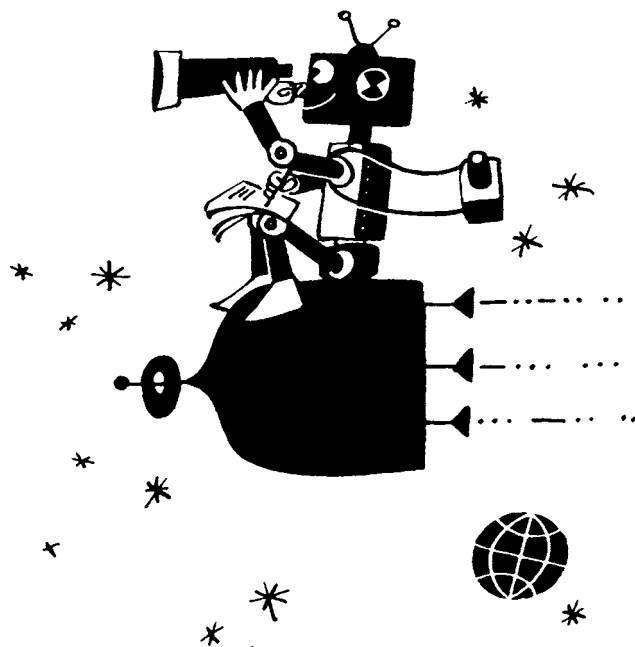


АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАЗВЕДЧИКИ КОСМОСА



АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАЗВЕДЧИКИ КОСМОСА



Искусственные спутники Земли, запущенные по программе Международного геофизического года, дали первые и довольно общие сведения о параметрах верхней атмосферы Земли, о протекающих там физических процессах. Первые автоматические межпланетные станции позволили распространить наблюдения на дальние окрестности Земли, межпланетное пространство, Луну. С технической точки зрения эти этапы изучения космического пространства можно было бы назвать «пробой сил», с исследовательской — проверкой справедливости существовавших ранее гипотез и представлений о природе ближних и дальних окрестностей Земли, о физике протекающих там явлений, первым знакомством человека с новым пространством, которое открыли для его практической деятельности успехи ракетной техники.

Когда-то за открытием новых земель следовало их освоение человеком. Нечто аналогичное случилось и в космосе. На смену первым посланцам науки, поразившим воображение человечества, пришли скромные труженики науки, которые придирчиво проверяли и перепроверяли каждый, казалось бы, небольшой факт, каждую цифру. Это были многочисленные спутники серии «Космос». Рассказ об общих принципах и задачах этой программы, начиная с ее воплощения в металле конструкций спутников, и является целью первой части этой книжки.

По мере накопления наших знаний о природе ближнего и дальнего космоса возникла необходимость в проведении специализированных и комплексных экспериментов, направленных на выполнение более сложных задач. Возможность их решения обеспечивалась дальнейшим развитием ракетной и космической техники. Так современная наука пришла к реализации экспериментов, выполнявшихся космическими системами «Электрон» и космическими станциями серии «Протон».

СПУТНИКИ СЕРИИ «КОСМОС»

Первый спутник серии «Космос» был запущен 16 марта 1962 года. В тот же день было объявлено об основных направлениях и задачах этой новой, расширенной программы научных исследований верхних слоев атмосферы и околоземного космического пространства.

Научная программа исследований с помощью искусственных спутников Земли серии «Космос» предусматривала проведение следующих исследований:

- изучение концентрации заряженных частиц в ионосфере с целью исследования распространения радиоволн;
- изучение корпускулярных потоков и частиц малых энергий и их связи с основными процессами в верхней атмосфере;
- изучение энергетического состава радиационного пояса Земли с целью оценки радиационной опасности при длительных космических полетах;
- изучение первичного состава космических лучей и вариаций их интенсивности;
- изучение магнитного поля Земли;
- изучение коротковолнового излучения Солнца и других космических тел;
- изучение верхних слоев атмосферы;
- изучение распределений и образования облачных систем в атмосфере Земли.

Кроме того, на спутниках серии «Космос» предусматривалось и решение ряда технических проблем, связанных с входом корабля в атмосферу Земли, воздействием комплекса факторов космического пространства на элементы конструкции космических аппаратов, отработкой систем ориентации, приземлением в заданном районе, защитой корабля от излучений, изучением степени надежности отдельных узлов систем жизнеобеспечения, отработкой метеорологической аппаратуры, постановкой ряда медико-биологических и других экспериментов.

Широкий диапазон научных задач, равно как и необходимость большого числа

запусков поставили свои довольно жесткие требования перед создателями спутников.

Одним из основных было требование предельной унификации конструкции спутников и обслуживающих систем.

Преимущества такой унификации очевидны: она позволяет для различных научных исследований использовать единые корпус, состав служебных систем, схему управления бортовой аппаратурой, систему энергопитания и антенно-фидерные устройства. Это, в свою очередь, дает возможность организовать серийное производство спутников и комплектующих элементов. Тем самым их изготовление и, следовательно, проведение космических исследований значительно удешевляется.

Но с самого начала стало ясно, что создать универсальный спутник практически невозможно — настолько разнообразен характер и объем предполагавшихся исследований.

Некоторые из них целесообразно проводить только на спутниках с химическими источниками тока. В то же время для исследований, где требуется большое время активного существования при малых потребляемых мощностях аппаратуры и отсутствуют ограничения по вакуумной чистоте, необходима установка солнечных батарей. Это означает, что устройство этих двух типов спутников будет существенно различным.

Ряд научно-исследовательских задач требует для своего проведения ориентации спутника на Солнце или Землю, что тоже предъявляет свои специфические требования к конструкции. Специфична будет конструкция спутника и в тех случаях, когда необходимо спасение научной аппаратуры и объектов эксперимента — в этом случае спутник должен оснащаться тормозной двигательной установкой и парашютными системами.

Вместе с тем все эти особенности допускают создание нескольких модификаций спутников Земли, позволяющих решать ту или иную группу однородных или, по крайней мере, близких по своему характеру научно-исследовательских задач.

Переход от одной модификации к другой позволяет при этом сохранить максимальную преемственность конструкции, а обслуживающие системы и схемы управления бортовой аппаратурой не зависят от

конкретной научной задачи, решаемой спутником.

Некоторые из этих модификаций спутников серии «Космос» представлены на фотографии.

Общие особенности устройства. Корпус унифицированного спутника представляет собой цилиндр, днищами которого являются сферические полуболочки. По внутренней компоновке корпус спутника разделен на три отсека:

— для размещения научной аппаратуры;

— для размещения обслуживающей аппаратуры;

— для размещения источников питания.

На наружной поверхности предусмотрены специальные кронштейны и фланцы, служащие для крепления приборов и датчиков научной аппаратуры, которые могут устанавливаться как непосредственно на корпусе спутника, так и с использованием переходных деталей.

Электрическая связь расположенных на наружной поверхности и выносных штангах приборов и датчиков с источниками питания, обслуживающей аппаратурой, а также приборами научной аппаратуры, расположенными внутри корпуса, осуществляется через герметичные штепсельные разъемы, устанавливаемые на специальные фланцы. Размеры и количество фланцев выбраны так, что позволяют установить необходимое количество гермовводов для ряда возможных задач.

Конструкция спутника предусматривает обеспечение необходимого внутреннего объема под обслуживающую аппаратуру, сведенную с учетом ее функциональной зависимости в единый блок.

Для обеспечения нормальной работы бортовой аппаратуры спутника на нем должна поддерживаться вполне определенная и достаточно стабильная температура. В связи с этим при создании спутников «Космос» особое внимание было обращено на изучение вопросов их теплового режима. При движении космического аппарата по орбите тепловой режим его определяется суммарным воздействием внутренних и внешних источников тепла. Спутник нагревается как прямыми, так и отраженными солнечными лучами (главным образом с длиной волны до 4 мк). Нагревается он и за счет энергии собственного излучения Земли, а также тепла, выделяющегося при работе бортовой аппаратуры.

Нагрев спутника за счет солнечной радиации определяется временем нахождения

ния его на освещенной стороне Земли, что для космических аппаратов с небольшой высотой орбиты составляет 60—70% от периода обращения. Однако в некоторых случаях орбита может занимать такое положение, при котором ИСЗ в течение нескольких суток непрерывно освещается Солцем.

Поток солнечной радиации, отраженный Землей (определяющийся величиной альбедо Земли), зависит от характера подстилающей поверхности, от положения орбиты по отношению к освещенной части поверхности Земли и от положения спутника на орбите. В среднем для Земли отраженный поток составляет около 35% потока прямой солнечной радиации и имеет точно такое же спектральное распределение.

Энергия собственного излучения Земли характеризуется величинами порядка 15% от величины излучения Солнца.

Наряду с поглощением тепла космическим аппаратом происходит теплоотдача с внешней его поверхности за счет излучения.

Температура спутника определяется равновесием поглощенной и излучаемой радиации и может регулироваться изменением излучательной способности внешней поверхности корпуса, например путем устройства радиатора с жалюзи.

На унифицированном спутнике радиатором служит нижняя полуоболочка корпуса, на внешней поверхности которой нанесено в виде секторов керамическое покрытие с повышенной излучательной способностью. Жалюзи, представляющие собою подвижные экраны, по форме и размерам соответствующие закрашенным участкам, свободно перемещаясь над поверхностью радиатора, позволяют регулировать его излучательную способность.

Внешняя поверхность унифицированного спутника подвергается специальной обработке для придания ей необходимых значений коэффициентов поглощения солнечной радиации и собственного излучения.

Для осуществления отвода, выделяющегося при работе аппаратуры тепла к оболочке, внутренний объем спутника заполняется газом—теплоносителем. В состоянии невесомости в космическом аппарате конвенция невозможна, поэтому в нем с помощью вентиляторов создается принудительная циркуляция газа.

Герметичность корпуса унифицированного спутника достигается подбором мате-

риалов, обеспечением плотности сварных швов, а в разъёмных соединениях — прокладками из вакуумной резины.

Переход от первой модификации унифицированного спутника ко второй осуществляется заменой блока химических источников тока системой энергоснабжения с солнечными батареями. Солнечная батарея устанавливается на корпусе спутника. Она представляет собою правильную восьмигранную призму с четырьмя вырезами для научной аппаратуры и раскрывающимися панелями и состоит из двух соединяющихся между собой секций.

В конструкции унифицированного спутника предусмотрена возможность, в случае необходимости, устанавливать дополнительные служебные системы (закручивания, успокоения), что расширяет область возможного применения спутника.

Ориентированные спутники серии «Космос». Для проведения некоторых научных исследований необходимо, чтобы космический аппарат был в течение длительного времени и с требуемой точностью определенным образом ориентирован по отношению к окружающим небесным телам (Земле, Солнцу или звездам).

Так, для изучения процессов, происходящих на Солнце, требуется, чтобы одна из осей спутника, соответствующая направлению установки чувствительных элементов научной аппаратуры, была ориентирована на Солнце.

Для проведения подобных исследований предназначена одна из модификаций унифицированного искусственного спутника Земли.

Чтобы осуществить процессы ориентации и стабилизации, к космическому аппарату необходимо прикладывать моменты, вызывающие поворот корпуса аппарата вокруг его центра масс.

В данном случае при ориентации спутника на Солнце источником таких моментов может быть либо система газоструйных двигателей, либо вращающиеся внутри спутника инерционные массы (маховики).

Система с маховиками способна обеспечить высокую точность и хорошее качество ориентации. Однако скорость вращения, приобретенная маховиками при работе системы, имеет определенный предел, зависящий от величины внешних вращающих моментов. Это накладывает определенные ограничения на возможности системы.

Газореактивные двигатели дают гораздо меньше возможностей для осуществления

тонкой регулировки, необходимой для точного управления спутником. Поэтому наиболее оптимальной является комбинированная система, где реактивные двигатели служат в качестве вспомогательных органов, предназначенных для гашения начальной угловой скорости и снятия с маховых масс накапливающегося кинетического момента.

Применение такой системы на унифицированном спутнике обеспечивает высокую точность ориентации при большом времени активного существования объекта.

Работа системы ориентации осуществляется в следующей последовательности. При отделении от носителя спутник приобретает случайные угловые скорости, наличие которых фиксируется специальными чувствительными датчиками. Гашение этих начальных возмущений осуществляется с помощью газореактивной системы. После гашения начальных возмущений система ориентации начинает поиск Солнца. Для поиска Солнца используются в качестве исполнительных органов двигатели-маховики, которые управляются по сигналам с датчика Солнца.

После того как углы рассогласования и угловые скорости объектов будут уменьшены до определенного предела, наступает установившийся режим.

Под установившимся режимом понимается удержание ориентируемой оси в направлении на Солнце, а практически это означает колебания с малой амплитудой данной оси вокруг заданного направления с определенной точностью.

Для проведения исследований радиационного режима Земли и ее атмосферы, измерения распределения энергии в спектре теплового излучения Земли и ряда других экспериментов требуется ориентация космического аппарата не на Солнце, а на Землю.

Для этих целей используется модификация унифицированного искусственного спутника Земли с аэродинамической системой ориентации.

На корпусе спутника устанавливается кольцевой стабилизатор. В результате этого ИСЗ будет обладать естественной аэродинамической стабилизацией с восстанавливающими моментами по тангажу и рысканию.

Однако использование одних лишь аэродинамических стабилизаторов не позволяет добиться затухания колебаний, поэтому система стабилизации дополняется специальной системой демпфирования.

Для гашения возмущений, возникающих при отделении ИСЗ от носителя, на спутнике установлена система предварительного успокоения.

Унифицированный спутник со спасаемой капсулой предназначается для решения задач, требующих возвращения научной аппаратуры и объектов эксперимента на Землю. По своему внешнему виду он существенно отличается от ранее рассмотренных модификаций. Главное отличие заключается в том, что научная аппаратура и объекты эксперимента размещаются в специальном автономном отсеке — капсуле, которая после выполнения программы исследований возвращается на Землю.

Унификация спутника состоит в том, что размещение различной научной аппаратуры в капсуле не связано с необходимостью изменения геометрической формы капсулы и спасаемой части спутника, состава служебных систем, электрической схемы и схем управления и спуска.

Движение искусственного спутника относительно Земли происходит со скоростью, равной или несколько большей первой космической скорости. При спуске эта орбитальная скорость должна быть тем или иным способом снижена до нуля в момент посадки. В настоящее время практически используются два принципа торможения космических аппаратов при спуске. Первый из них основан на использовании реактивной силы, второй — на использовании аэродинамических сил, возникающих при движении космического аппарата в атмосфере.

В первом случае космический аппарат (или его спасаемая часть) должен быть снабжен двигательной установкой и запасом топлива, обеспечивающими торможение аппарата.

При спуске с использованием аэродинамического торможения космический аппарат должен быть оснащен специальными устройствами, существенно (в нескольких десятках или сот раз) увеличивающими его мидель, и, следовательно, сопротивление — например, парашютом, принудительно раскрываемым на определенном этапе спуска.

Сопоставление этих двух способов показывает, что отношение веса полезного груза к общему весу космического аппарата при спуске с использованием аэродинамических сил оказывается значительно более благоприятным, чем с использованием реактивных сил. Вес средств тепло-

вои защиты несущих поверхностей и прочих элементов аппарата оказывается меньше веса топлива, необходимого для торможения реактивным двигателем.

Исходя из этого, для спуска капсулы унифицированного спутника выбран второй способ, т. е. использование аэродинамических сил.

Спуск капсулы с орбиты обеспечивается тормозной двигательной установкой. Перед включением ее корабль ориентируется заданным образом.

На начальном этапе входа капсулы в плотные слои атмосферы происходит ее торможение за счет аэродинамической силы сопротивления. Затем на определенной высоте от Земли включается парашютная система.

Бортовая служебная аппаратура унифицированного спутника рассчитана на работу в условиях невесомости и способна выдерживать значительные ускорения, имеющие место при выведении объекта на орбиту. Она надежна при длительной работе, отличается малым весом и габаритами, а также минимальным потреблением электроэнергии.

Передача результатов научных измерений со спутника на Землю производится с помощью многоканальной, высокопробной радиотелеметрической системы.

Радиотелеметрическая система включает в себя бортовую аппаратуру, размещаемую на спутнике, а также наземные станции.

Бортовая телеметрическая аппаратура осуществляет преобразование измеряемых величин в радиосигналы определенного вида, излучаемые затем радиопередатчиком телеметрической системы. Наземные станции производят прием этих сигналов и преобразуют их в форму, удобную для регистрации.

В соответствии с программой установленная на спутнике научная аппаратура производит измерения во многих точках орбиты. Радиотелеметрическая система может обеспечить передачу информации только в зонах надежной связи с наземными измерительными станциями. Для получения информации с других участков орбиты, когда связь спутника с наземными измерительными пунктами отсутствует, используется запоминающее устройство. Здесь накапливаются научная информация и данные о работе бортовых систем за один или несколько витков по орбите (в зависимости от выбранного режима работы).

Во время сеансов связи наряду с передачей запомненной информации осуществляется непосредственная телеметрическая передача большого числа параметров, регистрируемых научной аппаратурой, а также данных о работе всех бортовых систем спутника.

Чрезвычайно важной задачей при осуществлении полетов космических аппаратов является измерение характеристик движения спутника (координат и составляющих вектора скорости) в различные моменты времени. Для этого в состав комплекса служебных систем унифицированного объекта введена аппаратура радиоконтроля орбиты. На основании полученных от нее данных производится определение орбиты спутника и прогнозирование его движения, необходимые для выдачи целеуказаний наземным наблюдательным пунктам.

Управление работой аппаратуры унифицированного спутника осуществляется двумя способами — командами, передаваемыми на борт объекта по специальной командной радиолинии с наземных пунктов, и автономно — с помощью программно-временного устройства, которое применяется в тех случаях, когда требуется управление работой научной аппаратуры по специальным программам, синхронизация работы отдельных ее устройств, привязка результатов производимых измерений по времени.

Для выполнения научного эксперимента может потребоваться знание углового положения спутника в пространстве в каждый момент времени. Для этого на борту устанавливается система индикации, включающая в себя совокупность чувствительных датчиков, показания которых регистрируются в запоминающих устройствах одновременно с результатами измерения научной аппаратуры.

Управление полетом унифицированных искусственных спутников Земли: измерение параметров орбит, прием и регистрация телеметрической информации, выдача команд на включение и выключение бортовой аппаратуры осуществляется наземным командно-измерительным комплексом.

Научная аппаратура спутников серии «Космос» соответствует широкой программе изучения околоземного космического пространства.

Так, для измерения распределения энергии в спектре теплового излучения Земли в области длин волн 7—20 мк, а также

14—38 мк, для измерения спектральных полос углекислоты (сканирование по местности на длине волны 18,5 мк) и озона (сканирование по местности на длине волны 9,5 мк) на спутниках устанавливается дифракционный сканирующий спектрофотометр (спасаемый).

Для измерения радиации Солнца используются ультрафиолетовый спектрометр, работающий в области 2200—3100 Å, и калориметр со сменными светофильтрами — широкополосными в интервалах длин волн 1800 Å—6000 Å, 3900—600 Å, 2400—3900 Å и узкополосными для эмиссий 3914 Å и 5577 Å (спасаемые).

Радиостанция «Маяк», работающая на частотах 20,005; 30,0075; 90,0225 мгц, — для исследования строения ионосферы с помощью когерентных радиоволн.

Ионная концентрация измеряется с помощью ионных ловушек. Зонды Ленгмюра используются для измерения концентрации и температуры электронов.

Ионные ловушки сотового типа — для измерения температуры ионов.

Газоразрядный счетчик — для регистрации первичного космического излучения.

Ионизационная камера, одиночные экранированные и неэкранированные газоразрядные счетчики, счетчиковые телескопы — для изучения вариаций космических лучей.

Сцинтилляционные счетчики — для регистрации электронов с энергией 50 и 180 кэв и протонов с энергией > 5,4 и 8,5 мэв.

Сцинтилляционные счетчики — внутренний (спасаемый) с кристаллом CsJ для регистрации электронов с энергией ~100—500 кэв и внешний с минимальной экранировкой 2 мг/см² — для регистрации электронов с энергией 100 кэв.

Сцинтилляционный счетчик (внешний) с минимальной экранировкой 180 мг/см² — для регистрации электронов с энергией >600 кэв.

Сцинтилляционный счетчик (внутренний) — для регистрации электронов с энергией порядка 200—500 кэв, сферический анализатор — для регистрации электронов с энергией ~1 кэв и протонов; спасаемые.

Гейгеровские счетчики (внутренний, спасаемый) — для регистрации электронов с энергией порядка 1 мэв и космических лучей, телескоп тройных совпадений (внешний) на гейгеровских счетчиках — для регистрации протонов с энергией 20 мэв и электронов с энергией >2 мэв.

Сцинтилляционный счетчик с кристаллом

NaJ — для регистрации протонов с энергией >30 мэв, электронов с энергией 2 и 5 мэв и гамма-квантов с энергией 20 кэв, 50 кэв и 3,3 мэв.

Счетчик СТС-5 — для регистрации протонов с энергией 40 мэв, электронов с энергией 3,5 мэв и гамма-квантов с энергией 30 кэв.

Сцинтилляционный счетчик с кристаллом CsJ — для регистрации протонов с энергией 500, 550, 600 кэв; 5,5 и 8,5 мэв; электронов с энергией 30, 60, 160 кэв; 5,4 и 8,5 мэв, гамма-квантов с энергией 5,45; 160 кэв; 5,4 и 8,5 мэв.

Сцинтилляционный счетчик с кристаллом NaJ — для регистрации электронов с энергией >100 кэв и протонов с энергией >10 мэв; п—р — датчик для регистрации электронов с порогами энергии 40 кэв, 600 кэв, 2 мэв (спасаемые).

Протонные магнитометры — для проведения глобальной магнитной съемки в диапазоне измерений 18—55 тыс. гамм с абсолютной точностью ~2—3 гаммы.

Комплекс научной геофизической аппаратуры для регистрации мягких корпускул (протонов и электронов), ионной концентрации, микрометеоров.

Аппаратура для измерения светимости звездного неба в двух ультрафиолетовых (с длиной волны $\lambda = 1300 \text{ Å}$, $\lambda = 2700 \text{ Å}$) и видимой ($\lambda = 4000—5000 \text{ Å}$) областях спектра.

Медико-биологическая аппаратура, контейнеры с животными и растениями (спасаемые) и другая аппаратура.

КОСМИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ «ЭЛЕКТРОН»

Научная программа. Одним из наиболее неожиданных открытий в ходе изучения околоземного космического пространства первыми спутниками Земли является обнаружение радиационного пояса Земли. Радиационный пояс¹ Земли оказался очень сложным образованием как по своей при-

¹) Первоначально результаты трактовались как открытие двух или даже трех «радиационных зон» или «поясов» и использовались именно эти термины. Сейчас они имеют хождение только в историческом аспекте, т. к. доказано, что это единое сложное образование, существующее в магнитосфере Земли.

роде, так и по своему строению. Высказывались самые противоречивые суждения о механизме его возникновения. Многие стороны сложных физических процессов, которым пояс обязан своим существованием, требовали экспериментальной проверки. Поскольку были все основания полагать, что радиационный пояс является исключительно динамичным образованием, связанным с другими геофизическими явлениями и солнечной деятельностью, то представлялось целесообразным проведение комплексных, синхронных измерений в различных точках околоземного космического пространства. Такая постановка задачи потребовала создания специальной космической системы, состоящей по крайней мере из двух спутников, выводимых на существенно различные орбиты. Первым шагом в этом направлении стал запуск 30 января 1964 года в Советском Союзе первой космической системы, состоящей из двух научных станций «Электрон-1» и «Электрон-2». На этих станциях осуществлялись одновременные исследования радиационных поясов Земли и целого ряда других физических параметров по единой программе. Эта программа предусматривала исследование частиц малых и больших энергий, образующих радиационный пояс Земли, магнитного поля Земли, космических лучей, химического состава газовой среды околоземного космического пространства, коротковолнового излучения Солнца, космического радиозлучения, микрометеоритов.

Проведение указанных исследований в период Международного года спокойного Солнца, который начался 1 января 1964 года, придавало этим опытам еще большее значение.

С целью продолжения начатых исследований 11 июля 1964 года был осуществлен запуск второй серии космической системы «Электрон». На станциях «Электрон-3» и «Электрон-4» была установлена аппаратура, идентичная аппаратуре станций «Электрон-1» и «Электрон-2» и предназначенная для решения аналогичных задач.

Орбиты второй серии станций «Электрон» с высокой степенью точности повторяли орбиты первых станций.

В дальнейшем рассказе об орбитах станций, устройстве, составе научной и служебной аппаратуры, итогах проведенных исследований станции «Электрон-1» и «Электрон-2» будут иметь единое наименование «Электрон-1», а станции «Электрон-2» и «Электрон-4» — единое наименование «Электрон-2».

Орбиты спутников системы «Электрон» выбирались, исходя из необходимости одновременного исследования верхних слоев атмосферы, радиационных поясов Земли и околоземного космического пространства.

При этом учитывался также и ряд других специфических факторов — условия радиосвязи во время сеансов передачи информации с борта станции на наземные пункты, длительность существования станций на орбите, освещенность станций Солнцем и т. д.

В результате рассмотрения ряда возможных вариантов для каждой из космических систем «Электрон» были выбраны по две эллиптические орбиты с большим эксцентриситетом. Такие орбиты обеспечивали проведение научных исследований во всем необходимом диапазоне высот, начиная с верхних слоев атмосферы до невозмущенного Землей межпланетного пространства за пределами магнитосферы Земли. Первая орбита охватывала наиболее интересные области внутреннего радиационного пояса, частично захватывала внешний пояс и область межпланетного пространства с нерегулярным магнитным полем, где формируются неустойчивые потоки частиц, вызывающих полярные сияния. Орбита второго спутника обеих систем частично также проходила во внутреннем поясе, наиболее интересных областях внешнего пояса и захватывала лежащую за пределами внешнего пояса область с нестационарными потоками электронов малых энергий, называемую иногда самой внешней областью заряженных частиц.

Существенно, что фокальные оси орбит космических станций имеют различные направления. Для низкой орбиты расположение фокальной оси отвечало условию наиболее благоприятного положения относительно внутреннего радиационного пояса. Для высокой орбиты положение фокальной оси в плоскости орбиты было выбрано таким образом, чтобы получить возможно большее различие высот на одинаковых географических широтах при полете на восходящей и нисходящей ветви орбиты, что важно с точки зрения научных измерений при исследовании внешнего радиационного пояса. Наклонение той и другой орбиты к плоскости экватора составляло около 61° . Величина наклона сильно влияет на изменение параметров орбиты под действием возмущений Луны

и Солнца, а также из-за сплюснутости Земли. При выбранном наклонении перигеи орбит с течением времени должны были перемещаться на север, и, что особенно важно, орбиты космических станций «Электрон-1» при таком перемещении фокальной оси должны были в течение года пройти по всей толще внутреннего радиационного пояса.

Расположение перигеев орбит в северном полушарии обеспечивало наиболее благоприятные условия для проведения сеансов радиосвязи космических станций с наземными приемными пунктами. Вместе с тем при нахождении станций в области перигея орбит объем научной информации являлся максимальным, поскольку в этой области наряду с исследованием радиационных поясов проводились измерения, связанные с изучением верхней атмосферы.

Известно, что спутники Земли, движущиеся по низким орбитам, имеют ограниченное время существования в связи с торможением их в верхних слоях атмосферы. По мере увеличения высоты орбиты время существования спутника возрастает, поскольку тормозящее влияние атмосферы уменьшается. Для высот перигея, соответствующим орбитам спутников систем «Электрон», с торможением действием атмосферы практически можно было не считать. Однако при увеличении высоты апогея до нескольких десятков тысяч километров на движение спутника начинает заметно влиять возмущающее действие сил притяжения Луны и Солнца. Приходилось учитывать то обстоятельство, что при неблагоприятном сочетании этих сил время существования спутника с высотой апогея 65.000—70.000 километров может составить всего несколько суток.

В связи с этим были проведены детальные исследования движения спутников на орбитах с высоким апогеем и определены такие моменты пуска, при которых обеспечивалось достаточно большое время существования космических станций «Электрон-2» на выбранной для них сильно вытянутой орбите.

Наиболее оптимальным с инженерной точки зрения способом создания космической системы на указанных выше орбитах являлось одновременное выведение обеих космических станций системы одной ракетой-носителем. Наличие в Советском Союзе мощных космических ракет позволяло решить задачу таким образом. Однако практически выведение двух спутников

на существенно различные орбиты с помощью одного носителя представляло определенные технические трудности. Отделение первой из станций нужно было осуществить на активном участке полета последней ступени носителя при работающем двигателе, обеспечив отсутствие возмущающих моментов, которые могли бы повлиять на работу системы управления последней ступени и, следовательно, на точность выведения станций «Электрон-2». Необходимо было, далее, избежать попадания отделяющейся станции в зону действия реактивной струи двигателя последней ступени.

Обе эти трудности были преодолены за счет применения специальной реактивной системы, обеспечивающей отделение станций «Электрон-1» от последней ступени со строго заданной скоростью.

Выбранный способ запуска предъявлял специфические требования к конструкции станций «Электрон-1», которые были разработаны таким образом, чтобы в момент отделения станции были бы наиболее компактны и не имели бы больших выступающих частей. Отделение станций «Электрон-1» в обоих запусках произошло практически без всяких возмущающих воздействий на дальнейшее движение последних ступеней ракет.

Конструкция спутников «Электрон» и их аппаратура разработаны с учетом всех специфических требований, предъявляемых программой комплексного изучения околоземного космического пространства.

Корпус спутников представляет собой цилиндр с полусферическими днищами — верхним и нижним. На внешней поверхности корпуса размещены солнечные батареи, антенные системы, часть приборов для научных исследований и датчики солнечной ориентации.

Корпуса спутников герметичны. Тепловой режим обеспечивается регулированием соотношения тепла, поступающего от внешних источников, от внутреннего тепловыделения и тепла, излучаемого в пространство наружной поверхностью, снабженной открывающимися и закрывающимися жалюзи.

Общая схема действия системы терморегулирования аналогична схеме действия описанной выше системы терморегулирования спутников серии «Космос». Команда на открытие и закрытие жалюзи подается

датчиками температуры внутренней оболочки спутника.

В отличие от станций «Электрон-1», где антенны и панели солнечных батарей для удобства отделения спутника сделаны складными и открываются только после выведения спутника на орбиту, панели солнечных батарей станций «Электрон-2» закреплены жестко.

Передача измерений со станций на Землю осуществлялась с помощью многоканальной, высокоопросной радиотелеметрической системы. В соответствии с программой установленная на спутнике научная аппаратура производила измерения во многих точках орбиты. Результаты накапливались в бортовых запоминающих устройствах за один или несколько витков по орбите (в зависимости от выбранного режима работы запоминающих устройств). Во время сеансов связи наряду с передачей запомненной информации осуществлялась и непосредственная передача информации. Управление работой бортовой аппаратуры осуществлялось как автономно, так и по командам, передаваемым на борт станции с наземных пунктов.

Ориентация станций «Электрон» в пространстве определялась с помощью датчиков солнечной ориентации, показания которых регистрировались в запоминающих устройствах одновременно с результатами измерений научной аппаратуры.

Научная аппаратура станций «Электрон-1» и «Электрон-2», предназначенная для регистрации электронов и протонов различных энергий, была идентичной. Часть аппаратуры располагалась внутри герметического контейнера. Эти приборы регистрировали частицы достаточно высоких энергий, а именно — электроны с энергией больше 2 миллионов электрон-вольт и протоны с энергией больше 50 килоэлектрон-вольт.

Частицы меньших энергий регистрировались аппаратурой, установленной на наружной поверхности корпуса, причем сами детекторы были экранированы только тончайшими слоями вещества — толщиной всего несколько тысячных долей миллиметра. Это позволяло регистрировать электроны с энергией больше 20 килоэлектрон-вольт и протоны с энергией больше 150 тысяч электрон-вольт.

Для регистрации частиц еще меньших энергий на спутнике «Электрон-2» использовался так называемый сферический анализатор. На пути поступающих в этот ана-

лизатор частиц совсем нет никаких преград. Отклоняясь в электростатическом поле, частицы движутся по кругу. При этом электрическое напряжение, приложенное к сферическому анализатору, автоматически переключается. Тем самым улавливаются протоны и электроны различных энергий, начиная со 100 электрон-вольт.

Для регистрации частиц самых малых энергий на спутниках «Электрон-1» были установлены специальные счетчики в комбинации с ускорительной трубкой. Для предохранения катода фотоумножителя от засветки кристалл счетчика закрыт непрозрачным материалом. Как бы ни была тонка закрывающая кристалл фольга, она все равно препятствует попаданию в кристалл электронов с энергией, меньшей 10 килоэлектрон-вольт. Установленная перед кристаллом ускорительная трубка восполняет этот пробел, «помогая» медленным электронам проникнуть сквозь преграду путем придания им дополнительной скорости, в результате чего энергия их возрастает до 10 килоэлектрон-вольт. Это позволяло регистрировать электроны самых малых энергий — вплоть до 100 электрон-вольт.

Частицы малых энергий измерялись также «ловушкой» заряженных частиц. Кроме того, на борту станций «Электрон-1» устанавливался радиопередатчик «Маяк», который предназначался для исследования строения ионосферы и межпланетной среды с помощью когерентных радиоволн на частотах 20,005; 30,0075 и 90,0225 мггц.

Движение частиц радиационных поясов определяется магнитным полем Земли. Поэтому сведения о радиационных поясах должны дополняться данными о магнитных полях. Более того, движение частиц может приводить к возникновению электрического тока, который, в свою очередь, создает свое собственное магнитное поле, приводящее к образованию локальных аномалий в распределении геомагнитного поля на больших удалениях от Земли. Для регистрации магнитных полей на наиболее удалявшихся от Земли спутниках «Электрон-2» было установлено по два магнитометра, измерявших величину и направление напряженности магнитного поля. Один магнитометр обладал небольшой чувствительностью и предназначался для измерения достаточно интенсивного магнитного поля Земли. Другой магнитометр предназначался для регистрации слабых магнитных полей, которые наблюдаются во

внешнем радиационном поясе и даже на больших расстояниях за его пределами.

Совершающие «путешествия» из северного полушария в южное частицы радиационных поясов в конце концов заканчивают свою жизнь ниже тех областей, где существуют радиационные пояса. Под влиянием ряда факторов, многие из которых пока не раскрыты, частицы радиационных поясов «высыпаются» из них и бомбардируют верхние слои атмосферы. Таким образом, радиационные пояса в известной мере воздействуют на атмосферу Земли. С другой стороны, высказывается гипотеза, что находящиеся в верхних слоях атмосферы частицы, возможно, могут ускоряться и быть захваченными магнитным полем. Мало вероятно, что эта гипотеза справедлива, но она не отвергается полностью. Взаимосвязь явлений, протекающих в верхней атмосфере и в радиационной зоне Земли, является дополнительным доводом в пользу изучения состава атмосферы одновременно с изучением источников энергии. Поэтому как на станциях «Электрон-1», так и на станциях «Электрон-2» были установлены радиочастотные масс-спектрометры, позволявшие определять ионный химический состав верхних слоев атмосферы.

Помимо молекул и атомов газов, помимо электронов и протонов, в окрестностях Земли наблюдается относительно большое число пылевых частиц, так называемых микрометеорных тел. Как было установлено предыдущими измерениями, выполненными при полетах советских и американских спутников, концентрация микрометеорных частиц в окрестностях Земли больше, чем в межпланетном пространстве. Изучение метеорных частиц важно для выяснения их роли в процессах, происходящих в верхней атмосфере, в частности в образовании серебристых облаков, свечении атмосферы и т. д.

Для измерения общего потока метеорных частиц и определения их энергий и массы на спутниках «Электрон-1» была установлена аппаратура регистрации микрометеорных частиц. В качестве ее чувствительных элементов были применены пьезоэлектрические датчики. Сигналы о соударениях с метеорными частицами поступали с пьезодатчиков в специальный преобразователь, обеспечивающий разделение их по амплитуде на несколько диапазонов и подсчет числа сигналов в каждом из диапазонов.

На спутниках «Электрон-1» устанавлива-

лись также приборы, регистрировавшие рентгеновые лучи Солнца. Интенсивное рентгеновское излучение возникает во время мощных взрывов (так называемых вспышек) на Солнце. Рентгеновые лучи сильно влияют на ионосферу, в особенности на область «Д». Изучение их представляет интерес и с точки зрения изучения Солнца.

Из внегалактических пространств приходят на Землю потоки заряженных частиц огромной энергии — космические лучи. Атмосфера и магнитное поле Земли являются существенной помехой на пути их следования к нашей планете. Магнитное поле Земли заставляет космические лучи частично отклоняться от окрестностей Земли, а остальные разбиваются в столкновениях с молекулами газов и лишь в виде осколков достигают земной поверхности.

Спутники «Электрон-2» удалялись далеко от Земли и выходили не только за пределы атмосферы, но и за пределы геомагнитного поля. На них была установлена аппаратура, позволявшая не только измерять общую интенсивность космических лучей, но и определять их химический состав, т. е. выявить ядра, каких атомов и в каком количестве находятся в составе космических лучей.

Как известно, Земля окружена ионосферой, которая отражает и рассеивает радиоволны различных длин волн. Благодаря этому свойству ионосферы легко осуществляется связь между радиостанциями различных континентов Земли. Но по этой же причине все радиоволны с длиной волны больше 100—150 метров не могут проникнуть к нам из космоса. Они достигают ионосферы и отражаются обратно в космическое пространство. Между тем эти радиоволны несут очень ценную информацию об удаленных областях Вселенной. Для того чтобы зарегистрировать такие радиоволны, необходимо выйти за пределы ионосферы Земли. На спутниках «Электрон» были установлены радиоприемники, которые позволяли регистрировать идущие из космоса радиоволны с длиной волны 200 и 400 метров.

КОСМИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ «ПРОТОН»

Более тридцати лет космические лучи интенсивно изучаются физиками многих

стран. Эти исследования привели к открытиям, вскрывшим огромное многообразие природы элементарных частиц, из которых построено вещество окружающего нас материального мира.

Открытия, сделанные при изучении космических лучей, заложили фундамент новой области науки — физики элементарных частиц, изучающей природу этих частиц, их взаимные связи и превращения, ищущей наиболее элементарные «кирпичики» материи. Исследуя взаимодействие высокоэнергичных частиц с веществом, физики изучают основные свойства элементарных частиц — их массу, электрический заряд, силы, действующие между частицами, особенности их строения. Для все более глубокого проникновения в «недра» элементарных частиц физикам требуются частицы все более высоких энергий.

В потоке космических лучей, приходящих на Землю из глубин Вселенной, имеются частицы (протоны и атомные ядра более тяжелых элементов) самых разных энергий: тысячи, сотни тысяч и даже миллиарды миллиардов электрон-вольт. Эти частицы на много порядков более энергичные, чем те, которые могут быть получены в земных условиях с помощью мощнейших ускорителей.

Первичные космические лучи высоких и сверхвысоких энергий, вторгаясь в атмосферу, сталкиваются с ядрами ее атомов и интенсивно растрчивая свою энергию, поглощаются в атмосфере. Поэтому интенсивность частиц космических лучей высокой и сверхвысокой энергии даже на высоте гор столь малы, что их практически нельзя использовать для точных количественных измерений, которые необходимы для решения фундаментальных проблем теории элементарных частиц. Исследования же за пределами атмосферы Земли возможно осуществить только с помощью искусственных спутников Земли.

Для проведения указанных исследований необходимо создание аппаратуры, способной автоматически разделять частицы по их энергиям, отбирать из всех частиц космических лучей только те, которые обладают очень высокими энергиями, измерять их энергию, определять природу первичной частицы, изучать характеристики их взаимодействий с атомными ядрами вещества.

До последнего времени основным препятствием для проведения подобных исследований являлось отсутствие достаточ-

но мощных ракет-носителей, способных вывести на орбиту вокруг Земли искусственные спутники необходимого веса. В самом деле, для изучения частиц с энергией порядка 10^{11} — 10^{15} электрон-вольт требуется вес спутника более десяти тонн. Создание новой мощной ракеты-носителя дало советским ученым возможность разработать необходимую аппаратуру и создать космические станции серии «Протон», а запуск этих станций позволил приступить к осуществлению программы, посвященной фундаментальным проблемам физики космических лучей сверхвысоких энергий.

Устройство космической станции «Протон». Космическая станция «Протон» представляет собой, по существу, сложную автоматическую научную лабораторию.

Внутренний герметичный корпус станции «Протон» защищает ее от аэродинамических нагрузок и теплового воздействия во время выведения на орбиту. Для предотвращения чрезмерного нагрева и охлаждения станции в орбитальном полете корпус станции с внешней стороны закрыт высокоэффективной теплоизоляцией. Внутри герметичного корпуса поддерживается необходимая температура и обеспечивается нормальное давление.

Герметичный корпус станции представляет собой цилиндр с выпуклым днищем. Внутри него, занимая заднюю и центральную часть, размещается научная аппаратура и служебные системы.

На герметичный корпус с внешней стороны крепятся панели солнечных батарей с механизмами их раскрытия, а также чувствительные датчики системы индикации положения станции. На заднем днище размещены агрегаты электропневмосистемы активного демпфирования с баллонами сжатого газа, газовыми соплами и управляющей аппаратурой. Здесь же расположен выносной радиационный теплообменник. На корпусе станции располагаются антенные системы телеметрического, радиокомандного комплекса и комплекса траекторных измерений. Между внешней силовой оболочкой и корпусом станции находятся контейнеры с химическими батареями.

Для передачи на Землю данных научных измерений служит установленная на борту станции специальная высокоинформативная телеметрическая аппаратура.

Надежные и точные измерения парамет-

ров орбиты обеспечиваются наземным измерительным комплексом и установленным на борту станции специальным сигнальным радиооборудованием.

Управление работой научной аппаратуры и всех систем станции осуществляется как с помощью бортовых программно-временных устройств, так и по радиокomандам с Земли.

Возможность определения положения станции в пространстве в каждый момент времени позволяет зафиксировать направление исследуемых космических лучей.

Угловые скорости станции замерялись несколько раз в сутки при помощи гироскопических датчиков.

Для успокоения станции после отделения от ракеты-носителя и придания ей некоторой небольшой угловой скорости относительно всех трех осей имеется система демпфирования, включающая в себя газовые реактивные сопла, баллоны высокого давления и управляющую аппаратуру. Необходимость медленного вращения станции вытекала из условия обеспечения нормальной работы солнечных батарей и более равномерного температурного режима станции. Кроме того, благодаря вращению оказалось возможным «сканировать» измерениями все направления движения частиц космических лучей.

Для обеспечения необходимого для нормальной работы аппаратуры теплового режима станция оборудована системой терморегулирования.

Солнечные батареи обеспечивают энергетическое питание аппаратуры на освещенной стороне орбиты и подзарядку буферной химической батареи для питания на теневой стороне орбиты, когда станция не освещается Солнцем.

Солнечные батареи располагаются на специальных панелях, которые до выведения станции на орбиту сложены в виде усеченной пирамиды. На орбите панели раскрываются и фиксируются специальным устройством, образуя подобие четырехлопастного винта.

Научная аппаратура космической станции «Протон» состоит из ионизационного калориметра, предназначенного для измерения энергии и определения природы частиц космических лучей высокой и сверхвысокой энергии и изучения характеристик их взаимодействия с веществом; прибора для изучения электронов высокой энергии; гамма-телескопа для регистрации гамма-квантов высокой энергии;

прибора для изучения химического состава и энергетического спектра космических лучей умеренных энергий.

Ионизационный калориметр состоит из большого числа стальных плит, между которыми расположены сцинтилляторы из специальной пластмассы. При попадании частицы высокой энергии на ионизационный калориметр она взаимодействует с ядрами атомов железа. В результате столкновения рождаются вторичные частицы, которые, в свою очередь, сталкиваясь с ядрами железа, рождают частицы следующего поколения и т. д. В результате вся энергия первичных частиц переходит к большому числу вторичных частиц, которые и поглощаются в толстом блоке вещества ионизационного калориметра. Процесс поглощения энергии сопровождается появлением световых вспышек в пластических сцинтилляторах, причем интенсивность каждой из них пропорциональна энергии, поглощенной в ионизационном калориметре, т. е. пропорциональна энергии первичной частицы.

Для изучения природы частиц космических лучей — измерения их электрического заряда — над ионизационным калориметром располагаются два специальных счетчика, в каждом из которых независимо происходит измерение заряда. Применение двух счетчиков существенно повышает точность измерения заряда и позволяет надежно отделить первичные протоны высокой энергии от более тяжелых частиц.

Под счетчиком находится блок из углерода (на одной половине прибора) и блок из полиэтилена — на другой. Эти блоки являются тем веществом, взаимодействие с которым частицы высокой энергии и является предметом исследований. Под блоками из углерода и полиэтилена находятся детекторы взаимодействий.

Полиэтилен состоит из атомов углерода и водорода. Поэтому в одной половине аппаратуры изучается взаимодействие частиц ультравысоких энергий с ядрами атомов углерода, а в другой — с ядрами атомов углерода и водорода.

Сравнение результатов измерений, выполненных в обеих половинах, позволяет выделить в чистом виде взаимодействия на ядрах атомов водорода, т. е. на протонах.

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

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

Среди других задач, решаемых научной аппаратурой космической станции «Протон», важное значение имеет регистрация гамма-квантов первичного космического излучения, определение энергетического спектра гамма-квантов в области энергий 10^8 — 10^9 электрон-вольт, измерение энергетического спектра, химического состава и вариаций первичных космических лучей.

НЕКОТОРЫЕ ИТОГИ НАУЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

В рамках настоящей брошюры невозможно дать подробный анализ тех результатов, которые получены советскими учеными и инженерами с помощью искусственных спутников серий «Космос», «Электрон» и космических станций «Протон», поэтому приходится ограничиться кратким изложением некоторых из них.

Научные исследования, выполненные на спутниках «Космос», обеспечили советским инженерам необходимые данные для проектирования космических кораблей и свершения космического полета человека. Помимо этого, полученные результаты явились важным вкладом в фундаментальные знания об околоземном космическом пространстве.

Одной из основных задач, которые выполнялись спутниками «Космос», было наблюдение уровня ионизирующей радиации, необходимое для обеспечения радиационной безопасности космических полетов человека.

Как известно, радиационная опасность в космическом пространстве вызывается тремя основными видами ионизирующей радиации: первичным космическим излучением, излучением радиационных поясов Земли и излучением, генерируемым при крупных хромосферных вспышках на Солнце.

Благодаря длительным измерениям, выполненным на ряде спутников «Космос», определены возможные дозы радиации на высотах около 300 километров в зависимости от условий геомагнитной и солнечной активности.

Когда еще не было подписано соглашение о запрещении высотных ядерных взрывов, большую опасность для космических полетов представляли и они. Поэто-

му для контроля радиационной обстановки важное значение имело и изучение последствий американского высотного ядерного взрыва, произведенного 9 июля 1962 года. Эта задача решалась многими спутниками серии «Космос». Эффекты самого взрыва были зарегистрированы спутником «Космос-5», находившимся в это время на орбите. Мощные потоки электронов, возникшие в результате упомянутого ядерного взрыва, зарегистрировала и аппаратура, установленная на «Космосе-17». Было определено среднее время жизни этих электронов для различных магнитных оболочек, а также значения их абсолютных потоков.

Последующие измерения на спутниках «Космос» показали, что образовавшийся после взрыва искусственный пояс радиации еще долго «не рассеивался» на больших высотах, особенно вблизи экваториальной плоскости.

Проведенные на «Космосах» исследования позволили также накопить новые данные по радиационному поясу Земли. Получено пространственное распределение внешней зоны радиационного пояса до высот 400 километров от поверхности Земли, сведения о стабильности во времени и интенсивности в зависимости от высоты. Установлено также, что при изменении гео-гелиофизической обстановки наблюдается смещение максимума интенсивности по широтам. Зарегистрирован резкий рост интенсивности излучения с высотой в областях юга Атлантики и востоке побережья Бразилии.

Экспериментальные данные, полученные со спутников «Космос», позволили с большой точностью определить положение экватора космических лучей, полученного по данным кораблей-спутников, и уточнить тем самым характер геомагнитного поля на больших расстояниях от Земли.

На «Космосе-17» были проведены измерения пространственного распределения заряженных частиц в диапазоне высот 250—780 км. Аппаратура, установленная на этом спутнике, обеспечила практически полную (без перерывов) регистрацию показаний приборов и передачу этих данных на наземные пункты.

Начатые на третьем советском спутнике эксперименты по непосредственному изучению электронов с энергиями около 10 кэВ позволили впервые обнаружить на высотах 1000—1800 км в ночное время мощные потоки мягких электронов и подтвердить исходное предположение о важ-

ной роли корпускулярной радиации для основных процессов в верхней атмосфере. Задачей дальнейших исследований было прежде всего детальное изучение энергетического спектра электронов, получение сведений о потоках ионов, о распределении геоактивной корпускулярной радиации в пространстве и ее связи с различными геофизическими процессами, главным образом с геомагнитными возмущениями, полярными сияниями, более жесткими частицами космических лучей и радиационных поясов, свечением верхней атмосферы и солнечной активностью. С этой целью изучение геоактивных корпускул было продолжено спутниками серии «Космос».

Первые эксперименты этого класса были поставлены уже в 1962 г. на спутниках «Космос-3» и «Космос-5».

На основании анализа измерений, выполненных вдоль орбит спутников различными датчиками, удалось выявить несколько несвязанных между собой явным образом групп наиболее интенсивных потоков корпускул на небольших высотах (примерно до 700 км) в области географических широт $\pm 49^\circ$. К первой группе можно отнести протоны с энергией порядка 50 мэв, регистрируемые потоки которых составляют примерно 10^2 частиц $\text{см}^{-2} \cdot \text{сек}^{-1}$. Вторая группа — электроны с энергией около 100 кэв, суммарные потоки которых достигают значений $20 \cdot 10^2$ частиц $\text{см}^2 \cdot \text{сек}^{-1}$. И, наконец, третья группа — группа электронов с энергиями примерно 10—20 кэв.

Были обнаружены наиболее «мягкие» частицы — электроны с энергиями в несколько десятков электрон-вольт, образующиеся при ионизации верхней атмосферы солнечным ультрафиолетовым излучением.

Исследования космических лучей, проведенные с помощью искусственных спутников Земли серии «Космос», позволили получить ценные данные о их природе, интенсивности, энергетическом спектре, составе и т. д. Значительный интерес представляют данные о вариациях потоков первичного излучения, обусловленных конкретными процессами на Солнце, в окрестностях Земли, межпланетной среде и Галактике.

Изучение внезапных возрастаний интенсивности и пространственно-временного распределения солнечных космических лучей во время вспышек на Солнце позволило получить сведения не только об их природе, но и о радиационной обстановке в космическом пространстве, что имело важное практическое значение.

Измерения, проведенные на спутнике «Космос-6» в течение лета 1962 года, сопоставленные с наземными наблюдениями, хорошо согласуются с теорией гелиоцентрического межпланетного магнитного поля, по которой закрученные силовые линии такого поля соединяют Землю с западным полудиском Солнца.

При помощи спутника «Космос-19» представилась возможность впервые исследовать 27-дневные вариации первичных космических лучей за пределами атмосферы на высоте ~ 350 км по данным одиночного незранированного счетчика.

Изучение космических лучей производилось также на спутнике «Космос-17». Была произведена регистрация фона, обусловленного космическими лучами. Определена высотная зависимость интенсивности космических лучей в интервале высот 300—800 км, а также зависимость от уровня солнечной активности, относящаяся к периоду спокойного Солнца.

Важное значение имели эксперименты по дальнейшему изучению ионосферы. При этом использовались как косвенные методы исследования путем регистрации доплеровского смещения частот радиоволн, излучаемых когерентно со спутника, так и прямые измерения при помощи установленных на спутниках ловушек различных типов.

Первый из указанных методов позволяет изучать распределение электронной концентрации и оценивать величину угла рефракции радиоволн вдоль орбиты движения спутника. Для этого на «Космосах» устанавливались передатчики, в течение длительного времени излучавшие когерентно на частотах 20,005, 30,0075 и 90,0225 мгц.

Важным результатом исследования ионосферы описываемым методом является обнаружение крупномасштабных неоднородностей длиной до 150 км, определение спектра неоднородностей по размерам и градиентов электронной концентрации.

Наименьшие размеры неоднородностей, которые были разрешены при обработке записей, составляют около 600 метров. Они регистрировались в основном во время ионосферных возмущений. Довольно часто неоднородности были локализованы в ограниченных областях ионосферы с горизонтальными размерами от нескольких десятков до нескольких сотен километров. В ряде случаев на высотах 250—350 км зафиксированы линзовые неоднородности.

Определены размеры неоднородностей

на различных высотах. Получен общий спектр неоднородностей. Был обнаружен новый максимум спектра неоднородностей размером в 100—130 км. Наряду с этим подтвердилось существование ранее обнаруженного максимума неоднородностей размером в 3—6 км.

Получены детальные данные об углах рефракции радиоволн в ионосфере. На частоте 20 мгц угол рефракции изменялся от нуля до 3—5°. Показано, что при уменьшении размеров неоднородностей ионосферы вдоль орбиты угол рефракции также уменьшается.

Дальнейшая обработка достаточно большого количества результатов измерений позволит определить средний ход электронной концентрации во внешней ионосфере, детально исследовать пространственную крупномасштабную неоднородность ионосферы, размеры облаков, градиенты электронной концентрации вдоль орбиты ИСЗ и т. д. Анализ результатов этих наблюдений позволит изучить временную, широтную и долготную изменчивость атмосферы над различными областями Земли.

Прямые ионосферные измерения явились продолжением исследований с помощью ионных ловушек, начатых в 1958 г. на третьем советском искусственном спутнике Земли. Эти исследования позволили получить данные о концентрации заряженных частиц в области ионосферы до высоты ~1000 км.

При помощи различного типа ловушек заряженных частиц, установленных на спутниках «Космос», измерялись концентрация и температура ионов и электронов в ионосфере в период, близкий к минимуму 11-летнего цикла солнечной активности. В результате было обнаружено существенное изменение высотного распределения концентрации заряженных частиц по сравнению с 1958 годом, когда Солнце было более активным.

В результате запуска «Космоса-26» и «Космоса-49» были получены экспериментальные данные о напряженности геомагнитного поля на высотах около 300 километров от земной поверхности. При этом исследовались также источники переменного магнитного поля и степень их влияния на изменение средних значений поля вблизи Земли.

Для прогнозирования времени существования искусственных спутников и космических кораблей необходимо было знать распределение плотности атмосферы в ос-

новном на высотах 180—320 км. Предварительные оценки плотности верхней атмосферы были сделаны на основе анализа данных о торможении спутников «Космос-3» и «Космос-5». Совместное рассмотрение характеристик торможения спутников в некоторые соответствующим образом выбранные моменты времени, когда геоцентрические углы между точками перигея и Солнцем были примерно одинаковы, а высота перигеев различна, позволило оценить толщину слоя однородной атмосферы на высоте около 200 км, которая составляет приблизительно 45 км.

Дальнейшее изучение эволюции орбит 16 советских ИСЗ позволило получить данные о плотности атмосферы на высотах 170—300 км в годы минимума солнечной активности, причем на более обширном материале получены распределения плотности для среднесуточных максимальных дневных и максимальных ночных условий.

Средняя плотность атмосферы в 1964 году по сравнению с 1958 годом на высоте 200 км уменьшилась примерно вдвое, а на высоте 300 километров — в 3,5 раза.

Построение зависимости плотности атмосферы от потока дециметрового радиолучения Солнца позволяет в некотором приближении прогнозировать плотность атмосферы в диапазоне высот 180—300 километров при дальнейшем изменении солнечной активности.

Данные о плотности верхней атмосферы, вычисленные по торможению спутников, были пересчитаны с учетом коэффициента эродинамического сопротивления. Эти результаты использовались для выяснения вариаций давления высоты однородной атмосферы и молекулярной температуры атмосферы в зависимости от времени суток и фазы солнечного цикла.

На нескольких «Космосах» была установлена аппаратура для измерения распределения энергии в спектре уходящего излучения Земли, распределения излучения атмосферы по высоте и т. д.

На основании проведенных измерений можно сделать некоторые выводы о свойствах поверхности Земли вдоль траектории спутника. В частности, интенсивность излучения в окне прозрачности земной атмосферы (8—12 мк) при безоблачном небе в основном соответствует характеристикам подстилающей поверхности и резко уменьшается над облаками. Интенсивность длинноволнового излучения в интервале от 17 до 24 мк слабо зависит от широты, но силь-

но изменяется от места к месту в зависимости от облачности.

По результатам измерений калориметра, установленного на «Космосе-45», для всех спектральных интервалов построено распределение излучений на ночной стороне Земли и обнаружены широтный ход и существенные локальные неоднородности. Данные для всех спектральных интервалов обнаруживают корреляцию между собой. Однако в ультрафиолетовом интервале относительные изменения интенсивности светового потока меньше, чем в видимой части спектра.

Полученные результаты представляют большую ценность для геофизиков и вместе с тем дают важные сведения для совершенствования методов метеорологических прогнозов, отработки систем ориентации и ряда других целей.

Большое практическое значение имели выполненные на спутниках «Космос» измерения концентрации мельчайших пылевых микрометеорных частиц и их воздействия на поверхности солнечных батарей, оптических приборов и элементы конструкции спутников.

На спутнике «Космос-51» изучалось свечение звездного неба в ультрафиолетовой и видимой областях спектра.

Развитие космических исследований с помощью искусственных спутников Земли (ИСЗ) и космических аппаратов (КА) дальнего действия предъявляет все более высокие требования к стабильности частоты установленных на них (бортовых) задающих генераторов. Ими определяется точность работы программно-временных устройств и систем определения траектории движения ИСЗ и КА.

С помощью высокостабильных бортовых генераторов возможны передача и прием радиосигналов в очень узкой полосе частот, что позволит значительно повысить чувствительность бортовой и наземной аппаратуры и осуществить связь, управление, передачу команд и телеметрической информации на очень больших расстояниях от Земли до КА.

Применение в качестве высокостабильного бортового генератора частоты и времени может найти, например, квантовый генератор на аммиаке, обладающий совокупностью таких свойств, как вибропрочность, компактность и долговременность работы.

Первый опыт установки квантового стандарта частоты на ИСЗ был осуществлен на «Космосе-97». Для этого советскими учеными был разработан и изготовлен молекулярный генератор, работающий на двух встречных пучках молекул аммиака.

Анализ данных телеметрии и частотных измерений позволил сделать выводы, необходимые для дальнейшей конструктивной разработки бортовых квантовых стандартов частоты в целях создания их промышленных образцов широкого применения.

На спутниках серии «Космос» проводились и биологические исследования, как, например, запуск 22 февраля 1966 года искусственного спутника Земли «Космос-110», на борту которого находились собаки Ветерок и Уголек и различные биологические объекты.

В отличие от ранее проводимых исследований спутник с животными на протяжении 22 суток находился в зонах с повышенной интенсивностью радиации. При этом большая часть поглощенной дозы была обусловлена излучением радиационного пояса Земли (протоны внутренней зоны радиационного пояса Земли). Другой отличительной особенностью эксперимента было применение сложных физиологических методов, связанных с вживлением зондов и электродов, искусственным питанием животных, а также применением различных фармакохимических противолучевых средств.

Результаты эксперимента еще не изучены до конца, но состояние животных через месяц-два после полета было очень хорошим.

На спутнике «Космос-122» проводились испытания аппаратуры для получения данных о распределении облачности, снежного покрова и ледовых полей, температуры поверхности Земли или верхних границ облаков, а также различных данных, составляющих радиационный баланс Земли и атмосферы.

За один час спутник собирал информацию с площади около 30 тыс. кв. км.

Применение искусственных спутников Земли для метеорологических исследований открывает огромные перспективы в развитии всемирной службы погоды.

Результаты, полученные на космических системах «Электрон». Анализ экспериментальных данных о пространственном распределении и энергетическом спектре частиц с энергией 0,1—10 кэв, полученных с помощью сферических анализаторов, размещенных на спутниках «Электрон-2», показал, что внутри магнитосферы существует область с повышенной интенсивностью потока электронов с энергией 0,1—10 кэв. Эта область расположена вне пояса захваченных электронов с энергией > 150 кэв. Протяженность области и потоки электро-

нов в ней испытывают изменения с характерным временем порядка нескольких дней, положительно коррелируя с геомагнитной активностью.

На апогейных участках орбиты сферические анализаторы не регистрировали каких-либо потоков, превышающих пороги чувствительности. Однако при некоторых пролетах в районе апогея наблюдались спорадические, длящиеся несколько часов возрастания интенсивности электронов с энергией ≤ 1 кэв. Спорадические потоки регистрировались на высоких магнитных широтах вблизи полуденного меридиана. После появления спорадических потоков протяженность областей повышенной интенсивности электронов с энергией равной 1—10 кэв возрастала. В эти же моменты регистрировались магнитные бури с внезапным началом. По-видимому, между появлением спорадических потоков и геомагнитными возмущениями существует определенная связь.

На спутниках «Электрон-1» были проведены измерения мягких корпускул: электронов (с энергией ≥ 20 кэв) и протонов (с энергией ≥ 150 кэв).

На низких широтах вблизи экватора приборами регистрировалось проникающее излучение, обязанное в основном электронам искусственного пояса радиации с энергией $\geq 1,1$ мэв. Эти данные позволили построить картину распределения искусственного пояса радиации в начале 1964 года и определить характер его изменения за прошедшие полтора года. Центр пояса переместился на большие высоты, где в плоскости экватора на расстоянии $\sim 1,30$ земного радиуса интенсивность уменьшалась примерно на порядок. Получены данные о величине потока электронов с энергией от 20 кэв до 1,1 мэв.

На средних широтах зарегистрированы значительные потоки протонов с энергией > 150 кэв с максимумом около $R_3=3$, захваченные в геомагнитную ловушку.

Резкое увеличение интенсивности потока мягких электронов в период магнитных бурь, зарегистрированное аппаратурой спутников «Электрон-1», и отсутствие в магнито-спокойное время достаточных «запасов» электронов, для того чтобы вызвать наблюдаемые полярные сияния, свидетельствуют в пользу гипотезы о захвате электронов в магнитосферу Земли из солнечного ветра во время геомагнитных возмущений.

С помощью приборов, установленных на спутниках «Электрон-1» и «Электрон-2», для регистрации электронов с энергией от

40 кэв до 40 мэв и протонов с энергией от 2 до 200 мэв получены сведения о величинах доз радиации на различных высотах.

Вблизи границы радиационного пояса были обнаружены интересные явления, связанные с возникновением нерегулярных потоков электронов с энергией ~ 100 кэв. Область пространства с интенсивными всплесками потоков электронов соответствует зоне, в которой наиболее часты магнитные возмущения и полярные сияния. Спутниками «Электрон» было зарегистрировано несколько случаев появления таких нерегулярных потоков электронов, причем всегда наблюдалась хорошая корреляция с магнитными возмущениями в полярных областях.

С помощью ловушки заряженных частиц, установленной на «Электрон-2», было зарегистрировано существование мягкой компоненты потоков электронов с энергией ≤ 20 кэв. Причем изменчивость этой мягкой компоненты во времени оказалась гораздо большей, чем изменчивость потоков высокоэнергичных частиц.

При всех прохождении спутников через область магнитосферы на расстояниях 3—6 радиусов Земли было обнаружено, что измеренные значения геомагнитного поля всегда меньше вычисленных. Максимальные расхождения наблюдались на расстоянии 3-х земных радиусов; здесь они достигали 10% от величины дипольного поля. Этот результат согласуется с данными, впервые полученными с помощью станции «Луна-1» и «Луна-2».

Измерения, проведенные на расстояниях 7—11,6 земного радиуса, выявили, что напряженность магнитного поля здесь оказывается всегда больше вычисленной, причем вариации этих положительных разностей находятся в хорошем согласии с начальными фазами магнитных возмущений и полярных бурь.

В период минимума солнечной активности на спутниках «Электрон-2» по программе МГСС были осуществлены длительные измерения рентгеновского излучения Солнца. Измерения велись в двух спектральных областях 2—10А и 8—18А.

Были также осуществлены длительные измерения ядерной компоненты первичного космического излучения и прослежены вариации различных групп ядер в зависимости от солнечной активности. Сопоставление измерений, проведенных на кораблях-спутниках в период максимума солнечной активности (1959—1960 гг.), с измерениями при минимуме солнечной

активности указывает на одновременный и равномерный рост потоков всех групп ядер в 1,7—2 раза.

С помощью спутников «Электрон» были проведены важные измерения химического состава внешней ионосферы вплоть до высот порядка 3000 км. Зарегистрированы ионы водорода, гелия, азота и кислорода. Ионы атомарного кислорода четко обнаруживаются до высот более 1000 км; почти до таких же высот наблюдались ионы атомарного азота. Ионы атомарного водорода регистрировались от перигея и выше (от 406 до 3000 км). Оказалось, что на высотах 800—1000 км ионосфера существенным образом меняет свой состав и из кислородно-азотной переходит в водородную оболочку. Ионы гелия регистрировались в виде отдельных слабых массовых пиков, а их концентрация не превышала 10% от полной ионной концентрации. Следовательно, в земной атмосфере, по-видимому, не существует слоя с преобладающим содержанием ионов гелия.

С помощью радиоприемной аппаратуры, установленной на спутниках «Электрон-2» и предназначенной для измерения радиоизлучения на нескольких фиксированных частотах средневолнового диапазона, было обнаружено спорадическое радиоизлучение, уровень которого снижался с увеличением расстояния от Земли, но временами был еще значителен, причем даже тогда, когда спутник находился вблизи апогея. Появление и интенсивность этого космического радиоизлучения оказались зависящими от геомагнитной широты (оно достигало максимума на геомагнитных широтах ± 40 — 50° и отсутствовало на геомагнитном экваторе) и хорошо коррелирует с потоками относительно мягкой компоненты электронов, зарегистрированных с помощью ловушек заряженных частиц.

Некоторые итоги, полученные с помощью космических станций «Протон». В ходе этих экспериментов были получены следующие данные:

- измерен спектр первичных частиц космических лучей безотносительно к их заряду в области энергий 10^{10} — 10^{14} эв;
- измерен энергетический спектр первичных протонов в области энергий 10^{10} — 10^{12} эв;
- измерено эффективное сечение неупру-

гого взаимодействия с ядрами углерода в области энергий $5 \cdot 10^9 + 10^{12}$ эв;

- обнаружен большой поток электронов с энергией 300 мэв в районе геомагнитного экватора, превышающий поток первичных протонов в том же районе более чем в 2 раза;
- обнаружен большой поток однозарядных частиц легкого вещества, составляющих 30% от потока первичных протонов на высоких геомагнитных широтах и 200% от потока первичных протонов в районах геомагнитного экватора. Поток этих «избыточных» частиц мало зависит от ориентации прибора относительно Земли как на высоких, так и на низких широтах;
- измерены энергетические спектры различных групп ядер по геомагнитным эффектам в области энергий вплоть до 20 гэв/нуклон.

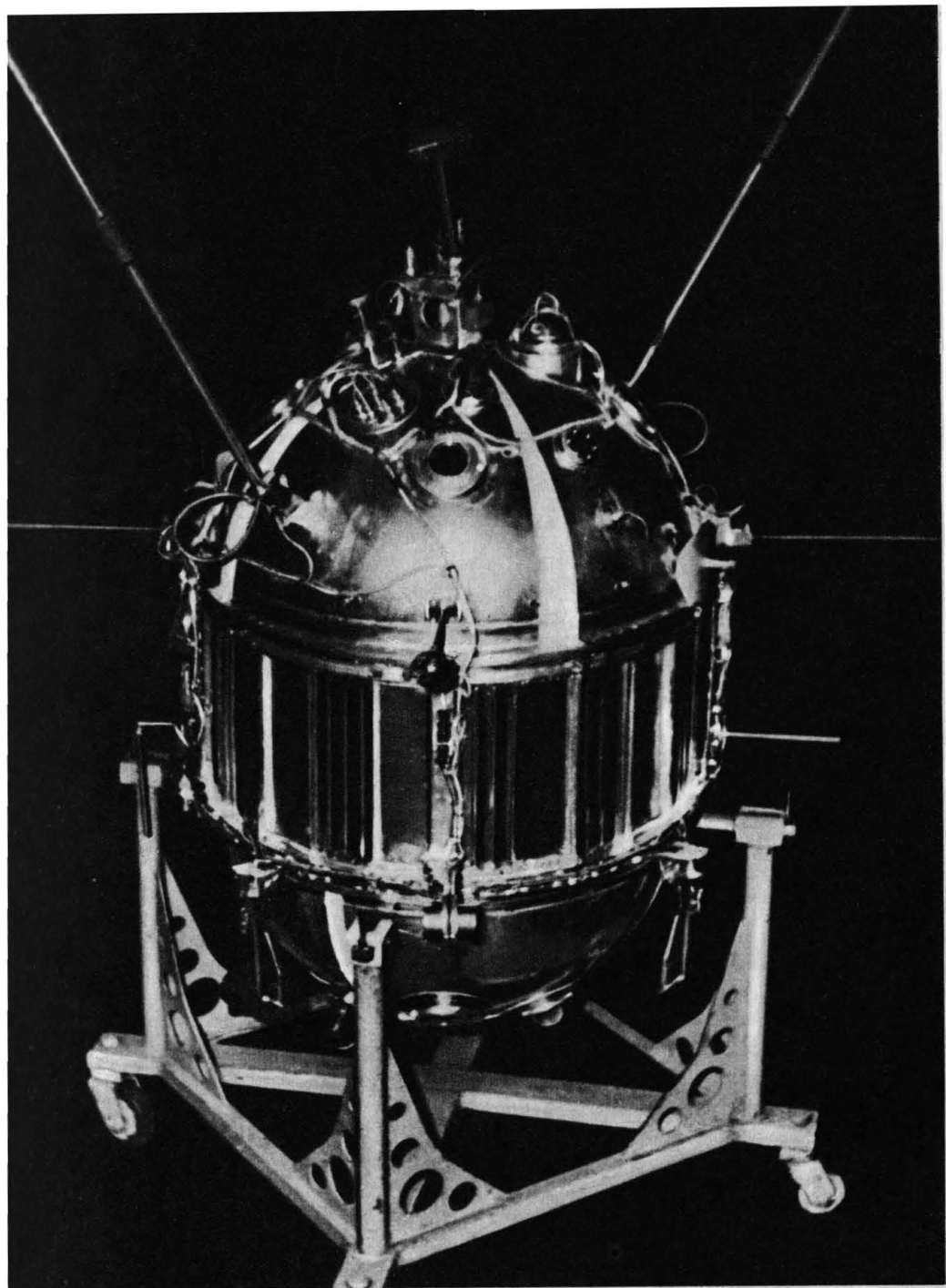
Человек сделал только первые шаги в познании Вселенной. Дальнейшее проникновение в космос углубит наши знания о строении вещества, законах развития Вселенной, природе тяготения, эволюции живой материи, даст сведения, необходимые для решения многих задач на Земле, в том числе и для осуществления управляемого термоядерного синтеза.

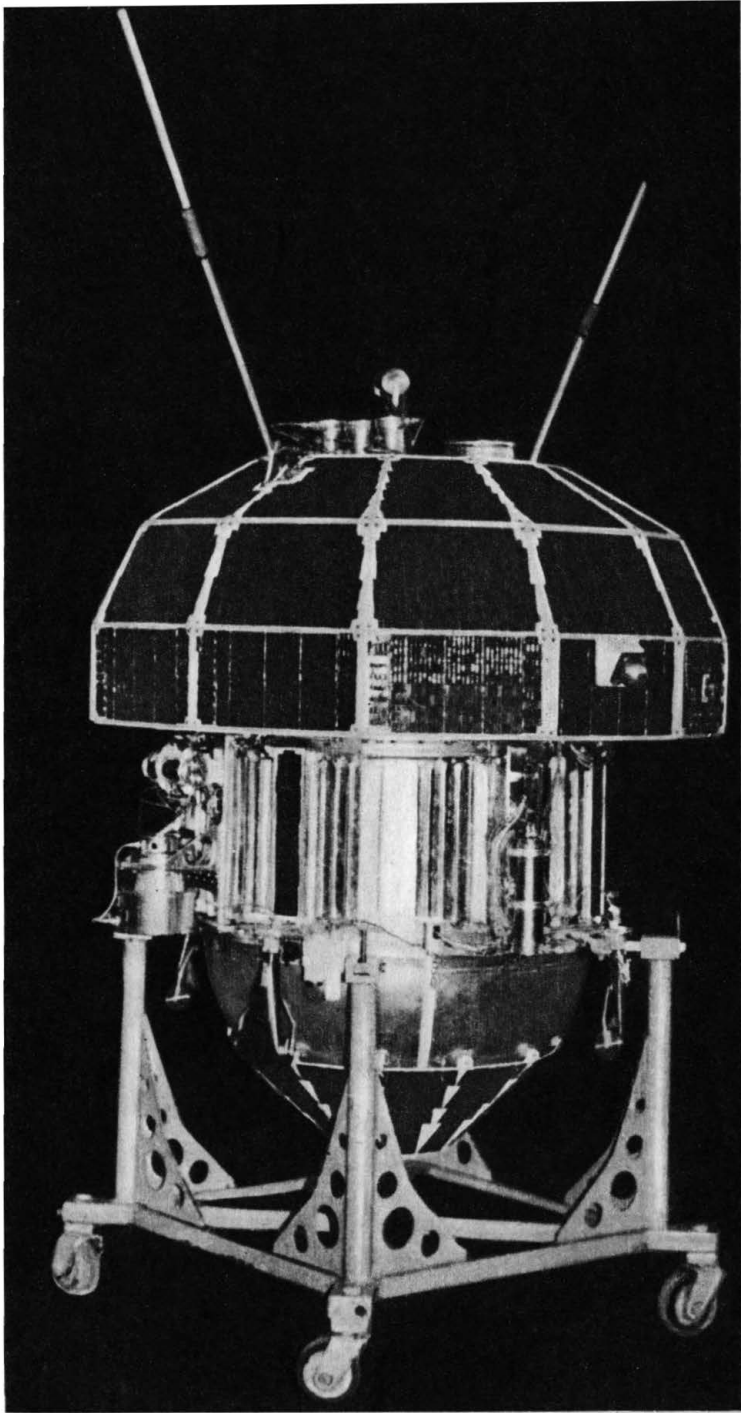
На смену двигателям на химическом топливе придут двигатели, использующие ядерное и термоядерное горючее, а также высокоэффективные электрические — плазменные и ионные двигатели. Создание на орбитах спутников Земли обсерваторий позволит астрономам освободиться от пелены земной атмосферы и проникнуть в тайны звездных миров.

Впереди детальное изучение планет, их поверхности, их недр, их атмосферы, радиационных и магнитных полей; создание космических кораблей, которые сделают возможными многолетние путешествия к планетам; оснащение этих кораблей сверхдальней связью, навигационными приборами, обеспечение экипажа кислородом, пищей и водой.

Наконец, в космосе могут возникнуть искусственные планеты, которые не только позволят углубить исследования Вселенной, но и облегчат космические путешествия.

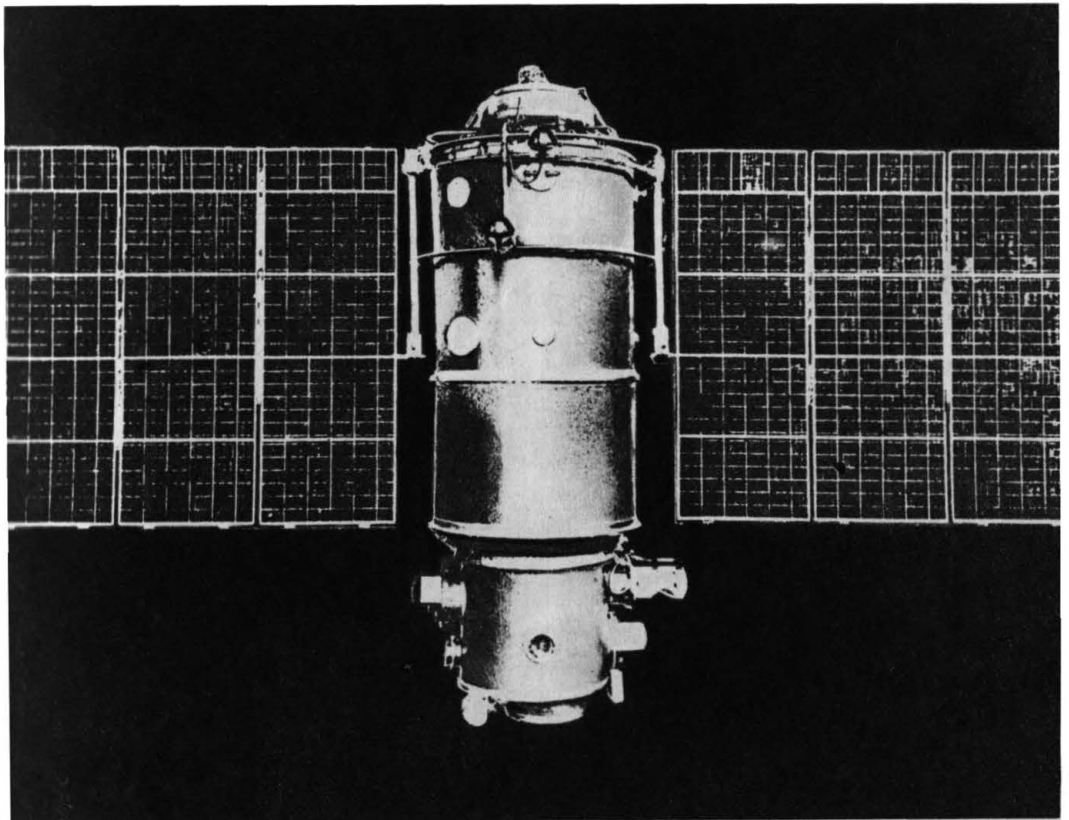
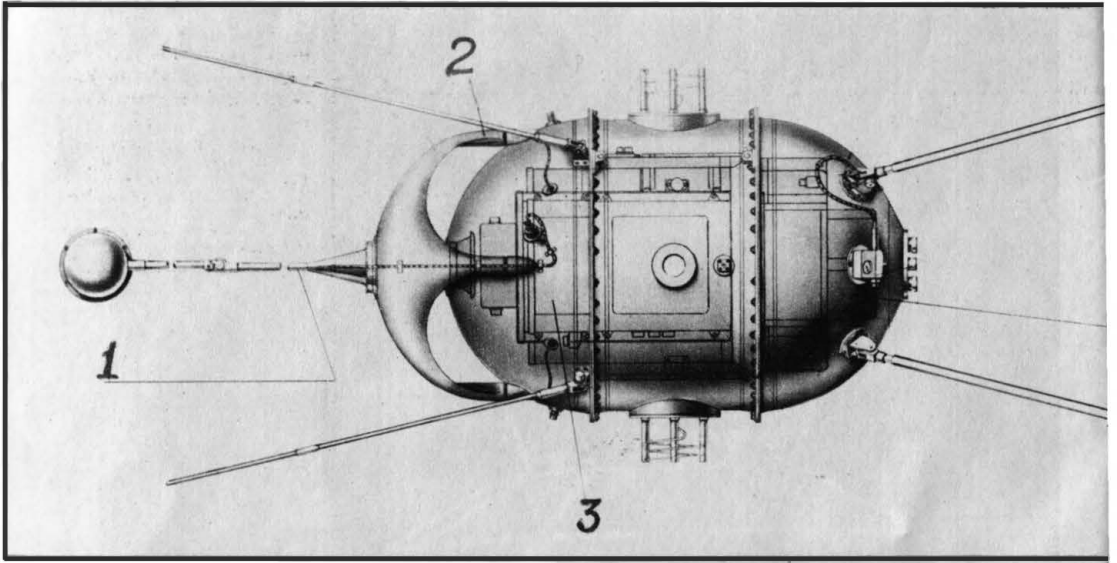
Исследование и освоение космического пространства будет продолжаться на благо всего человечества.

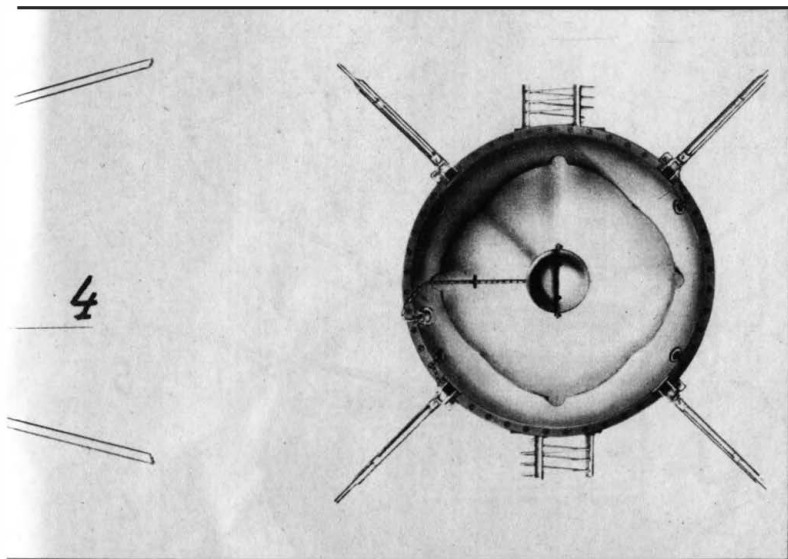




Первые спутники серии «Космос» «Космос-2» — предназначенный для исследования ионосферы.

«Космос-5» — предназначенный для исследования заряженных частиц мв-лых энергий.





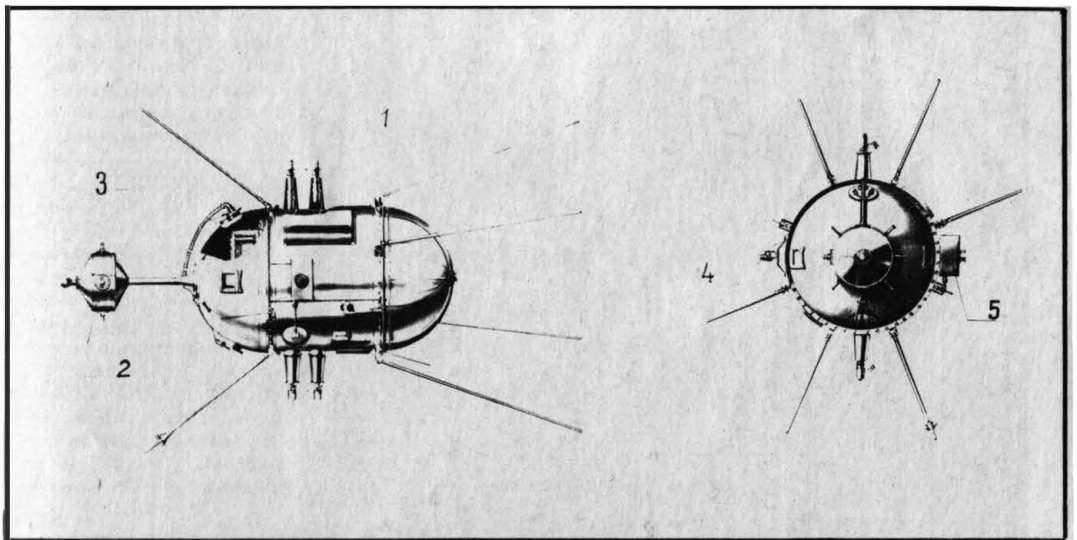
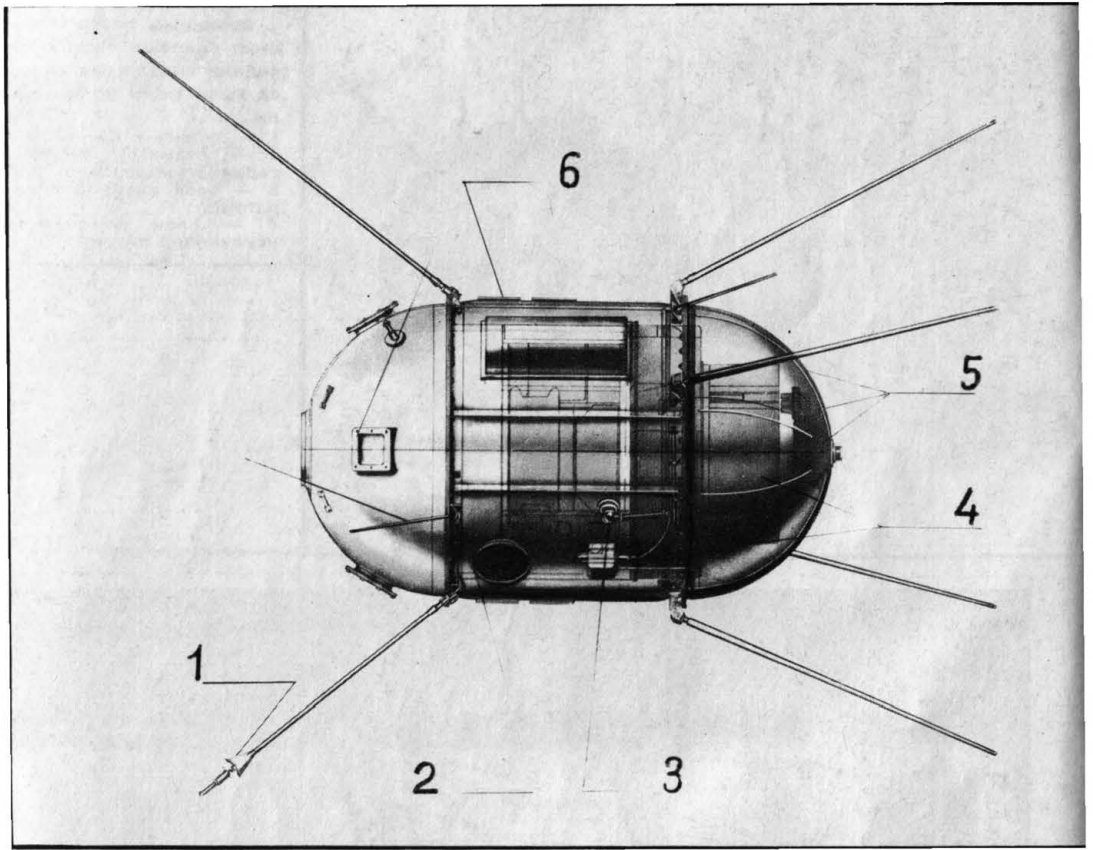
С помощью этого спутника впервые была проведена глобальная съемка магнитного поля Земли.

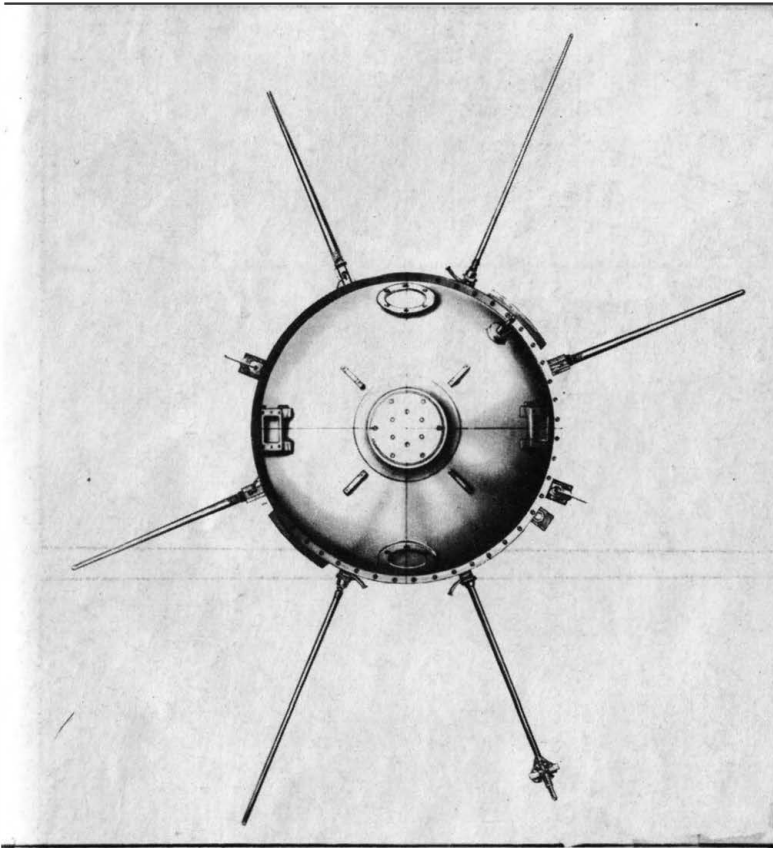
1 — штанга с датчиками;
2 — радиатор системы терморегулирования;
3 — блок научной аппаратуры;
4 — блок химических источников питания.



Метеорологический спутник. За один час он собирает информацию с площади около 30 тыс. квадратных километров.

Много научных задач решается с помощью советских спутников серии «Космос». Среди них важное место занимает исследование условий полета в космосе, в частности ориентация космического аппарата в пространстве. На снимке один из «Космосов», предназначенный для отработки электро-маховичной системы ориентации.





Модификация унифицированного спутника с химическими источниками тока.

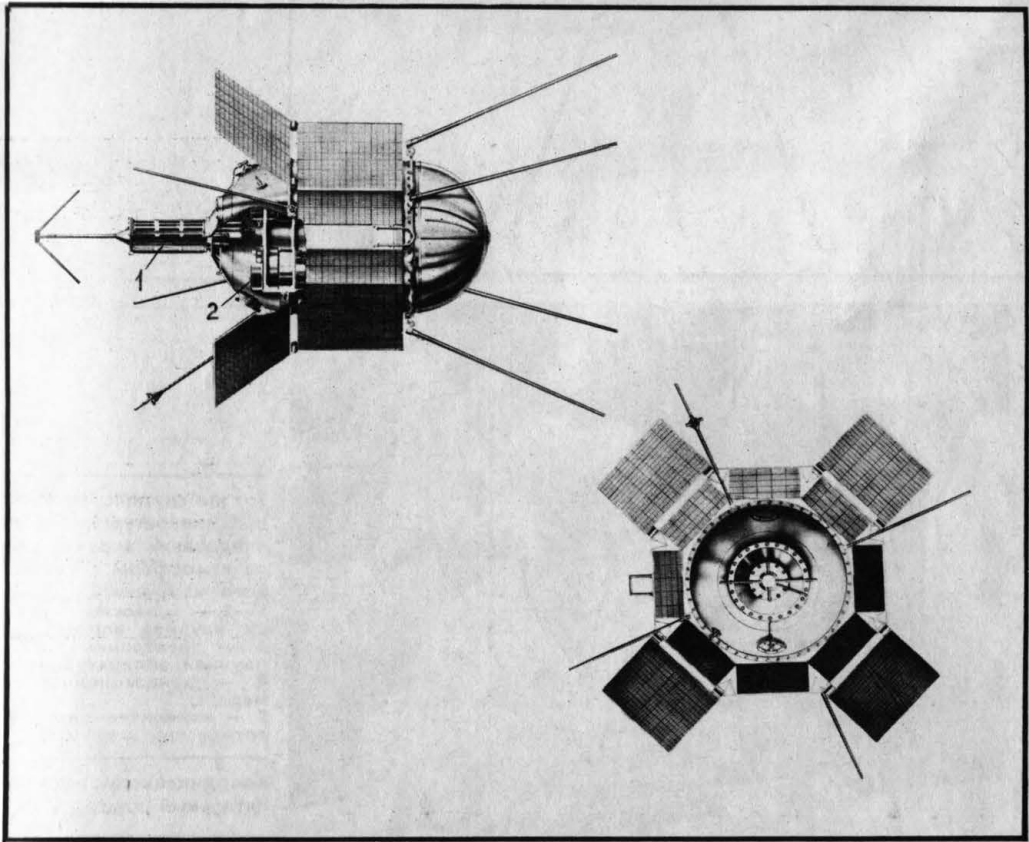
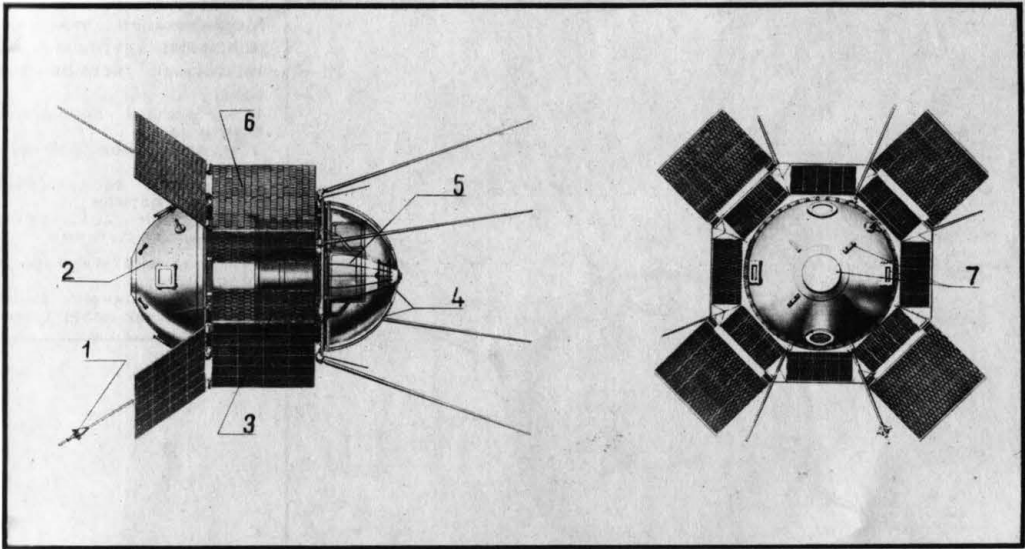
- 1 — датчик положения спутника;
 - 2 — отсек под научную аппаратуру;
 - 3 — блок обслуживающей аппаратуры;
 - 4 — блок химических источников питания;
 - 5 — система терморегулирования;
 - 6 — посадочные места под научную аппаратуру.
-

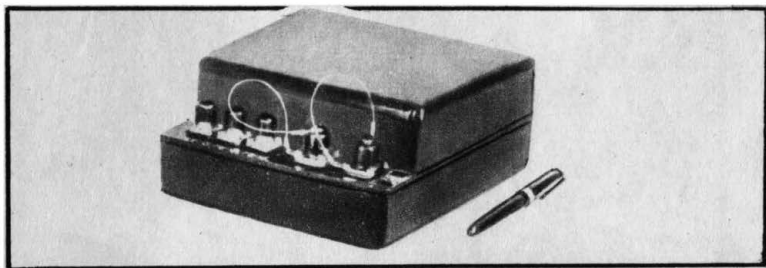


Тот же спутник, оснащенный аппаратурой для исследований верхних слоев атмосферы и солнечного излучения.

- 1—2 — выносные датчики научной аппаратуры;
 - 3 — электронный блок научной аппаратуры;
 - 4 — ионизационная камера;
 - 5 — измеритель эррозии оптических элементов.
-

Координационно - вычислительный центр.





Модификация унифицированного спутника с солнечными батареями.

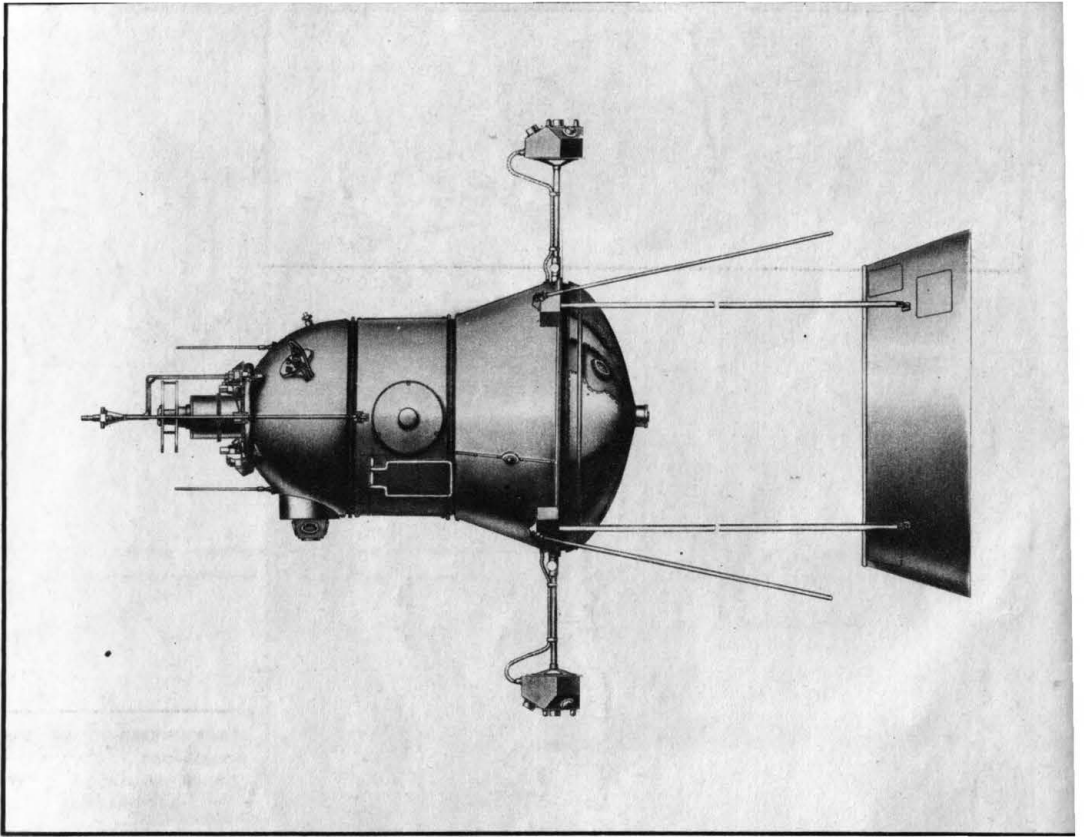
1 — датчик положения спутника;
2 — отсек под научную аппаратуру;
3 — блок обслуживающей аппаратуры;
4 — система терморегулирования;
5 — блок буферных батарей;
6 — солнечная батарея;
7 — посадочные места под научную аппаратуру.

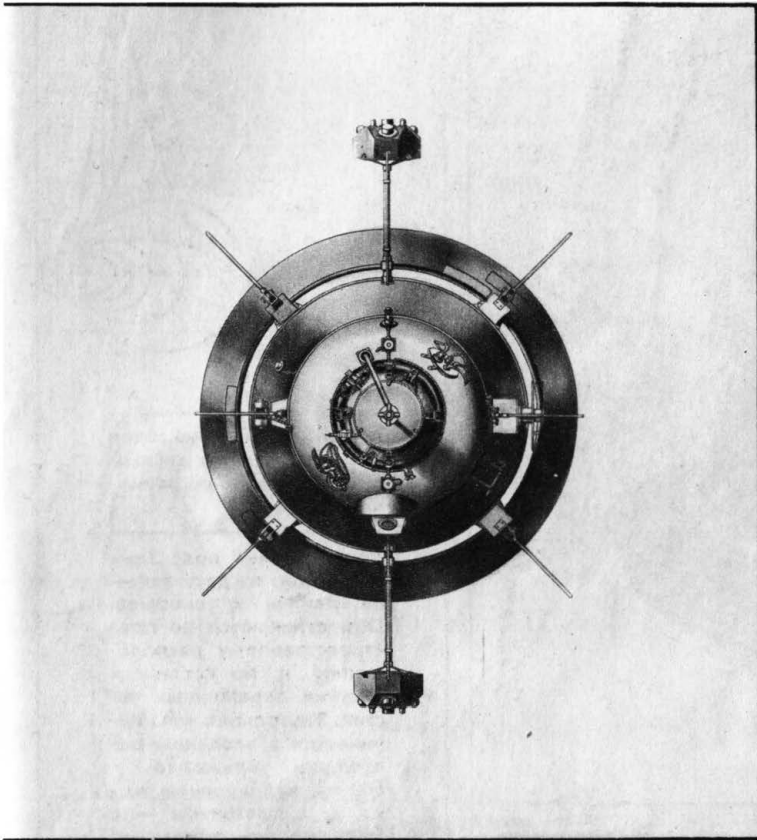
Тот же спутник с молекулярным генератором на борту.

1 — молекулярный генератор;
2 — блоки научной аппаратуры.

Бортовая радиостанция «Маяк».

Четвероногие космонавты Ветерок и Уголек на руках у лаборантки Ирины.

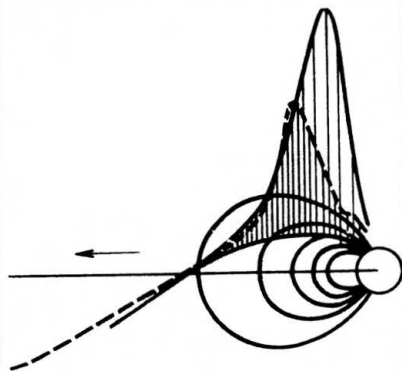
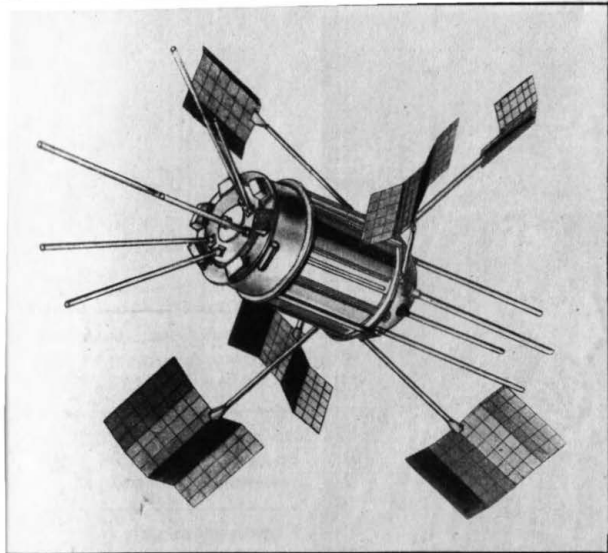
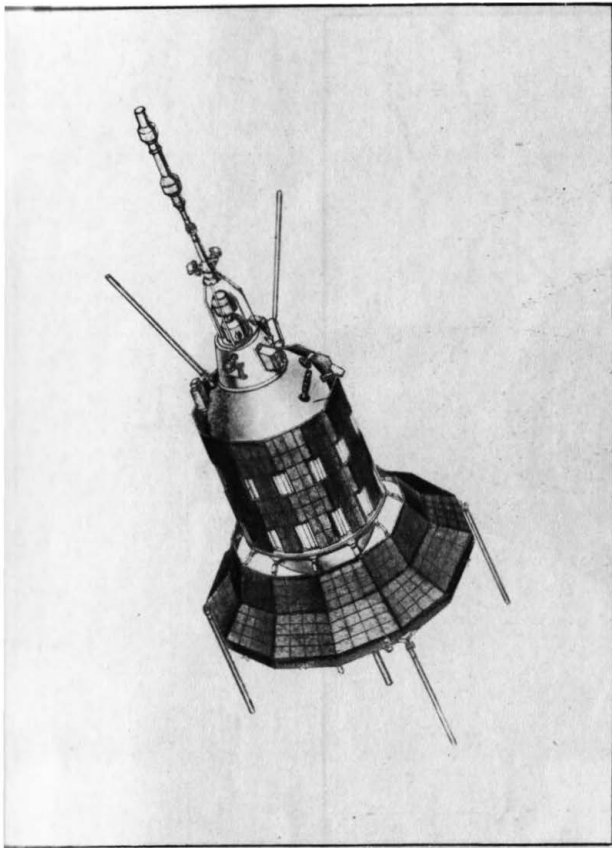




Модификация унифицированного спутника с системой ориентации.

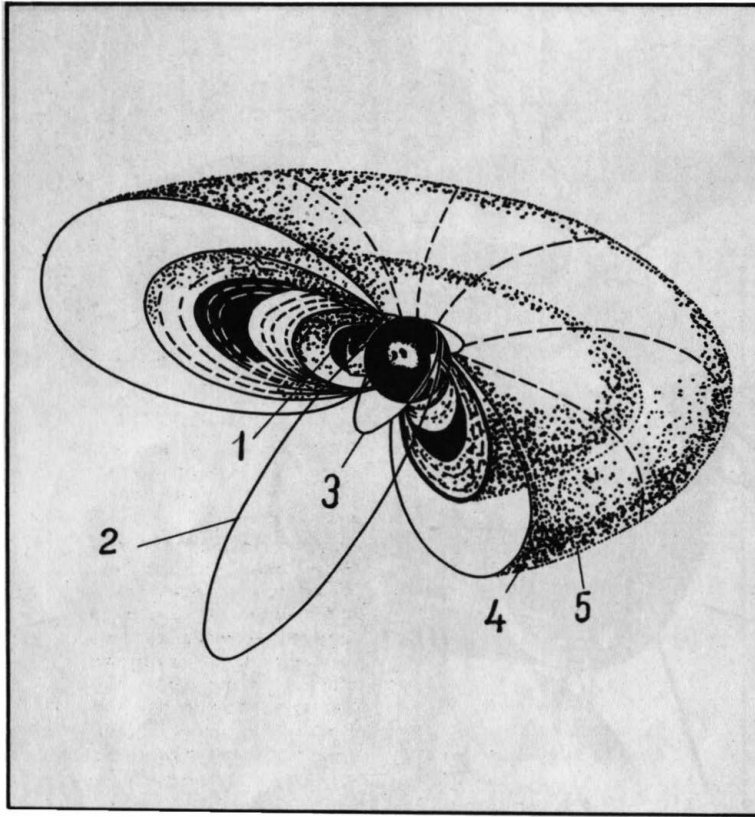
На командном пункте координационно - вычислительного центра.

Радиотелескоп.



Максимум зоны высокой интенсивности по данным первой и второй космических ракет.

Радивсионный пояс Земли состоит из двух зон — внутренней и внешней. Они отличаются по пространственному расположению и по составу и энергии заряженных частиц. Внутренняя зона начинается в западном полушарии примерно с 600 км над уровнем моря и в восточном — с 1600 км и охватывает Землю лоясом шириною около 10 000 км вдоль магнитного экватора. Внешняя зона начинается в районе магнитного экватора с высоты 10 000 км и простирается до 50 000 км от поверхности Земли. По мере удаления от плоскости магнитного экватора зона приближается к Земле и в интервале геомагнитных широт от 55° до 70° подходит к поверхности Земли на расстояние 300—500 км. Внешняя зона охватывает всю Землю, оставляя свободными только полюса.



Спутники космической системы «Электрон»
Станция «Электрон-2».

Станция «Электрон-1».

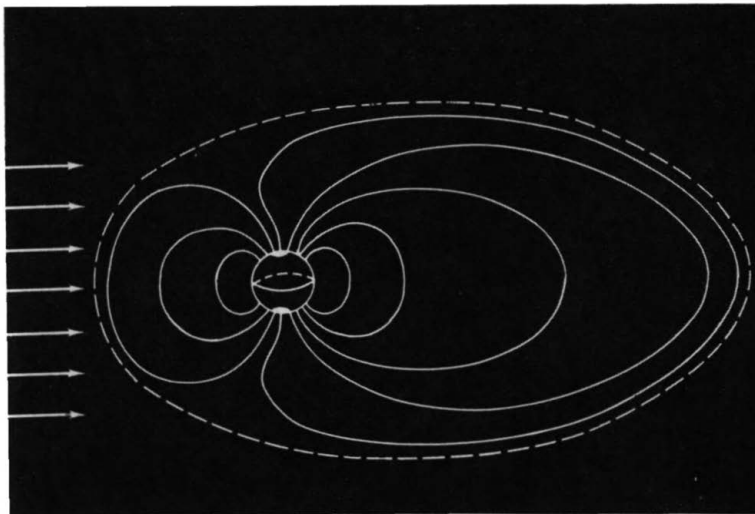
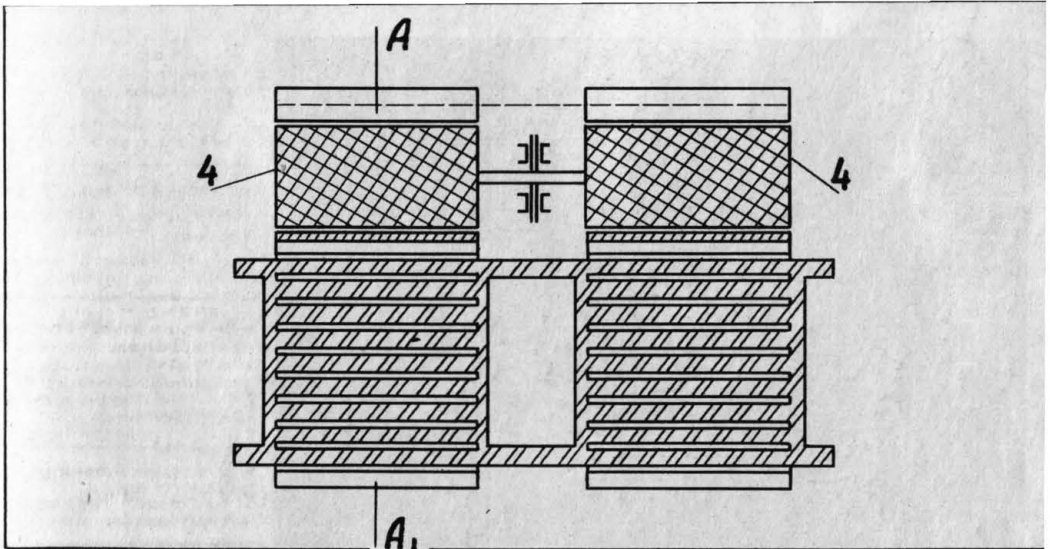
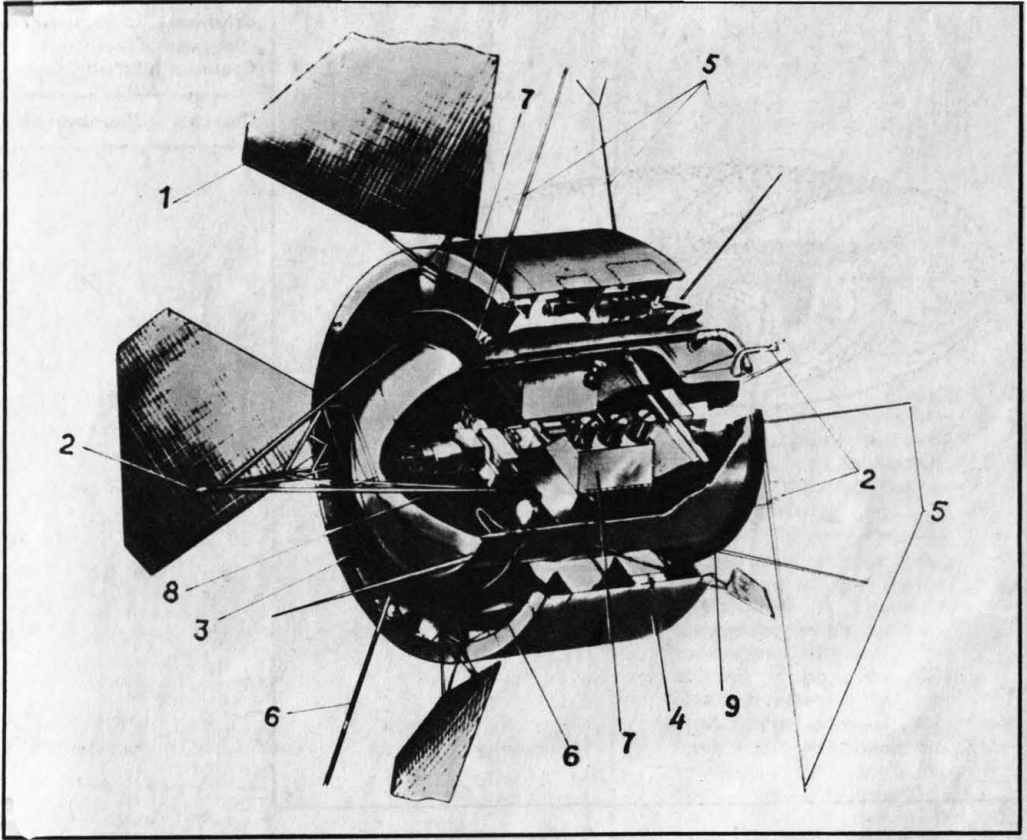
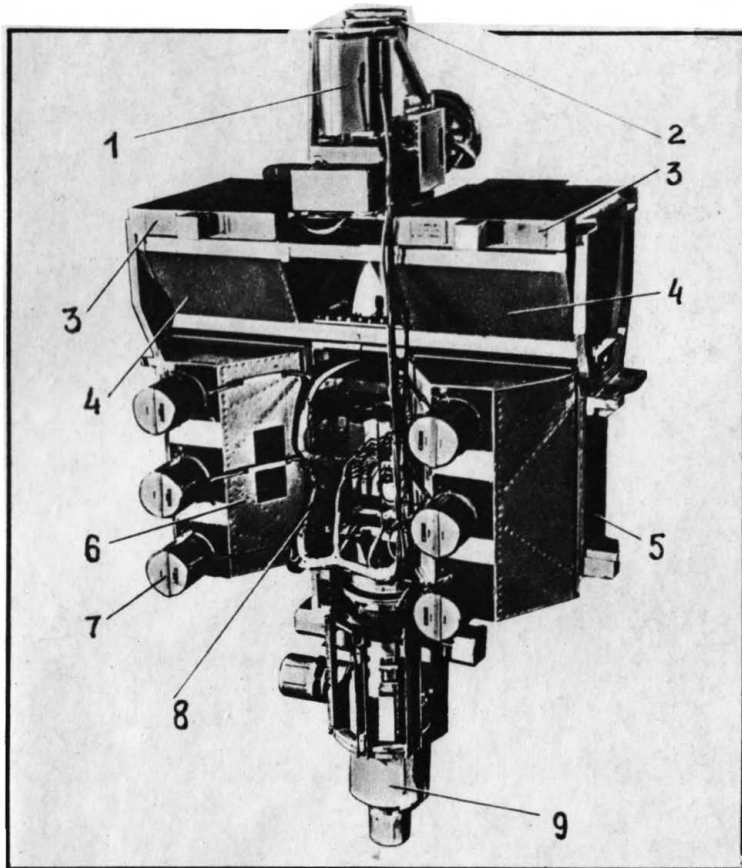


Схема радиационного пояса Земли.

1 — внутренняя зона радиационного пояса;
2 — орбита станции «Электрон-2»;
3 — орбита станции «Электрон-1»;
4 — внешняя зона радиационного пояса.
5 — пояс заряженных частиц малых энергий.





Космическая научная станция «Протон-1».

1 — панели солнечной энергетической установки;
 2 — датчики индикации положения осей станции в пространстве;
 3 — герметический корпус;
 4 — внешняя оболочка;
 5 — антенны телеметрического радиокomандного комплекса и комплекса внешнетраекторных измерений;

6 — химические источники тока;
 7 — блок научной аппаратуры;
 8 — панели бортового электrorадиооборудования;
 9 — выносной радиационный теплообменник;

Блок научной аппаратуры космической станции «Протон».

1 — спектрометр частиц космических лучей умеренных энергий;
 2 — гамма-телескоп;
 3—8 — комплекс аппаратуры ионизационного калориметра;
 9 — прибор для регистрации электронов высокой энергии.

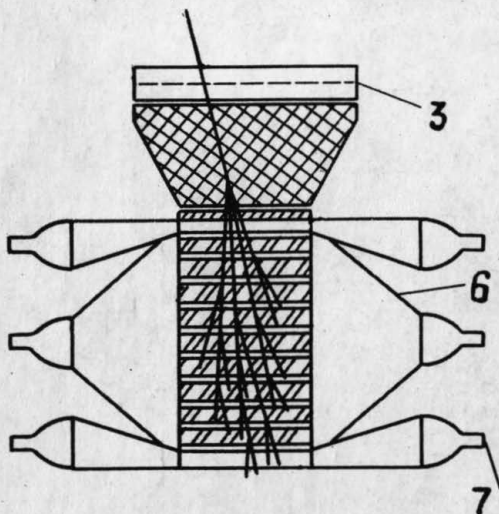


Схема комплекса аппаратуры ионизационного калориметра.

„АВТОМАТИЧЕСКИЕ РАЗВЕДЧИКИ КОСМОСА“

Редактор *В. Поляков.*

Художественный редактор *А. Мухина.*

Технический редактор *Н. Ванagas.*

Сдано в набор 1/11-67 г. Подписано в печать 26/V-67 г.
Бумага 70×90^{1/16}. Объем 2,25 печ. л., 2,63 усл. л., 3,37
уч.-изд. л. Тираж 50 000 экз. Зак. 782. Изд. № 753. Цена
22 коп.

Издательство Агентства печати Новости.

Калнинский полиграфкомбинат Главполиграфпрома Ко-
митета по печати при Совете Министров СССР, г. Кали-
нин, проспект Ленина, 5.