке численных моделей прогноза погоды. В нем должны были принимать участие пять стационарных метеоспутников, расположенных над точками с долготами 0° (Европейское космическое агентство), 70° в. д. (СССР), 140° в. д. (Япония), 135° з. д. и 70° з. д. (США) [2.31].

Разновидностью метеорологических спутников служат *океанографические*, предназначенные для наблюдения за океанами: скоростью ветра в приводном слое, волнением, зонами зарождения ураганов, ледовой обстановкой в Арктике и Антарктике, местными температурными аномалиями, позволяющими подозревать наличие в них косяков рыб, и т. д. Сюда относятся спутники серии «Космос» (например, «Космос-243», 1968 г., «Космос-1076», 1979 г.), американский спутник «Сисат» (1978 г.). О спутнике «Сисат» сообщалось, что он способен определять свою высоту над океаном (с орбиты 710—850 км) с точностью до 10 см в случае штиля, высоту волн с точностью 0.5 м, скорость ветра с точностью до 2 м/с (определяется и его направление).

Тысячи морских судов, рыболовецких, торговых, грузовых, многие сельскохозяйственные органы во всем мире уже пользуются



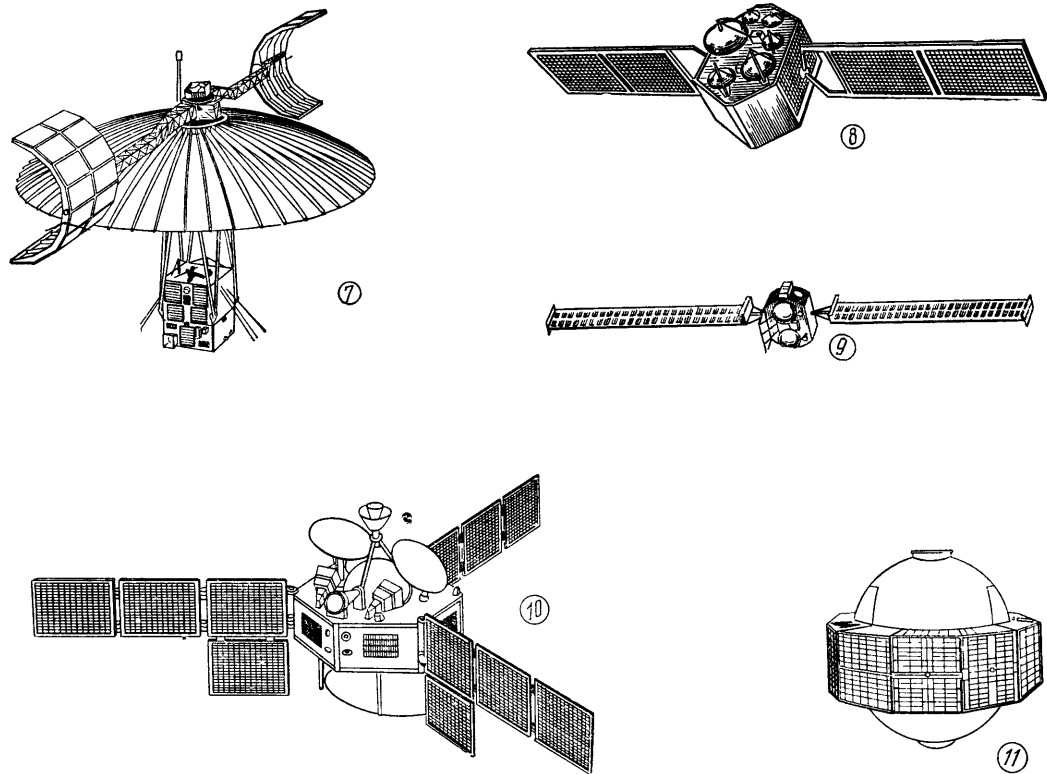


Рис 56. Иностраные прикладные спутники: 1 — ITOS-1 (США), 2 — «Нимбус-6» (США), 3 — «Метеосат» (западноевропейский), 4 — «Лэндсат-1» (США), 5 — «Сисат-1» (США), 6 — «Интелсат-4» (США), 7 — ATS-6 (США), 8 — OTS (западноевропейский), 9 — CTS (Канада), 10 — «Симфония» (ФРГ — Франция), 11 — «Анна-1В» (США).

информацией метеорологических и океанографических спутников.

Большинство действующих метеорологических спутников способно выполнять функции спутников связи, собирая для передачи на Землю информацию с автоматических станций, находящихся на суше, дрейфующих на льдах, на аэростатах (один лишь «Метеосат-1» охватывает более 1000 подобных пунктов, а «Эол» занимался исключительно ретрансляцией сигналов от нескольких сот шаров-зондов в южном полушарии).

Родственны метеорологическим спутники для изучения природных ресурсов Земли. Они делают все то же, что и метеорологические спутники и даже больше, но преследуют несколько иные цели. Фотографии делаются в разных участках оптического спектра, используется информация в инфракрасном и радиодиапазонах. Становятся различимыми детали наземного и подводного рельефа, типы горных пород, детали растительного покрова и его изменение (олиствение, листопад, подсыхание трав, заражение насекомыми-вредителями). Делаются возможными определение влажности почвы, прогнозы урожаев и их определение «на корню», наблюдение рельефа морского дна, загрязнения океана и многое, многое другое. В США были запущены для таких исследований три спутника серии «Лэндсат» (1972, 1975, 1978 гг.), давшие огромное количество ценной информации. Они выводились на околокруговые (высота 900 км), кратнопериодические (период 18 суток), солнечно-синхронные орбиты. Запущенный в ноябре 1978 г. метеоспутник «Нимбус-7» был снабжен аппаратурой для изучения загрязнения океана. Со второй половины мая 1979 г. в Советском Союзе начались многочисленные запуски на низкие орбиты (перигей на высотах 222—224 км и апогей до 264—268 км) с наклонениями $81,4^\circ$ спутников серии «Космос», аппаратура которых была предназначена для продолжения исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Аналогичную цель преследовал запуск индийского спутника «Бхаскара» в июне 1979 г. советской ракетой (орбита 512÷557 км при наклонении $50,7^\circ$).

В 1979 г. проводилось радиокартографирование земной поверхности и акватории Мирового океана с помощью радиотелескопа КРТ-10, установленного на борту станции «Салют-6».

§ 4. Спутники связи

Спутники связи служат для ретрансляции радио и телевизионных сигналов между удаленными пунктами земной поверхности. Особое значение это имеет для телевизионных передач, которые, как известно, распространяются только в пределах прямой видимости. Спутник связи представляет собой ретрансляционную станцию (по-

добную радиорелейным вышкам), поднятую высоко над Землей. Для осуществления передачи необходимо, чтобы спутник был виден одновременно из пунктов передачи и приема.

Самые первые эксперименты проводились в США с пассивными ретрансляторами. К ним относился «пояс иголок» (см. § 7 гл. 4 и § 5 гл. 5); предполагалось, что два таких пояса могли бы обеспечить глобальную радиосвязь. Пассивными ретрансляторами служили и американские спутники «Эхо-1» и «Эхо-2» — надувные сферы, покрытые слоем отражающего металла.

Активные ретрансляторы имеют на борту приемно-передающие устройства, что резко повышает уровень передаваемого сигнала, который собирается в пучок параболической антенной, направленной на Землю. Наземная станция ретранслирует сигнал в обычную сеть релейных станций или прямо транслирует его на антенны телеприемников. Но возможна система телевидения и непосредственно на коллективные домовые антенны, лишь бы были достаточно мощны сигналы спутника. Наземная антенна, принимающая сигналы спутника должна поворачиваться, следя за его перемещением по небу. От слежения свободны антенны, направленные на стационарный спутник. Правда, он находится довольно далеко, и понадобилось время, чтобы прогресс ракетной техники и радиоэлектроники сделал стационарный спутник связи действительностью. К сожалению, стационарный спутник не может послать сигнал в полярные районы с широтами более $81,3^\circ$.

Возможны различные системы спутников связи, использующие орбиты разного размера и эксцентриситета, но практика показала, что для Советского Союза наиболее выгодны эллиптические орбиты с апогеем на высоте 40000 км над северным полушарием, перигеем 500 км над южным, наклоном $63,5^\circ$ и периодом обращения 12 ч, а также стационарные спутники. Указанные эллиптические орбиты имеют советские спутники серии «Молния-1». В течение 11 ч, двигаясь медленно в окрестности апогея, спутник «Молния» смещается не более чем на 10° по долготе. Зона видимости спутника превышает зону видимости стационарного спутника и охватывает полярные районы. Продолжительность сеансов связи между пунктами зоны видимости для одного спутника составляет 6—8 ч в сутки. Побывав в апогее над восточным полушарием, спутник на втором за сутки обороте оказывается в апогее над западным полушарием (примерная картина движения в связанной с вращающейся Землей системе координат изображена на рис. 57 [2.32]). Четыре орбиты, апогеи которых образуют квадрат, обеспечивают круглосуточную связь. Антенны спутников «Молния» направлены на центр Земли. Многочисленные приемные станции системы «Орбита» (диаметры антенн 12 м) обеспечивают передачи в отдаленные районы СССР. Система стала еще более совершенной с вступлением в строй технически более совершенных спутников серий «Молния-2» и «Молния-3» на тех

же эллиптических орбитах, а также спутников «Радуга» на стационарной орбите. Наконец, 26 октября 1976 г. на стационарную орбиту на меридиан 99° в. д. был выведен первый спутник серии «Экран» Его приемная антенна ориентирована на Москву, а остронаправленная передающая антенна обеспечивает телепрограммами населенные пункты Сибири и Дальнего Севера; для приема используются коллективные домовые антенны несложной конструкции В 1971 г. было заключено соглашение о создании системы связи «Интерспутник», обслуживающей социалистические страны с помощью спутников серий «Молния-3» и «Радуга» [2.33, 2.34] 19 декабря 1978 г. специально для трансляции XII Олимпийских игр был запущен советский спутник «Горизонт» на орбиту высотой 22581 ± 48365 км, с периодом обращения 23 ч 40 мин и наклоном $11,3^\circ$, а 6 июля 1979 г. для той же цели был выведен спутник «Горизонт» на орбиту, близкую к стационарной.

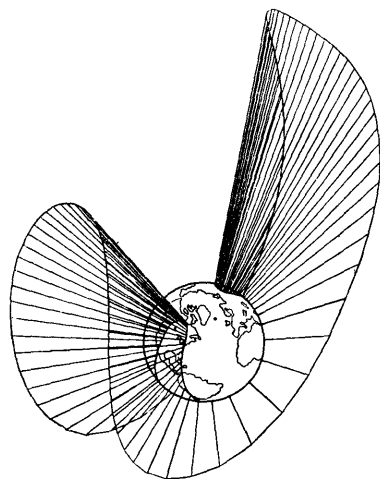


Рис 57 Траектория 12-часового эллиптического спутника в системе отсчета, связанной с поворачивающейся за 24 часа Землей Линии, соединяющие спутник с центром Земли проведены через равные промежутки времени (эксцентриситет орбиты меньше, чем у спутников «Молния»)

Орбиты первых американских серий спутников «Реле» и «Тельстар» (начали выводиться в 1962 г.) были эллиптическими, но с меньшими периодами обращения и с более низкими апогеями, чем у спутников «Молния». Затем появились стационарные спутники многочисленных серий, каждая из которых

включила в себя несколько спутников. Помимо экспериментальных серий «Синком», «Эрли Берд», АТС, LES стали эксплуатироваться коммерческие спутники серий «Интелсат-1, -2, -3, -4, -4А, -5». Эти спутники ведут переда-

чи на всю видимую с высоты 35 800 км поверхность Земли, а также, имея на борту по несколько антенн, формируют узкие «карандашные» лучи шириной 4° , направляя их на отдельные районы поперечником примерно 2500 км в Европе, Северной и Южной Америке (например, на спутнике серии «Интелсат-4» было 13 таких антенн). Спутник «Интелсат-4» используется СССР, ГДР, ЧССР, ПНР и НРБ для связи с США и Канадой [2.31]. В последнее время получили развитие региональные системы, обслуживающие отдельные страны: канадская «Телесат», состоящая из трех спутников серии «Аник», системы США «Сатком», «Комсат», «Уэстар», индонезийская система из двух спутников «Палапа-1, -2»; в США проектируется спутник

«Арабсат» по заказу Лиги арабских стран и т. д. Действуют военные системы: НАТО, английская «Скайнет», американские DSCS и FLTSATCOM. Осуществлены системы связи с движущимися объектами: американская «Марисат» и западноевропейская «Маротс» для морских судов и «Аэросат» для самолетов над Атлантикой (США, Канада, Западная Европа). Производятся эксперименты с помощью спутников США LES, ATS-6, Канады и США CTS, западноевропейским OTS, спутником ФРГ и Франции «Симфония», Италии «Сирио», Японии CS и BS. Все перечисленные стационарные спутники, кроме японских, выведены с помощью американских ракет. На очереди, по сообщениям американской печати, создание коммерческой системы, связывающей ЭВМ в разных городах, системы связи с автоматическими и пилотируемыми спутниками и многое другое.

По мере роста мощностей орбитальных источников энергии можно будет осуществлять связь между спутниками на стационарной орбите (уже проводились эксперименты со спутниками LES-8 и LES-9, разделенными дугой в 90°) Тогда одной наземной станции и трех стационарных спутников, разделенных дугами 120° , будет в принципе достаточно для глобального охвата земного шара. Ожидается, что луч лазера сможет передать со спутника на спутник уже в 80-х гг. за секунду $3 \div 5$ млрд. бит информации.

В 1978 г. на стационарной орбите находилось более 70 спутников. В будущем, вероятно, будут созданы большие стационарные спутники связи, каждый из которых будет способен обслуживать многочисленные виды связи (межконтинентальная, региональная, деловая, морская, авиационная, радиотелефонная, межспутниковая, телевизионное вещание), а также осуществлять метеорологические наблюдения и исследование природных ресурсов¹⁾.

§ 5. Навигационные и геодезические спутники

Навигационные спутники служат для точного определения географических координат судов и самолетов. Радиотехническими методами определяется положение корабля относительно спутника в нескольких точках его орбиты. Орбита спутника и «расписание» его движения по ней известны с очень большой точностью. Соответствующие данные хранятся в бортовом запоминающем устройстве, и они регулярно обновляются и уточняются специальными наблюдательными станциями, входящими в навигационную систему. После того как относительное расположение корабля (или самолета) и спутника определено, счетно-решающее устройство вычисляет географические координаты объекта.

¹⁾ Антенные конструкции перспективных орбитальных систем — Астронавтика и ракетодинамика Экспресс-информация, ВИНТИ, 1979, № 8.

Навигационные эксперименты проводились на советских спутниках серии «Космос» (в частности, как сообщала газета «Правда» 2 апреля 1978 г., навигационным был «юбилейный» «Космос-1000»). Навигационными были американские спутники серий «Транзит» и «Навстар».

Геодезические спутники во многом подобны навигационным (бывали случаи в прошлом, когда навигационные служили в роли геодезических), только они позволяют точно измерять расстояния между наземными пунктами. Сначала определяется орбита спутника по его наблюдениям на фоне небесной сферы из пунктов поверхности, координаты которых известны. Затем находят координаты постороннего пункта по наблюдениям того же спутника. Первые американские геодезические спутники снабжались лампами, дающими вспышку яркостью в миллионы свечей (спутники «Анна»), или представляли собой надувные оболочки, отражавшие солнечные лучи («Пагеос-1»), а расстояние до спутника находилось радиотехническими методами. Впоследствии как на американских, так и на советских спутниках стали устанавливаться лазерные уголкового отражатели (они отражают лазерный луч в ту сторону, откуда он послан). Специально геодезическими были, кроме названных, американские спутники «Секор», «Геос», «Эксплорер-22», «Лагеос», «Старлетт». Геодезические измерения производились с помощью спутников «Интеркосмос».

По американским данным измерения с помощью лазерных лучей, отражаемых от спутников, должны уточнить расстояния между наземными пунктами до 2 см. В перспективе — измерения перемещения материков, уточнение гравитационного поля Земли и т. д.

§ 6. Орбитальные энергостанции

Кроме перечисленных классов спутников наиболее многочисленных категорий существуют и другие, например, технологические спутники для отработки разного рода оборудования, главным образом космического. Сюда относятся некоторые спутники серии «Космос», американские «Серкал», «Тетр», «Радкэт», французские МАС для испытаний солнечных батарей, запускавшиеся с помощью советских ракет, уже упоминавшиеся в § 2 гл. 5 спутники-инспекторы «Вела-Хоутел» (США) и т. п.

А теперь поговорим о спутниках, которых еще нет. Наибольшее значение в течение будущих десятилетий будут иметь орбитальные солнечные энергостанции (ОСЭС), разрабатываемые с 1968 г. ОСЭС, находящиеся на стационарной орбите, будут преобразовывать поток солнечной радиации в электрическую энергию, которая затем превратится в направляемый на наземную станцию поток микрорадиоволн, преобразуемый на Земле в электрический. Перед наземными СЭС орбитальная имеет ряд преимуществ. Она попадает в тень

Земли лишь вблизи равноденствий (вследствие несовпадения плоскостей экватора и эклиптики) на 72 мин за одни сутки (в это время на наземной станции ночь и потребление энергии невелико). И никаких облачностей! Микроволновый луч может быть направлен в любую точку почти целого полушария, а наиболее выгодные места создания наземных СЭС далеки от потребителей. Преобразование солнечной энергии в электрическую может производиться с помощью фотоэлементов (большинство проектов) или с помощью теплового двигателя, использующего систему зеркал для нагрева газообразного рабочего тела, например гелия. Масса орбитальной СЭС должна составлять несколько тысяч тонн, а ее размеры измеряться, возможно, десятками километров (если мала ширина), передающая антенна может иметь 1 км в диаметре. Слишком большая мощность СЭС на орбите невозможна: некуда девать избыточное тепло.

Отсюда ясно, что хотя длина стационарной орбиты равна 265 000 км, число орбитальных СЭС на ней не безгранично, а ведь еще существуют метеостанции и станции связи. В конце концов наступит насыщение стационарной орбиты ¹⁾. Кстати, близкие СЭС около 6 ч утра и 6 ч вечера (по местному меридиану) будут попадать в тень друг друга.

О способах доставки таких огромных объектов на орбиту мы поговорим в следующей главе.

Первые орбитальные СЭС, возможно, будут созданы к концу нашего столетия, а по прогнозу Космического центра им. Джонсона к 2025 г. будет запущено 112 станций, которые удовлетворят 40% потребностей США в энергии (AIAA Paper, 1977, № 552).

¹⁾ Насыщение стационарной орбиты в конце концов начнет мешать маневрированию, которое сопровождает выведение каждого нового стационарного спутника (см. § 9 гл. 5). И еще: насыщение порождает опасность столкновений при малых относительных скоростях (порядка метров или десятков метров в секунду), что может привести скорее к нарушению нормальной работы спутников, чем к образованию кольца обломков в окрестности стационарной орбиты.