



НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

Серия «Космонавтика, астрономия»
№ 1, 1977 г.
Издается ежемесячно с 1971 г.

20 ЛЕТ

КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ

СБОРНИК СТАТЕЙ
ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ» Москва 1977

6Т6(09)

Д22

20 лет космической эры. Сборник статей. М., «Знание», 1977.

64 с. (Новое в жизни, науке, технике. Серия «Космонавтика, астрономия», 10. Издается ежемесячно с 1971 г.)

Перед загл авт.: Б. В. Раушенбах, М. К. Тихонравов, А. И. Нестеренко, Р. З. Сагдеев.

Сборник посвящен 20-летию выдающегося события в истории человечества — запуску 4 октября 1957 г. в Советском Союзе первого в мире искусственного спутника Земли. В брошюре вошли статьи, в которых освещаются некоторые страницы из истории создания спутника, дается его подробное описание, отмечается значение этого знаменательного события для дальнейшего развития науки и техники.

Сборник рассчитан на широкий круг читателей.

31901 6Т6(09)

© Издательство «Знание», 1977 г.

Д22

От составителя

Б. В. Раушенбах. Первый спутник и развитие ракетно-космической техники

М. К. Тихонравов | О первом искусственном спутнике Земли

А. И. Нестеренко. Из истории создания первых искусственных спутников Земли

Р. З. Сагдеев. Научное значение космических исследований

От составителя

4 октября 1957 г. был дан старт космической ракете, и впервые в истории человечества на околоземной орбите появилось новое небесное тело, созданное руками человека, — первый искусственный спутник Земли.

Это было эпохальное событие, восторженно встреченное во всех странах мира. Русское слово «спутник» сразу же стало интернациональным.

Прошло 20 лет, и мы теперь можем сказать, что годы космической эры были величайшей (по существу, фантастической) эпопеей человеческого дерзновения, небывалой по размаху и неповторимости по своим научно-техническим результатам.

Вот краткий их перечень. Первый искусственный спутник Земли, первый полет к Луне, передача на Землю фотографии ее невидимой стороны, мягкая посадка автоматической станции на поверхность Луны, искусственные спутники Луны, полеты автоматических станций к Венере и Марсу, мягкая посадка космического аппарата на поверхность Венеры и передача уникальных фотографий места посадки, искусственные спутники Марса и Венеры, пролеты космических аппаратов около Юпитера, первый космический полет человека по орбите вокруг Земли, выход человека в открытый космос из космического корабля, стыковка пилотируемых кораблей, создание и работа пилотируемой орбитальной станции, облет Луны человеком и первая высадка человека на поверхность Луны, доставка лунного грунта на Землю автоматическими средствами, создание «Лунохода» — первого автоматического самоходного аппарата для передвижения на поверхности Луны, создание и работа других космических средств, также используемых в интересах народного хозяйства... За эти годы был осуществлен ряд космических проектов в рамках международного сотрудничества. Из них в первую очередь следует отметить как наиболее выдающийся — совместный полет советских и американских космонавтов на кораблях «Союз» и «Аполлон». — И все эти достижения были бы невозможны без выхода на орбиту первого искусственного спутника Земли. Он был запущен в нашей стране и разработан (как и ракета-носитель, выведшая его на орбиту) под руководством выдающегося конструктора нашего времени — Сергея

Павловича Королева. Вместе с Главным конструктором работала замечательная когорта других главных конструкторов, каждый из которых возглавлял одно из направлений ракетно-космической техники, а все вместе входили в знаменательный Совет главных конструкторов.

При разработке проекта запуска первого искусственного спутника Земли перед нашими учеными возникла задача расчета баллистических траекторий ракет-носителей и искусственных спутников Земли. В результате классическая небесная механика дополнилась новой страницей — механикой космических полетов. Выдающийся вклад в развитие этого направления внесли академик М. В. Келдыш и его ученики: Д. Е. Охочимский, Г. М. Энеев, В. А. Егоров, М. Л. Лидов и другие.

М. В. Келдыш также осуществлял и общее руководство по проведению научных исследований в космическом пространстве. Среди ученых, занимавшихся разработкой программы научных исследований с помощью первых искусственных спутников Земли, следует назвать С. Н. Вернова, К. И. Грингауза, Ш. Ш. Долгинова, В. Г. Истомина, Ю. И. Логачева, В. Г. Курта, С. Л. Мандельштама, Л. В. Курносову, И. С. Шкловского, В. И. Красовского и других. Именно им принадлежит огромная заслуга во многих приоритетах, прославивших нашу космическую науку.

20-летие со дня запуска первого искусственного спутника Земли все человечество отмечает в знаменательные дни празднования 60-й годовщины образования первого в мире социалистического государства. Именно благодаря нашему социалистическому строю, огромной поддержке Коммунистической партии Советского Союза космические исследования приобрели в нашей стране такое многостороннее и бурное развитие.

На протяжении многих веков человечество мечтало разорвать оковы земного притяжения и проникнуть в космическое пространство. Эта мечта в трудах нашего великого соотечественника К. Э. Циолковского превратилась в научную теорию. Опираясь на работы К. Э. Циолковского, после Великой Октябрьской социалистической революции в нашей стране ученые и инженеры начали работать над практическим осуществлением великих идей пионера космонавтики.

Когда в космосе появился первый искусственный спутник Земли, когда его позывные впервые зазвучали над всей нашей планетой, когда гордое слово «спутник» стало символом торжества советского народа, трудно представить, какой сложной была дорога тех, кто, пройдя через все испытания, открыл человечеству эру космических полетов.

Настоящий сборник, посвященный 20-летию космической эры, открывается статьей специалиста в области ракетно-космической техники члена-корреспондента АН СССР Б. В. Раушенбаха. В статье прослеживается тот сложный и многогранный путь, который пришлось пройти советским инженерам и ученым от первых жидкостных ракет до первой многоступенчатой ракеты-носителя.

Вторая статья сборника написана одним из пионеров отечественной и мировой ракетной техники М. К. Тихонравовым. С именем М. К. Тихонравова связаны многие выдающиеся страницы истории космонавтики. Лично знавший К. Э. Циолковского, он глубоко проникся его идеями, посвятив всю свою жизнь их практическому осуществлению.

В октябре 1973 г. М. К. Тихонравов принял участие в XXIV Международном астронавтическом конгрессе, состоявшемся в Баку. На этом конгрессе он сделал доклад об истории создания первого в мире искусственного спутника Земли. Этот доклад и положен в основу статьи нашего сборника.

В следующей статье сборника А. И. Нестеренко описывает интересные подробности, связанные с деятельностью М. К. Тихонравова и руководимой им группы ученых, разрабатывавших еще в 40-х годах проект искусственного спутника Земли. Завершает сборник статья крупнейшего специалиста в области физики плазмы академика Р. З. Сагдеева, в которой рассказывается о научных достижениях в исследовании космического пространства.

Ф. Энгельс писал, что наука движется вперед со скоростью, пропорциональной массе знаний, унаследованных ею от предшествующего поколения. Мы, современники начала космической эры, оставляем нашим потомкам такой запас знаний, равного которому не знало ни одно поколение за всю предшествующую историю человечества. И пусть эти знания послужат делу мира и прогресса нашей цивилизации!

Г. А. Скуридин,
доктор физико-математических наук,
лауреат Ленинской премии

Первый спутник и развитие ракетно-космической техники

Б. В. Раушенбах, член-корреспондент АН СССР

Запуск первого искусственного спутника Земли 4 октября 1957 г. открыл космическую эру в истории человечества. Если обратиться к первому спутнику, то в глаза бросается его предельная конструктивная простота, несложность установленного на нем радиопередатчика, явное стремление конструкторов обойтись самым минимумом необходимых и достаточно очевидных условий, способных дать возможность радиопередатчику проработать в течение некоторого, сравнительно незначительного по нынешним

представлениям, времени. Все это вместе взятое оправдывает его не официальное название — «Простейший спутник».

Парадоксально, но эта простейшая конструкция совершенно закономерно стала символом новой эры, связанной с огромными научными и техническими достижениями человечества в одной из сложнейших областей человеческой практики. Первый спутник ценен не столько сам по себе, сколько тем, что представляет собой узловой пункт развития техники: с одной стороны, он символизирует завершение трудного пути совершенствования ракет, ставших, наконец, космическими, а с другой — является началом зарождавшейся в конце 50-х годов всей космической техники. Именно это обстоятельство требует хотя бы краткого рассмотрения того пути развития советской ракетной техники, который привел к созданию ракеты-носителя, способной разогнаться до первой космической скорости, а следовательно, вывести на орбиту Земли первый спутник. Требуется и хотя бы краткое описание развития собственно космической техники, последовавшее за созданием носителей космического класса.

Сразу после окончания Великой Отечественной войны в связи с началом «холодной войны», начатой против Советского Союза блоком империалистических государств, перед нашей страной возникла настоятельная необходимость дать достойный ответ политическому шантажу, развязанному США, которые обладали в то время монополией на атомную бомбу. Эта сложнейшая задача имела два технических аспекта — создание атомной, а затем водородной бомбы и создание средств доставки ядерного оружия к цели. Оружие могло доставляться различными средствами, и одним из них стала боевая ракета.

В 1945 — 1946 гг. в СССР были возобновлены прерванные войной работы по созданию баллистических ракет с жидкостными ракетными двигателями.

Неправильно было бы представлять ракету: в виде некоторой конструкции, заполненной топливом и снабженной жидкостным ракетным двигателем. Если понимать термин «ракета» в широком смысле слова, то это означает сложную совокупность взаимодействующих систем, среди которых достаточно назвать жидкостные двигатели со своей автоматикой, высокоточную, построенную на базе прецизионной гироскопии и бортовых вычислительных машин систему автономного управления полетов, радиосредства, собственно ракету с системой подачи компонентов топлива в двигателях, системой разделения ступеней и другими системами и, наконец, поражающую своей масштабностью и сложностью систему наземного оборудования, обеспечивающего подготовку ракеты к запуску и сам ее запуск. Уже первая ракета, разрабатываемая в СССР сразу после окончания войны, содержала с той или иной степенью полноты всю перечисленную совокупность тесно увязанных и согласованно действующих систем.

Очевидно, что создание ракеты было возможно только путем привлечения ряда специализированных организаций, и с этой целью уже в 1946 г. были назначены главные конструкторы жидкостных ракетных двигателей, гироскопических приборов, системы управления, радиосистемы и наземного комплекса сооружений. Главным конструктором ракет, ответственным и за увязку работы всех систем, обеспечивающих запуск ракеты и управление ее полетом, был назначен С. П. Королев, 70-летие которого отмечалось в 1977 году.

Первая, советская баллистическая ракета совершила свой испытательный полет в 1948 г. Уже эта дата показывает, с каким напряжением работали все коллективы, привлеченные к участию в создании отечественной ракетной техники. Ведь аналогичные старты в США были осуществлены несколько лет позже, и это несмотря на то, что в США к работам над баллистическими ракетами были привлечены немецкие специалисты, разрабатывавшие во время войны ракету А-4 (Фау-2), которая была применена для обстрела Лондона.

По своей конструктивной схеме первая советская баллистическая ракета соответствовала представлениям, сложившимся у ракетчиков еще в довоенное время.

Одновременно с созданием первого советского ракетного комплекса в нашей стране велись интенсивные исследования путей существенного улучшения летных характеристик ракет (прежде всего, увеличения скорости, до которой могла быть разогнана ракета к моменту израсходования рабочего топлива). Эти исследования охватывали широкий круг проблем — и создание более экономичных и эффективных ракетных двигателей, и выбор оптимальных траекторий подъема, и улучшение конструктивных схем ракет.

Что касается ракеты, то здесь наиболее важными усовершенствованиями, носящими принципиальный характер, оказались использование отделяемой головной части ракеты и переход к несущей схеме топливного бака. Первое позволяет конструировать ракеты на основании тех нагрузок, которые ею испытываются на восходящем участке траектории полета (они гораздо меньше нагрузок на нисходящем участке); второе дает возможность включить в силовую схему ракеты топливные баки. Оба этих достижения вели к уменьшению массы пустой (без топлива) ракеты и к возможности соответственно увеличить массу используемого топлива: В результате этих и ряда других достижений, к началу 50-х годов была создана первая советская ракета стратегического назначения, один из вариантов которой экспонируется сейчас у входа в Музей Вооруженных Сил СССР в Москве.

Следующей принципиальной важной задачей стала разработка в нашей стране баллистической ракеты межконтинентальной дальности полета. Здесь потребовались новые усилия как в области создания более мощных и более экономичных двигателей, так и в области дальнейшего совершенствования конструкции ракет (в частности, пришлось отказаться от одноступенчатой схемы ракеты). Конечно, достижение

межконтинентальной дальности требовало также существенного прогресса в разработке систем управления полетом.

Самоотверженная работа многих научных и конструкторских коллективов, рабочих и инженеров промышленности нашей страны привела к успешному решению этой задачи. Уже в августе 1957 г. из сообщения ТАСС стало известно о запуске межконтинентальной ракеты в СССР. Это было выдающимся достижением — межконтинентальная дальность полета ракеты была достигнута впервые в мире.

Еще до полета ракеты на межконтинентальную дальность ее конструкторам стало ясно, что путем достаточного сокращения массы полезного груза ракеты¹ можно получить скорость полета в конце активного участка, несколько превышающую первую космическую скорость (~7,9 км/с), а это говорило о возможности вывода с ее помощью искусственного спутника на орбиту вокруг Земли.

¹ Т. е. массы того изделия, которым определяется ее целевое назначение (например, выводимого на орбиту космического аппарата).

Работы по созданию советской космической ракеты шли быстрее, чем изготовление и отладка комплекса научной аппаратуры для спутника-лаборатории, и поэтому было решено разработать и запустить тот спутник, который получил после запуска наименование — Первый советский искусственный спутник Земли. Ведь сам факт достижения первой космической скорости был бы эпохальным явлением, открывающим космическую эру, независимо от количества научной аппаратуры, установленной на первом спутнике. Получение научной информации о космическом пространстве было на этом этапе основной задачей. Сначала надо было отработать космическую ракету-носитель и программу вывода спутника на орбиту, создать и отладить сложную наземную службу траекторных измерений и прогноза движения спутника, создать станции связи с летящим космическим аппаратом и т. д.

4 октября 1957 г., когда через полтора месяца после успешных испытаний межконтинентальной баллистической ракеты на околоземную орбиту был выведен первый искусственный спутник Земли, весь мир воспринял это как триумф всего человечества. Это было действительно эпохальное свершение, это был действительно триумф, триумф создателей первой космической ракеты-носителя. Необходимо еще раз подчеркнуть то, что иногда незаслуженно забывают — первый спутник есть прежде всего материализованный символ величайшего достижения ракетной техники — создания ракеты космического класса!

Чтобы увеличить массу полезного груза, выводимого на околоземные космические траектории, и сделать возможным следующий качественный скачок в развитии отечественной космонавтики — достижение второй космической скорости, в 1958 — 1959 гг. в СССР на базе первой ракеты-носителя был разработан ее трехступенчатый вариант, позволивший поднять в космос первого человека и открывший путь к Луне.

В 1961 г. был создан четырехступенчатый вариант ракеты-носителя, который не только позволил еще более увеличить массу полезного груза, но и обладал чрезвычайно ценным качеством: выведенная на орбиту искусственного спутника Земли четвертая ступень летела некоторое время с неработающим двигателем, который запускался в тот момент, когда она приходила в точку, наиболее выгодную для разгона к Луне, Марсу или Венере. Это потребовало создания ракетного двигателя, способного запускаться в пустоте и невесомости, усложнило систему управления, но зато чрезвычайно расширило возможности дальних космических перелетов, поскольку изменяющая свое положение (вследствие движения планет) наиболее выгодная точка начала разгона до второй космической скорости могла выбираться свободно — точка начала разгона перестала быть «привязанной» к территории космодрома. Это привело к тому, что масса стартующих в направлении к Марсу и Венере советских космических аппаратов стала превышать 1000 кг.

Позже в Советском Союзе были разработаны еще более совершенные ракеты-носители космического класса, но главные достижения первых десяти лет космической эры, которые навсегда вошли в историю ракетно-космической техники как основополагающие, связаны с серией ракет-носителей, основанных на первой межконтинентальной баллистической ракете 1957 г. Появление ракет космического класса сделало возможным разработку космических летательных аппаратов самых различных типов, и вся эта поражающая разнообразием серия аппаратов начинается с «простейшего» спутника 1957 г.

Не следует думать, что до 1957 г. в СССР не производилось прямого исследования космического пространства. Первый подъем научной аппаратуры на высоту порядка 100 км состоялся еще в 1949 г. с помощью первой советской баллистической ракеты, соответствующим образом переделанной для данной задачи.

За запуском этой ракеты следовали запуски других ракет, названных «академическими». С их помощью изучались состав верхней атмосферы, физические процессы в ионосфере, первичное космическое излучение, спектр Солнца, на них поднимались подопытные животные. Высота, достигаемая ракетами, увеличивалась и в конечном итоге превысила 500 км.

Таким образом, еще до космической эры в нашей стране уже был накоплен немалый опыт прямых космических исследований, однако создание ракеты-носителя космического класса открывало путь для качественно новых достижений. Ведь до 4 октября 1957 г. все полеты ракет в космос были кратковременными, это были вертикальные запуски, позволявшие производить зондирование космоса практически над точкой старта ракеты и только в течение времени подъема и спуска научной аппаратуры. Достижение первой космической скорости делало возможными сколь угодно длительные полеты над всей поверхностью Земли, оно как бы

«освобождало» искусственный спутник Земли от прямой связи от старта ракеты-носителя. Именно это обстоятельство явилось качественным скачком в исследовании и использовании околоземного космического пространства, не говоря уже о том, что запуск первого искусственного спутника Земли открывал принципиальную возможность прямого изучения планет Солнечной системы.

Вскоре за первым советским спутником последовали второй и третий со все более сложной программой научных исследований².

² Рассмотрению результатов научных исследований с помощью искусственных спутников Земли посвящена специальная статья сборника, здесь же рассмотрим зарождение и развитие советской космической техники.

Даже самые простые типы космических аппаратов потребовали для своего создания решения ряда задач, до этого не встречавшихся в науке и технике. Назовем лишь некоторые из них:

1. Выбор траекторий движения космических аппаратов и прогноз их эволюции. Для этого следовало создать новые главы небесной механики, которая стала превращаться из «чистой» науки в прикладную.

2. Условия космического вакуума и невесомости также потребовали разрешения конструкторами ряда новых задач. Дело оказалось не только в надежной герметизации космических аппаратов, но и, как потом выяснилось, в том, что многие механические подвижные сочленения работают в космическом вакууме совсем не так, как в земных условиях, а невесомость практически исключает тепловую конвекцию в среде, заполняющей герметизированные объемы, резко изменяя привычное протекание процессов теплопередачи.

3. Обеспечение теплового режима установленной на борту аппаратуры, помимо сказанного, усложнялось еще и тем, что в наружном теплообмене огромную роль играют тепловое излучение в космос и нагрев аппаратуры Солнцем, т. е. механизмы, которыми обычно пренебрегают в земной практике. Это потребовало разработки как новых методов расчета этих процессов, так и создания новых технических устройств для регулирования температуры внутри космического аппарата.

4. Энергоснабжение космических аппаратов потребовало создания устройств для прямого преобразования солнечной радиации в электроэнергию — солнечных батарей.

5. Возникла проблема сверхдальней радиосвязи. Ведь на Земле приемная и передающая радиостанции не могут отстоять друг от друга на расстояние, превышающее 20 тыс. км (половина длины экватора), в то время как в космических исследованиях (правда, не в спутниковых) используются расстояния в десятки и сотни миллионов километров.

6. Совершенно необычный характер получила проблема надежности аппаратуры. Сложность (а подчас и невозможность) ремонта аппаратуры в космосе потребовала приборов самой высокой надежности, поскольку обычные земные методы ее обеспечения, основанные на массовом изготовлении однотипных изделий, были принципиально непригодны в силу уникальности космических экспериментов. Пришлось искать новые подходы и новые принципы дублирования и резервирования, которые соответствовали бы новым условиям.

Решение перечисленных и многих других задач, возникавших перед советской космонавтикой, потребовало самой тесной кооперации работ конструкторских, производственных и исследовательских организаций. В результате их совместных работ стала рождаться новая область техники — космическая, обладающая рядом специфических черт, отличающих ее от других (например, от авиационной).

После создания первых искусственных спутников Земли дальнейшее развитие космической техники пошло по трем направлениям: создание спутников различного назначения и их совершенствование, создание автоматических космических аппаратов межпланетного класса и создание пилотируемых космических кораблей и станций.

Как уже говорилось выше, создание советской трехступенчатой ракеты-носителя давало возможность разгона космического аппарата массой в несколько сот килограммов до второй космической скорости. В начале 1959 г. в СССР был осуществлен запуск первого космического аппарата в сторону Луны — «Луна-1», и тем самым был сделан новый принципиальный шаг в развитии ракетно-космической техники, поскольку достижение второй космической скорости открывало путь не только к Луне, но и к ближайшим планетам — Марсу и Венере.

В сентябре 1959 г. космический аппарат «Луна-2» доставил на поверхность Луны вымпел с изображением Государственного герба Советского Союза, были произведены первые измерения магнитного поля Луны и зарегистрирован ряд параметров космической среды на трассе перелета Земля — Луна.

4 октября 1959 г., точно через два года после запуска первого спутника, стартовала советская автоматическая межпланетная станция «Луна-3», главной задачей которой было фотографирование обратной стороны Луны. Это был уникальный для своего времени научный эксперимент, положивший начало качественно новому этапу в конструировании космических аппаратов.

Все созданные к тому времени советские и американские космические аппараты были неуправляемы и после отделения их ракеты-носителя совершали медленное и неопределенное вращение относительно своего центра масс. Это исключало возможность многих научных экспериментов, в частности, делало практически невыполнимым фотографирование Луны. Единственным способом преодоления описанного недостатка существовавших тогда космических аппаратов была теоретическая разработка, а затем и создание систем управления ориентацией космических аппаратов.

Подобное управление было необходимо для важных астрономических космических исследований, наблюдения поверхности Земли из космоса, ориентации остронаправленных антенн, осуществления маневрирования космических аппаратов, в частности их возвращения на Землю, и т. д. Этот далеко не полный перечень задач, требующих управления ориентацией, показывает, что без решения возникшей проблемы было немислимо дальнейшее развитие космонавтики. Именно поэтому автоматическая межпланетная станция «Луна-3» явилась этапной конструкцией в истории развития космонавтики — это был первый космический аппарат, обладавший системой управления ориентацией.

Дальнейшее развитие советской программы межпланетных полетов стимулировалось созданием упомянутой выше четырехступенчатой ракеты-носителя, при помощи которой в 1961 — 1962 г. начались запуски аппаратов «Венера» и «Марс». В частности, в период 1964 — 1965 гг. на межпланетные трассы вышли близкие им по конструкции космические аппараты «Зонд», третий из которых, пролетев вблизи Луны, передал на Землю высококачественные изображения обратной стороны Луны, включая области, недоснятые «Луной-3». В начале 1966 г. межпланетной станцией «Венера-3» был доставлен на поверхность Венеры вымпел с изображением Герба СССР, а в 1967 г. научная аппаратура станции «Венера-4» провела первые измерения (температуры, давления) непосредственно в атмосфере Венеры.

Параллельно с разработкой перечисленных космических экспериментов в СССР были начаты работы по созданию аппаратов, способных осуществить мягкую посадку на поверхность Луны. Первая такая посадка была осуществлена («Луна-9») в феврале 1966 г. Эти новые направления в космической технике потребовали решения новых задач — надо было иметь в составе межпланетных станций системы коррекции траектории, мягкой посадки и спуска на безатмосферное небесное тело (Луна) и на планету, имеющую необычайно плотную и горячую атмосферу (Венера), и т. д. В дальнейшем на основе еще более мощной советской ракеты-носителя оказалось возможным проведение таких уникальных экспериментов, как использование передвижной лаборатории — «Лунохода» — на поверхности Луны, доставка лунного грунта на Землю, передача телевизионных изображений с поверхности Венеры, получение данных об условиях на поверхности этих небесных тел. Каждый такой новый шаг требовал соответствующих исследований и конструкторских решений.

Совершенно особым направлением в развитии отечественной космической техники было осуществление программы пилотируемых полетов. Переход от автоматических аппаратов к космическим кораблям потребовал решения целой совокупности задач, в частности, задачи возвращения спускаемого аппарата на Землю. Действительно, если автоматы, как правило, не нуждались в возвращении на Землю, то при пилотируемых полетах это требование становилось обязательным. При спуске в атмосфере Земли надо было обеспечить безопасность (т. е. теплозащиту) спускаемого аппарата и ограничение соответствующих перегрузок, разработать методы оказания помощи космонавту в различных нештатных ситуациях, возможных в течение полета космического корабля, начиная со старта ракеты-носителя и вплоть до касания поверхности Земли; предусмотреть возможность спуска на скальные грунты и воду и т. д.

Помимо всего этого, надо было решить проблему обеспечения жизнедеятельности экипажа (регенерация воздуха, питание и т. д.), изучить влияние специфики космического полета на человеческий организм (в первую очередь, невесомости), разработать системы ручного управления и увеличить надежность наиболее ответственных автоматических систем корабля. Решение перечисленных задач обеспечило появление нового направления в бурно развивавшейся ракетно-космической технике — техники пилотируемых полетов.

Отработка пилотируемого корабля «Восток» началась с весны 1960 г., когда на орбиту был выведен ряд кораблей-спутников, последние из которых были точными копиями будущего «Востока» и имели на борту животных в качестве «пассажиров». Менее чем за год было запущено пять кораблей-спутников, что позволило провести надежную отработку и испытания всех бортовых систем. Само собой разумеется, что одновременно с отработкой техники пилотируемых полетов была заблаговременно начата подготовка космонавтов.

12 апреля 1961 г. стартом «Востока» с Юрием Алексеевичем Гагариным человечество совершило второй эпохальный шаг в освоении космоса — в космос проник не созданный людьми автоматический аппарат, а сам человек.

Вслед за полетом Ю. А. Гагарина последовали другие пилотируемые полеты, после «Востоков» стартовали «Восходы», а затем и «Союзы». После отработки процессов сближения и стыковки советская космическая техника пополнилась принципиально новым типом пилотируемых аппаратов — долговременными орбитальными станциями «Салют», предусматривающими смену экипажей. Это стало новым гигантским скачком в развитии техники пилотируемых полетов.

Здесь дано лишь краткое описание событий, наиболее тесно связанных с запуском первого искусственного спутника Земли в 1957 г. После его запуска произошло чрезвычайно быстрое, «взрывоподобное», развитие космической техники. Всего за несколько лет после запуска «простейшего спутника» появляются сложные советские автоматически действующие спутники научного и народнохозяйственного назначения, достигается вторая космическая скорость, начинается прямое изучение планет, стартует в космос человек. Почти наглядно видно, как накопленный за многие годы советской страной научно-технический потенциал за короткий срок рождает сложную и разнообразную космическую технику. И еще раз уместно подчеркнуть, что это «взрывоподобное» развитие было начато в результате создания в СССР первой в мире ракеты-носителя

О первом искусственном спутнике Земли³

³ Доклад, представленный автором на XXIV Международном астронавтическом конгрессе, состоявшемся в 1973 г. в Баку.

М. К. Тихонравов доктор технических наук

К. Э. Циолковский, теоретически исследуя проблему полета в межпланетном пространстве, предсказывал появление искусственных спутников Земли, но при его жизни человечество еще не было подготовлено к запуску таких спутников.

В результате успешного выполнения нескольких пятилетних планов в СССР была создана высокоразвитая тяжелая индустрия и на ее базе среди различных новых отраслей промышленности — авиационная и ракетная техника. Наличие в Советском Союзе выдающихся инженеров и первоклассных ученых в области механики, физики, радиотехники и электроники позволило в течение ряда лет выполнить исследовательские и опытные работы по созданию средств ракетной техники, первых искусственных спутников Земли и других космических летательных аппаратов.

Инженерно-научный и производственный коллектив, возглавляемый Главным конструктором С. П. Королевым, в творческом содружестве с Академией наук СССР, другими конструкторскими бюро, научными учреждениями и заводами, в соответствии с программой

Международного геофизического года, в результате напряженной работы создал ряд искусственных спутников Земли. Из них первый был отправлен в полет в космическое пространство, окружающее Землю, 4 октября 1957 г. Эта дата стала знаменательной для всего человечества.

К 1953 г. ракетная техника в СССР достигла такого развития, что стало возможным говорить о создании искусственного спутника Земли.

30 января 1956 г. было принято решение о создании в 1957 — 1958 гг. искусственного спутника Земли. Срок пробного пуска назначался на 1957 г.

Нужно заметить, что в 1955 — 1956 гг. в Академии наук академик М. В. Келдыш созвал ряд совещаний ученых разных специальностей, так или иначе заинтересованных в космических исследованиях. Каждое совещание было посвящено одному какому-либо вопросу: космическим лучам, ионосфере, магнитному полю Земли и т. д.

На повестке дня стоял один основной вопрос: что может дать искусственный спутник Земли (ИСЗ) для данной области науки, какие приборы нужно поставить на него и, кто из ученых возьмется сконструировать их.

Следует подчеркнуть, что тогда уровень знаний о физических условиях в верхней атмосфере и в околоземном космическом пространстве был совершенно недостаточным. Последующие открытия таких новых явлений, как радиационные пояса Земли, магнитосфера и т. д., подтверждают это. До полета первых ИСЗ данные о плотности атмосферы на высоте нескольких сот километров по разным источникам существенно различались между собой, не было достаточно полных сведений о структуре ионосферы, условиях прохождения через нее радиосигналов, о степени метеоритной опасности.

Отсутствовали какие-либо экспериментальные данные по вопросам герметизации спутника, по обеспечению теплового режима спутника в космическом пространстве, энергопитанию его аппаратуры в течение длительного времени, управлению в полете с учетом погрешностей выведения, эволюции его орбиты и т. д.

Практическое, инженерное решение указанных выше проблем явилось основным содержанием проектирования первых космических летательных аппаратов. К этому следует добавить необходимость отработки вопросов точного выведения спутника или космического аппарата на заданную орбиту, методов работы наземного командно-измерительного комплекса и других средств.

С ноября 1956 г. велись исследования и расчеты по созданию корабля-спутника для полета человека, исследования по созданию спутника-станции и эскизные проработки для полета автоматического космического аппарата к Луне.

В том же году начались практические работы по первому спутнику (так называемому «Простейшему спутнику» — ПС).

Сам факт запуска первого в мире искусственного спутника Земли должен был явиться мощным стимулом для форсирования работ по исследованию и освоению космического пространства. И действительно, ПС послужил толчком для реализации ряда космических программ в нашей стране и за рубежом.

В других странах ученые тоже работали над проблемой искусственного спутника Земли. Но возникшие трудности не позволили им решить эту проблему в 1957 г.

В основу проектирования ПС были положены следующие предпосылки.

Он должен быть максимально простым и надежным. Вместе с тем технические решения по таким вопросам, как обеспечение герметизации, терморегулирования и т. д., должны соответствовать решениям, заложенным в проекте последующих, более совершенных космических аппаратов.

Корпус ПС должен иметь сферическую форму с целью наиболее точного определения плотности атмосферы по эволюции орбиты при неориентированном полете ПС.

Он должен быть снабжен непрерывно работающим, не менее чем в двух диапазонах частот, радиопередающим устройством достаточно большой выходной мощности для возможности приема его радиосигналов на значительных расстояниях большим числом наземных станций и радиолюбителями с целью получения статистических данных о распространении радиоволн через ионосферу в различных условиях.

Антенная система ПС должна обладать диаграммой направленности, максимально приближающейся к круговой, с тем чтобы исключить влияние вращения ПС на интенсивность принимаемых радиосигналов.

Для отработки методов измерения орбиты по пассивному отражению сигналов радиолокаторов на корпусе ракеты-носителя предусматривалось установить уголкового отражатели. Кроме того, на ракете-носителе предполагали поместить аппаратуру для регистрации космических лучей.

Энергопитание бортовой аппаратуры ПС должно осуществляться от электрохимических источников тока с высокой удельной энергоемкостью, обеспечивающих длительность работы аппаратуры не менее двух-трех недель.

Для контроля давления и температуры на борту ПС нужно поместить датчики, изменяющие вид радиосигналов при падении давления и выходе температуры за пределы установленного диапазона.

Размещение ПС на ракете-носителе и схема его отделения должны были обеспечить безотказность отделения и раскрытия антенн.

Радиопередающее устройство ПС должно было обеспечить: мощность излучения 1 Вт, работу на частотах около 20 и 40 МГц, передачу показаний двух сигнальных датчиков (давления и температуры внутри спутника) путем изменения соотношений длительности посылок радиопередатчиков и пауз между ними, питание от батарей из серебрено-цинковых аккумуляторов, время непрерывной работы 14 суток.

Радиопередающее устройство должно быть выполнено в виде отдельного блока. Температура газа в объекте могла колебаться от -40 до $+50^{\circ}\text{C}$, давление — от 100 мм рт. ст. до 1,2 ата, влажность 80%.

Запуск ПС должен был обеспечить практическую проверку процессов выведения спутника на орбиту и отделения его от ракеты-носителя; получение данных о плотности верхней атмосферы, необходимых для расчетов эволюции орбит и длительности существования спутников на орбитах; отработку радиотехнических и оптических методов измерений орбит; изучение прохождения радиосигналов различной частоты через ионосферу; проверку принципа терморегулирования в условиях космического полета и обеспечение герметичности.

ПС имел герметичный корпус сферической формы диаметром 580 мм по наружному обводу. Корпус был выполнен из алюминиевого сплава и состоял из двух полуоболочек, соединенных стыковочными шпангоутами. Герметичность стыка обеспечивалась уплотнительным кольцом из вакуумной резины прямоугольного сечения, закладываемым в кольцевую канавку одного из шпангоутов. Гермоштык соединялся винтами. Передняя полуоболочка имела меньший радиус и закрывалась полусферическим экраном для обеспечения теплового режима. Четыре сваренные в нее фитинга служили для крепления оснований штыревых антенн. Задняя полуоболочка являлась одновременно радиационной поверхностью системы терморегулирования. Герметичный корпус заполнялся сухим азотом при давлении 1,3 ата. Для заправки имелся специальный клапан, штуцер с заглушкой и уплотнением из вакуумной резины.

Внутри корпуса ПС размещались: блок электрохимических источников тока (блок питания), радиопередающее устройство, вентилятор и воздухопровод системы терморегулирования, коммутирующее устройство, датчики температуры и давления, бортовая кабельная сеть. На задней полуоболочке в корпусе имелся гермоввод для электроцепей. Блок источников тока состоял из трех батарей серебрено-цинковых аккумуляторов. Он имел форму восьмигранной призмы (поперечный размер 450 мм, высота 270 мм) с центральным прямоугольным каналом (170 x 180 мм), в который вставлялось радиопередающее устройство. Такая форма блока обеспечивала симметричную циркуляцию азота внутри герметичного корпуса и хороший съем тепла, выделяемого передатчиками. Блок питания крепился к стыковочному шпангоуту передней полуоболочки в восьми точках. Две батареи предназначались для питания радиопередающего устройства, а третья батарея — для питания вентилятора системы терморегулирования и коммутирующего устройства.

Радиопередающее устройство состояло из двух радиопередатчиков на лампах, работающих на частотах 20,005 и 40,0002 МГц (длина волн соответственно 15 и 7,5 м). Передатчики имели входную мощность 1 Вт. Сигналы, излучаемые передатчиками на каждой из частот, имели вид телеграфных посылок длительностью от 0,2 до 0,6 с. Один из передатчиков работал во время пауз в работе другого. При замыкании и размыкании контактов датчиков контроля давления (барореле с настройкой $p = 0,35$ ата) и температуры (термореле с настройками $T_1 = +50^{\circ}$, $T_2 = 0^{\circ}\text{C}$) изменялись частоты телеграфных посылок и соотношение между длительностью посылок и пауз между ними, что обеспечивало контроль герметичности и изменения температур внутри ПС.

Конструктивно радиопередающее устройство было выполнено в виде блока с внешними габаритами 100 x 130 x 390 мм, который с помощью амортизатора крепился к центральному узлу передней полуоболочки корпуса

ПС; центрирование его в осевом канале блока питания и восприятие боковых нагрузок осуществлялось шестью пластинчатыми пружинами.

Антенная система состояла из четырех штырей — двух длиной 2,4 м и двух длиной 2,9 м. Штыри антенн были установлены на изоляторах и имели пружинные узлы, изменявшие угол установки при отделении ПС. При установке ПС на последней ступени ракеты штыри укладывались вдоль наружной образующей конического переходника (имевшего угол при вершине 46°) и удерживались в таком положении восемью зацепами; после отделения ПС от ракеты-носителя угол между противоположащими штырями увеличивался до 70° , что обеспечивало наилучшую диаграмму направленности антенной системы.

Система терморегулирования поддерживала устойчивый температурный режим внутри ПС при наличии переменных внешних тепловых потоков (при полете над освещенной стороной Земли и при заходе в ее тень). Она включала сдвоенное биметаллическое термореле, вентилятор с электропроводом и воздуховод, образованный внутренним диффузором и задней полуоболочкой гермокорпуса. Включение вентилятора производилось при температуре 30°C , при этом циркулирующий азот осуществлял передачу тепла задней полуоболочке, внешняя поверхность которой имела коэффициент собственного излучения $\gamma = 0,35 — 0,4$ при коэффициенте поглощения солнечной радиации $A_s = 0,23 — 0,27$ и являлась радиатором, излучавшим избыток тепла в космическое пространство (на внешнем экране значения оптических коэффициентов составляли $A_s = 0,2 — 2,25$, $\epsilon = 0,05 — 0,1$; на внутренних поверхностях — $\epsilon = 0,8 — 0,9$).

При понижении температуры азота до $T = 20 — 23^\circ\text{C}$ вентилятор выключался, что приводило к значительному увеличению теплового сопротивления между радиационной поверхностью и внутренним объемом ПС и предотвращало дальнейшее снижение температуры.

Весовая сводка ПС приведена ниже.

А. Корпус спутника	— 13,9 кг
В том числе:	
Полуоболочка верхняя	— 5,8 кг
Полуоболочка нижняя	— 5,9 кг
Экран	— 1,6 кг
Прочие детали	— 0,6 кг
Б. Аппаратура, бортовая кабельная сеть и источники питания	— 58,4 кг
В том числе:	
Блок источников тока	— 51,0 кг
Передачик	— 3,5 кг
Дистанционный переключатель	— 1,6 кг
Вентилятор	— 0,2 кг
Диффузор	— 0,2 кг
Бортовая кабельная сеть	— 0,7 кг
Гермовыводы и пяточный контакт	— 0,4 кг
Крепления	— 0,8 кг
В. Антенны	— 8,4 кг
Г. Детали общей сборки	— 0,3 кг
ИТОГО	— 81,0 кг

Включение питания радиопередающего устройства и системы терморегулирования после выведения ПС на орбиту производилось коммутирующим устройством (дистанционным переключателем), которое срабатывало при замыкании пяточного контакта в момент отделения ПС от ракеты-носителя.

Отделение ПС осуществлялось пневмотолкателем с относительной скоростью 2,73 м/с. Для дублирования было предусмотрено пиротехническое устройство, обеспечивающее отделение со скоростью 1,45 м/с. Одновременно пружинным толкателем со скоростью 0,643 м/с производилось отделение головного обтекателя или защитного конуса, предохранявшего спутник от аэродинамических и тепловых воздействий на участке выведения, при прохождении плотных слоев атмосферы.

Последняя ступень ракеты-носителя с целью избежания возможного столкновения со спутником после его отделения притормаживалась с помощью реактивной силы, создаваемой истечением газа из отверстия на верхнем днище баков окислителя за счет оставшегося давления в баке.

Для наблюдения за полетом ПС были организованы пеленгаторные пункты.

Руководителем испытательной службы был назначен Л. А. Воскресенский. Запуск был назначен на 4 октября 1957 г.

Ракета-носитель с первым искусственным спутником Земли стартовала 4 октября 1957 г. в 22 ч 28 мин 0,4 с по московскому времени.

После отделения ПС от последней ступени ракеты-носителя начали работать передатчики и был раскрыт уголкового отражатель на последней ступени (по нему определялось движение ракеты-носителя).

На следующий день первые места на страницах газет всего мира были отведены этому историческому достижению советской науки и техники. Никто не ожидал такого быстрого и блистательного успеха советских ученых и инженеров.

Наблюдения на первых пяти витках показали, что сигналы радиопередатчиков спутника хорошо прослушиваются. Над Москвой он прошел в 1 ч 48 мин (по московскому времени) 5 октября 1957 г. Начальный период одного оборота около Земли равнялся 96,2 мин (наклонение орбиты 65°).

Определение координат траектории последней ступени ракеты-носителя радиолокационными станциями продолжалось до конца ноября 1957 г. (до 5 ноября 1957 г. использовалось большое количество станций, но с 6 ноября 1957 г. вели наблюдения только с помощью десяти станций). После 15 ноября 1957 г. выдача информации прекратилась, так как, вероятно, разрушилась ткань углового отражателя на ракете-носителе.

Две станции вели засечки по ионизированному следу, возникавшему в верхних слоях атмосферы при движении ракеты-носителя, которая тоже стала искусственным спутником Земли. Таким образом, два искусственных спутника бороздили небо! Собственно, люди невооруженным глазом наблюдали только ракету-носитель: она хорошо была видна, и каждое прохождение ее было событием и собирало в Москве интересующихся, особенно около планетария.

Во время полета ПС определялся коэффициент поглощения радиоволн в ионосфере и исследовалось влияние ионосферы на распространение радиоволн. Кроме того, изучалась электронная концентрация выше максимума слоя F_2 . Радиосигналы передатчика, работающего на частоте 20 МГц, принимались на расстоянии 6 — 8 тыс. км. Дальний прием достигал 16 — 17 тыс. км (это было следствием волноводного распространения сигналов спутника).

Оптические наблюдения позволили определить параметры траектории ракеты-носителя. Они велись с помощью труб АТ-1, обслуживаемых любителями-астрономами из числа студентов вузов и работников обсерваторий. Была определена звездная величина спутника. Она оказалась для ПС равной $5 - 6^T$, а для ракеты-носителя 2^T . Оптические наблюдения использовались для непрерывного уточнения расчетных элементов орбиты, прогнозирования движения спутника и выдачи целеуказаний для работы более точных приборов. Определялось время существования по изменению периода обращения по орбите.

Вследствие торможения ПС в атмосфере период его обращения в начале полета уменьшался за сутки (или за 15 оборотов вокруг Земли) примерно на 1,8 с.

ПС оставался на орбите как небесное тело в течение 92 суток и совершил при этом около 1400 оборотов вокруг земного шара. 4 января 1958 г. он вошел в плотные слои атмосферы и прекратил свое существование.

Большая степень торможения последней ступени ракеты-носителя привела к тому, что она в качестве спутника Земли просуществовала только около 58 суток. Уже 30 ноября 1957 г. было отмечено заметное уменьшение периода ее обращения (уменьшилась и высота полета). Особенно интенсивное снижение началось 1 декабря на трассе, проходившей через г. Иркутск — Чукотский полуостров — Аляску и далее вдоль западного побережья Северной Америки. Ракета-носитель вошла в более плотные слои атмосферы, разрушилась и сгорела.

В результате запуска первого спутника путем тщательных наблюдений за его полетом был собран ценный научный материал о законах движения искусственных спутников, о плотности верхней атмосферы и об ионосфере Земли; выяснились тепловые условия, в которых находился спутник; было установлено, что за время работы радиопередатчиков спутника, т. е. в первые две недели полета, не было ни метеоритных пробоев, ни нарушений герметичности.

Полет первого искусственного спутника Земли, подготовленный и осуществленный советскими людьми, открыл дорогу последующим спутникам, межпланетным станциям и полетам человека в космос. Полетом советского спутника Земли началась космическая эра с фантастическими перспективами освоения межпланетного пространства на благо будущих поколений человечества.

Из истории создания первых искусственных спутников Земли

А. И. Нестеренко, лауреат Государственной премии

У молодого поколения и историков естественно возникает вопрос: когда и кому принадлежала инициатива в постановке задачи практического осуществления запуска первых искусственных спутников Земли и полета человека на ракете? Кто в нашей стране был в числе первых пионеров в этих смелых научно-технических дерзаниях?

Именно об этом начальном периоде, о постановке к задач в этой области будет рассказано дальше.

В 1946 г. формировался один из научно-исследовательских институтов ракетного профиля. В то время специалистов в области ракетной техники было очень мало, а укомплектовать научно-исследовательский институт нужными специалистами в тяжелый послевоенный период было и вовсе трудной задачей.

В этот период группа ракетчиков во главе с М. К. Тихонравовым работала над проектом полета человека в космос на ракете (без выхода на орбиту вокруг Земли). Было известно, что эта группа со своим проектом ВР-190 обращалась в ряд организаций, но не получила поддержки.

М. К. Тихонравов и его коллега Н. Г. Чернышев давно занимались ракетной техникой и являлись убежденными ракетчиками-энтузиастами. М. К. Тихонравов был знаком с К. Э. Циолковским и являлся страстным последователем великого ученого. С 1932 г. он работал в ГИРДе вместе с С. П. Королевым и по его проекту в 1933 г. была создана первая в СССР жидкостная ракета ГИРД-09. Н. Г. Чернышев был опытным специалистом в области ракетных топлив, к тому же обладал большими организаторскими способностями.

Группой была разработана принципиальная компоновочная схема высотной кабины, названной ВР-190, для полета человека на высоту 150 — 200 км (см. рис.). М. К. Тихонравов и Н. Г. Чернышев горячо, но с достаточной убедительностью доказывали реальную возможность и необходимость осуществления высотного полета человека в одноступенчатой ракете. Они сообщили, что в составе их группы работает ряд способных и талантливых инженеров — всего около 20 человек.

Человек должен полететь на ракете, к этому имеются все основания и возможности, говорили они.

Для практического осуществления проекта ВР-190 группа проделала большую исследовательскую работу по обоснованию возможности надежного спуска человека с высоты 190 — 200 км при помощи специально оборудованной высотной кабины, впоследствии названной «ракетным зондом».

Все члены группы М. К. Тихонравова были приняты в институт на должности, соответствующие их подготовке — институт приобретал большую группу специалистов. Начатые его группой работы проводились вначале лишь как Сверхплановые, так как основная тематика работы института была уже утверждена. В то же время не хотелось прекращать исследование по такому перспективному вопросу. Кроме того, М. К. Тихонравов и Н. Г. Чернышев дали согласие проводить занятия по вопросам ракетной техники со вновь поступающими в институт сотрудниками. И они с увлечением стали читать лекции, обменивались своим опытом в организации и проведении научных исследований, прививали любовь к ракетной технике. На первых порах для института это было особенно важным мероприятием.

С появлением М. К. Тихонравова начался период быстрого становления сектора жидкостных ракет, который он возглавил. Уже в 1947 г. руководимые им отделы и лаборатории института вступили в число действующих подразделений, успешно выполняющих плановые задания.

Все специалисты, прибывшие в институт с М. К. Тихонравовым и Н. Г. Чернышевым, были убежденными энтузиастами ракетной техники. Этому делу они отдали все свои силы и способности. Так, например, В. Н. Галковский еще до Великой Отечественной войны, работая в РНИИ, участвовал в создании и усовершенствовании прославленных «катюш».

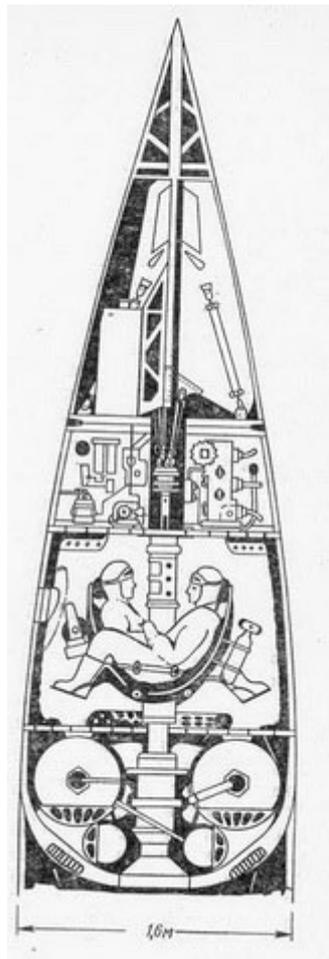
В дальнейшем для работы над перспективными вопросами М. К. Тихонравов создал в институте специальную группу молодых и способных сотрудников, среди которых, в частности, были И. М. Яцунский, Г. Ю. Максимов и другие. Осуществить полет человека на ракете силами и средствами института — задача нереальная, поэтому была поставлена задача — провести начальные исследования по возможности практического осуществления в ближайшие годы запуска искусственного спутника Земли, т. е. обосновать возможность получения первой космической скорости с помощью имеющихся в то время отечественных ракет, разрабатываемых под руководством С. П. Королева.

Из трудов К. Э. Циолковского и других ученых было известно, что получить первую космическую скорость с помощью одноступенчатой ракеты практически невозможно, и надо было теоретически рассчитать, сколько же необходимо для этого существующих тогда ракет и в какой наиболее выгодной комбинации их соединить друг с другом, чтобы образованный двух— или трехступенчатый пакет обладал устойчивым полетом.

В течение 1947 — 1948 гг. группа сотрудников института под руководством и при непосредственном участии М. К. Тихонравова проделала очень большую работу по расчету наиболее выгодных компоновочных схем соединений в единый пакет ракет с последовательным их отделением друг от друга после израсходования каждой из них топлива. Был найден один из вариантов пакета ракет, который обеспечивал достижение первой космической скорости для отделяющегося головного отсека и мог вывести его на орбиту искусственного спутника Земли.

В июне 1948 г., когда готовились к проведению научной сессии, от института запросили сведения относительно возможных докладов сотрудников. Узнав о запросе, М. К. Тихонравов предложил возбудить ходатайство, чтобы получить разрешение выступить с докладом о возможности запускать искусственные спутники Земли и о дальнейших перспективах их использования, поскольку его группой уже были получены довольно интересные выводы, достаточно убедительно подтвержденные расчетами.

Предложение М. К. Тихонравова было принято. Предстояла встреча по этому вопросу с А. А. Благонравовым. Он принадлежал к категории людей, которые обладают чувством нового, бережно и внимательно относятся к



Схематическое изображение высотной кабины (проект ВР-190)

предложениям других независимо от их опыта, возраста и знаний. Кроме того, А. А. Благонравов основательно знал ракетную технику и понимал возможные перспективы дальнейшего ее развития. Кстати сказать, спустя некоторое время после описываемых событий он был назначен (в 1950 г.) председателем Государственной комиссии по запускам «академических» высотных ракет. В последующие годы как видный ученый он являлся представителем СССР в различных международных организациях.

А. А. Благонравов принял делегацию института любезно, со свойственным ему тактом, однако, внимательно выслушав, заявил:

— Вопрос интересный, но включить доклад мы не сможем, потому что нас вряд ли поймут. Обвинят в том, что занимаемся не тем, чем нужно... .

Все доводы о необходимости и целесообразности постановки такого доклада успеха не имели. К тому же А. А. Благонравова поддержали другие крупные специалисты.

Не добившись желаемого результата, делегация вернулась в институт. Там еще долго обсуждали неудавшуюся беседу, еще раз проверяли доводы и аргументы . в пользу постановки такого доклада и пришли к заключению, что... надо еще раз поехать к А. А. Благонравову и убедить его в перспективности развития именно этого направления ракетной техники, связанного с освоением космического пространства.

На другой день к началу рабочего дня делегация снова была у А. А. Благонравова. Он, видя такую настойчивость, встретил делегацию с улыбкой, снова внимательно выслушал доводы и, возможно, сам много передумав за прошедшую ночь, заявил:

— Ну, хорошо. Доклад включим в план сессии. Готовьтесь — краснеть будем вместе...

С приподнятым настроением делегация вернулась в институт. М. К. Тихонравов — хороший лектор и методист, поэтому в институте не было оснований опасаться за качество его доклада на сессии. Однако, будучи скромным и тактичным человеком, он попросил предварительно заслушать и обсудить доклад на ученом совете института. Его доклад на ученом совете еще раз убедил в правоте настойчивых просьб вынести доклад на сессию.

Она состоялась в июне 1948 г. На ней присутствовали крупные ученые и конструкторы, в том числе С. П. Королев и В. П. Глушко.

Во время доклада М. К. Тихонравова можно было без особого труда заметить совершенно разное отношение слушателей: во взглядах одних чувствовалась определенная ирония как к фантастическому и далекому от жизни сообщению. В то же время очень серьезно и внимательно прислушивались к докладу многие специалисты в области ракетной техники.

После доклада в перерыве сессии к представителям института и М. К. Тихонравову подходили, например, с такими замечаниями:

— Институту, наверное, нечем заниматься, и поэтому вы решили перейти в область фантастики, предлагаете запускать шарики вокруг Земли...

Специалисты в области ракетной техники, наоборот, отмечали, что доклад очень интересен, проблема, которая в нем ставится, своевременна. Ю. А. Победоносцев просил разрешения подробно ознакомиться с материалами по докладу, с аналогичной просьбой обратился и С. П. Королев.

А. А. Благонравов также остался доволен докладом. Краснеть ему не пришлось, так как довольно много специалистов заинтересовались данной проблемой.

В дальнейшем тема «Пакет ракет» была в институте успешно разработана. Материалы по теме были высланы в заинтересованные организации.

С 1950 по 1956 г. в институте под руководством М. К. Тихонравова была выполнена большая предварительная работа под названием «Исследования по искусственному спутнику Земли (ИСЗ)». В работе рассматривались наивыгоднейшие условия (с точки зрения затрат энергии) выхода спутника на орбиту; анализ возмущений при выходе на орбиту ИСЗ; проблемы спуска с орбиты на Землю; анализ необходимости и возможности создания средств наблюдения за движением ИСЗ; разработка некоторых вопросов конструктивного осуществления проекта ИСЗ и вопросы теплового режима.

В 1956 г. М. К. Тихонравов с некоторыми своими сотрудниками перешел работать в ОКБ, руководимое С. П. Королевым.

В октябре 1957 г. на Байконур для подготовки и запуска первого искусственного спутника Земли прибыл М. К. Тихонравов, входивший в группу специалистов из ОКБ С. П. Королева. Приятной и радостной была наша встреча. Мы вспоминали, как организовывались работы в институте. Мы были бесконечно счастливы, что пришла пора запуска первого спутника и что являемся не только очевидцами, но и участниками этого великого события.

4 октября 1957 г. был произведен старт ракеты-носителя, которая вывела на орбиту вокруг Земли круглый блестящий шар с радиоантеннами — первый в мире искусственный спутник. Он облетел вокруг Земли и через 96 мин появился на юго-западном склоне небосвода в виде маленькой мерцающей звездочки. Наступила космическая эра.

Сейчас трудно описать бурю восторга, охватившего на космодроме создателей, испытателей и всех причастных к этому событию людей. Очевидно, многие из вас были свидетелями всеобщего ликования в Москве

и других городах.

Это было торжество великой победы наших ученых, конструкторов, инженеров, техников и рабочих. Искусственный спутник Земли, который несколько лет назад рассматривался как нечто фантастическое, стал реальностью.

И приоритет в этом принадлежит Советскому Союзу, советскому человеку, о чем мечтал в свое время К. Э. Циолковский и во что верили его ученики — С. П. Королев, М. К. Тихонравов и многие прославленные их соратники.

Научное значение космических исследований

Р. З. Сагдеев, академик

Запуск первого искусственного спутника Земли, а также другие выдающиеся достижения в области ракетно-космической техники позволили значительно расширить диапазон исследований и осуществить постановку совершенно новых задач для ряда наук и научных направлений. За довольно короткий срок — 20 лет — сформировался весь фронт научных исследований в космосе.

Все эти исследования с точки зрения их научного приложения можно разбить на три крупных раздела.

Первый из них связан с изучением самого космоса. Сюда входят исследования непосредственно окрестностей Земли. В свою очередь, здесь можно выделить несколько направлений: изучение верхней атмосферы Земли, радиационных поясов, земной магнитосферы, исследования межпланетной среды. Сейчас эту часть космических исследований принято называть исследованием ближнего космоса.

С тех пор как стало возможным изучение некоторых тел Солнечной системы непосредственно в их окрестностях, подобные исследования развиваются по самостоятельной программе. К полетам к Луне и планетам земной группы в последние годы добавляются экспедиции автоматических аппаратов к планетам-гигантам.

И наконец, проводятся исследования «дальнего» космоса, но уже не прямыми методами, а с помощью астрономических инструментов, устанавливаемых на внеатмосферных космических платформах. Это — внеатмосферная астрономия.

Второй крупный раздел космических исследований включает в себя не изучение космоса как такового, не физических процессов, связанных с небесными телами, с межзвездной средой и т. д., а изучение каких-либо (например, технологических) процессов, перенесенных человеком в космос. Сюда относятся такие исследования, как сварка в космосе, выращивание кристаллов в условиях невесомости, изучение поведения материалов и работы механизмов. Эти исследования, безусловно, могут привести к важным открытиям прикладного значения. В настоящее время они находятся в начале своего пути. Кстати, один из первых таких экспериментов проводился во время совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон».

Не менее важное значение имеют исследования по космической биологии и медицине.

И наконец, третий большой раздел космических исследований, который быстро приобретает фундаментальное и прикладное значение, — это изучение Земли из космоса, включая метеорологические исследования и изучение земных ресурсов.

Здесь мы подробно остановимся на исследованиях первого и третьего разделов.

Ближний космос — это первое направление в космических исследованиях, история которого начинается с геофизических ракет для зондирования верхней атмосферы.

Но большинство современных представлений о структуре и вариации параметров нейтральной атмосферы на высотах приблизительно от 150 до 1500 км возникло из анализа данных об эволюции орбит искусственных спутников Земли. Подтвердились предположения о нестационарности профиля плотности на высотах приблизительно от 200 км и выше. Строение атмосферы выглядит следующим образом. На высотах 100—120 км начинается диффузионное разделение газов за счет того, что убывание с высотой доли различных составляющих атмосферы происходит по-разному. На высотах до 200 — 250 км основным компонентом атмосферы остается молекулярный азот, возрастает относительная концентрация атомарного кислорода, который образуется при диссоциации молекулярного кислорода солнечным ультрафиолетовым излучением. Начиная с 200 — 300 км основным компонентом атмосферы становится атомарный кислород. Новые уточненные данные о химическом составе атмосферы на таких высотах получены, в частности, по программе «Союз — Аполлон». Еще выше (начиная с высот 500 — 600 км — в годы минимума солнечной активности, а с высот 1000 — 1500 км в годы максимума) атмосфера становится гелиево-водородной.

Самые внешние слои земной атмосферы состоят из атомарного водорода. Его концентрация вплоть до расстояний в несколько земных радиусов при полете советских межпланетных станций была измерена по рассеянию атомарным водородом солнечного излучения в -линии серии Лаймана.

Появление искусственных спутников Земли позволило получить новые важные данные об ионосфере Земли, особенно о ее внешней части (выше максимума слоя 1).

Эксперименты показали, что ионосфера Земли простирается по крайней мере до 4 — 5 радиусов Земли. Распределение заряженных частиц выше главного максимума ионизации существенно зависит от солнечной

активности. В годы спокойного Солнца спад концентрации резко усиливается.

К числу фундаментальных результатов, полученных же на начальных этапах исследований ближнего космоса первыми автоматическими станциями, следует отнести прямое обнаружение потоков солнечной плазмы в межпланетном пространстве — солнечного ветра.

Геомагнитное поле образует в потоке солнечного ветра полость — магнитосферу. Границы ее меняются в зависимости от интенсивности солнечного ветра. Граница земной магнитосферы — так называемая магнитопауза — проходит там, где поле еще достаточно сильно, чтобы сдерживать поток набегающих на него частиц. Таким образом, ближайшее расстояние до границ магнитосферы в направлении к Солнцу составляет около 60 тыс. км, или десять земных радиусов.

Магнитосфера вытянута в ночную сторону — имеет «хвост», диаметр которого, измеренный на относительно небольших расстояниях от Земли, составляет около 40 ее радиусов. Протяженность геомагнитного «хвоста» пока неизвестна. Во всяком случае, он зарегистрирован на удалениях порядка сотен земных радиусов.

Поток солнечной плазмы несет с собой магнитное поле. Хотя это поле и слабо — около одной десятой от величины поля на поверхности Земли, оно играет большую роль в передаче взаимодействия как в самой межпланетной среде, так и между потоком плазмы и планетами Солнечной системы. Силовые линии магнитного поля в среднем имеют вид спиралей (следствие вращения Солнца). Такое состояние постоянно возмущается солнечными вспышками. Распространяющиеся после вспышки ударные волны нарушают стационарную картину течения солнечного ветра, генерируют быстро движущиеся неоднородности плазмы и магнитных полей и являются причиной глобальных магнитных бурь.

Исследования сверхзвуковой динамики чрезвычайно разреженной межпланетной плазмы сыграли важную роль в появлении и развитии фундаментальной концепции так называемых ударных волн в плазме без столкновений.

Искусственные спутники позволили также более детально исследовать собственное магнитное поле Земли.

Уже на начальных этапах прямых экспериментальных исследований в околоземном космосе было сделано еще одно крупное открытие — обнаружены интенсивные потоки энергичных частиц, захваченных геомагнитным полем, — радиационные пояса Земли.

Перед нами — поставленный самой природой гигантский эксперимент по ускорению и удержанию частиц в магнитной ловушке, напоминающей лабораторные магнитные бутылки для термоядерных исследований.

В настоящее время накоплен значительный экспериментальный материал по измерению потоков заряженных частиц, их спектральному распределению, интенсивности потоков, характеру движения в геомагнитном поле, вариациям интенсивности. Аналогия между динамикой плазмы в лабораторных магнитных ловушках и радиационных поясах Земли позволила отождествить конкретные механизмы неустойчивости плазмы, управляющие поведением частиц радиационных поясов. Оказалось, что энергичные заряженные частицы (электроны и протоны), движущиеся в геомагнитном поле Земли в радиационных поясах, «имитируют» гигантский классический мазер на низкочастотных колебаниях плазмы в магнитном поле. Сейчас становится реальным управление работой этого механизма с помощью так называемых активных методов воздействия на магнитосферу. В специальных экспериментах уже удавалось вызывать неустойчивость ионосферной плазмы, искусственно инжектируя пучки электронов из бортового ускорителя.

Важнейшим направлением в проблеме солнечно-земных связей оказывается исследование коротковолнового излучения Солнца с помощью ракетно-космической техники. Одновременно эти исследования дают сведения и о хромосфере, и о короне Солнца. Коротковолновое излучение Солнца в то же время контролирует состояние земной термосферы и нагревает ее, а это, в свою очередь, влияет на тепловой баланс нижних слоев атмосферы; оно также ответственно за состояние земной ионосферы.

Важные результаты были получены по солнечным вспышкам. Когда начались исследования с помощью ракет и спутников, выяснилось, что оптические и радиовспышки сопровождаются рентгеновскими вспышками — огромным (в несколько тысяч раз) усилением рентгеновского излучения Солнца и появлением очень жесткого рентгеновского излучения. Во время вспышек возникают потоки ускоренных частиц — электронов и тяжелых ядер с энергиями от десятков килоэлектронвольт до релятивистских — и происходит выброс сгустков плазмы.

Эксперименты, выполненные, в частности, на спутниках серии «Космос» и «Интеркосмос», позволили получить данные, относящиеся к размерам, структуре и локализации рентгеновских вспышек.

По всей вероятности, нагрев области вспышек до температур в несколько десятков миллионов градусов осуществляется быстрыми электронами. Электроны, ускоряясь в короне до энергий 10^5 эВ и двигаясь вдоль магнитных линий, вторгаются в низкие, более плотные, слои короны или хромосферу, отдавая путем соударений свою энергию более холодным электронам, которые затем нагревают ионы. На спутниках серии «Интеркосмос» получены экспериментальные сведения о существовании поляризации рентгеновского излучения в начальной стадии вспышек.

Большой вклад в исследование Солнца и его активности внесли солнечные телескопы орбитальных станций «Салют-4» и «Скайлэб».

Весьма обширна информация о солнечной активности и межпланетном магнитном поле, полученная с помощью исследований вариаций космических лучей, проведенных на спутниках и космических ракетах.

История исследования Солнечной системы уходит своими корнями в глубь тысячелетий. С появлением лунных и межпланетных космических аппаратов изучение Солнечной системы стало возможным и прямыми методами. Это может рассматриваться как известная компенсация за отсутствие в номенклатуре обнаруженных на сегодня астрономических объектов других планетных систем.

Имеется и другое важное отличие этой области исследований от астрономии. Сейчас почти никто не сомневается, что на столь близлежащую область Вселенной, как Солнечная система, можно распространить известные нам законы физики. Более того, одним из важнейших стимулов является воссоздание процесса образования и эволюции Солнечной системы как объекта, подчиняющегося этим (предположительно, хорошо известным) фундаментальным законам и находящегося в настоящее время в известном (в пределах точности имеющейся информации) состоянии. Это составляет пред—, мет солнечно-планетной космогонии.

Следующим не менее важным стимулом в изучении планет является развитие общего планетологического ; подхода к процессам, протекающим в недрах и атмо! сферах отдельных планет. Это представляет громадный интерес с точки зрения всего комплекса наук о Земле. И наконец, ракетно-космическая техника ставит на . конкретную реальную основу попытки поиска внеземных цивилизаций и других биологических форм. Современная солнечно-планетная космогония исходит из того, что Солнце принадлежит к категории типичных нормальных звезд, внутреннее строение которых считалось практически полностью объясненным к 50-м годам, когда астрофизики научились учитывать закономерности протекания термоядерных реакций. Знание основных внешних параметров Солнца и его массы позволило рассчитывать теоретические модели гигантского газового шара, находящегося в гравитационном и тепловом равновесии. Однако эксперименты по регистрации солнечных нейтрино показывают, что поток этих частиц по крайней мере почти на порядок меньше, чем это можно «выжать» из теоретических моделей Солнца, находящегося в стационарном состоянии. Хотя возникшая ситуация и является весьма острой, оснований для паники нет. Например, не исключены более сложные нестационарные модели.

В конце концов интересы проблемы формирования планетной системы пока остаются совершенно не затронутыми возможными переменами в представлениях о внутренней структуре Солнца. Планеты и другие тела в окружении Солнца должны были возникнуть 4 — 5 млрд. лет назад предположительно в результате распада сплюсненной дискообразной допланетной туманности, вращавшейся вокруг центральной звезды.

Химический состав допланетной туманности должен был «по наследству» передаваться планетам. Различие в химическом составе между планетами земной группы и дальними планетами свидетельствует о дифференциации вещества еще на стадии допланетной туманности. Процесс образования планет с большой степенью вероятности носил характер почти «мгновенной» катастрофы, чем постепенной аккумуляции вещества (в масштабах геологического времени). Такой вывод можно сделать на основании цепочки умозрительных заключений, начинающихся от давно эмпирически обнаруженной «магической» закономерности в соотношениях периодов планет, а также их связей с периодами собственных вращений.

Небесная механика объяснила эти особенности, введя понятие «резонансов». Стоит упомянуть, что тонкий анализ таких «резонансов», стимулированный небесной механикой в приложении к движению планет Солнечной системы, привел впоследствии к выдающемуся прогрессу в математике, в так называемой теории малых знаменателей (связанной с почти периодическими системами). Безусловно, с теорией «резонансов» связано и объяснение закономерностей в распределении орбит (устойчивые и неустойчивые орбиты) астероидов, не говоря уже об орбитах спутников планет.

Ближайшее к нам небесное тело, естественный спутник Земли — Луна, еще задолго до наступления эры космических полетов считалось самым изученным объектом на небе. Когда же к Луне вслед за советской автоматической станцией «Луна-1» устремились десятки других космических аппаратов, возможности ее исследования необычайно возросли. Луна с ее кратерами и цирками, горными хребтами, «морями» и «заливами» превратилась, по существу, в гигантскую научную лабораторию, где, сменяя друг друга, неутомимо трудятся посланцы Земли, будь то автоматические станции или пилотируемые корабли.

Советская космонавтика дала мировой науке такие превосходные средства исследования Луны, как автоматическая станция, способная доставлять на Землю образцы лунного грунта, и автоматический самоходный аппарат, названный «Луноходом».

В итоге успешного осуществления лунной космической программы в минувшие годы был получен ряд фундаментальных научных результатов. К ним относятся, в частности, открытие структурной асимметрии видимого и обратного полушарий Луны, получение разнообразных данных о лунном грунте, исследование состава пород в «морях» и на «материках», открытие масконов, открытие остаточной намагниченности пород Луны. Следует отметить, что наземные исследования Луны оптическими и другими методами в эти годы отнюдь не утратили своей ценности, позволяя интерпретировать результаты космических экспериментов, выполненных в отдельных точках лунной поверхности.

Полеты космических аппаратов создали новые представления о Венере и Марсе.

Советские космические аппараты серии «Венера» провели прямые измерения температуры, давления и других основных параметров атмосферы Венеры. Последняя изучалась также во время пролетов вблизи планеты американских аппаратов «Маринер-5 и -10». Спускаемые аппараты межпланетных станций «Венера-9 и -10» совершили мягкую посадку на поверхность этой планеты и впервые передали на Землю панорамные снимки районов посадки и много другой ценной информации.

Выяснилось, что основная составляющая атмосферы Венеры — углекислый газ. Согласно результатам измерений его объемное процентное содержание составляет 97%. Суммарный предел содержания азота и инертных газов не превышает 2%, кислорода — 0,1%, водяного пара (на высоте 20 — 40 км) — 0,01%.

Измерения давления и температуры в местах посадки станций «Венера-9 и -10» дали соответственно значения 85 — 90 атм и 460 — 470°C.

Освещенность на поверхности Венеры по данным широкополосного фотометра станций «Венера-9 и -10», оказалась равной около 14 000 лк, что на Земле соответствует освещенности на средних широтах в полдень, когда небо закрыто сплошными облаками. Полученные данные позволили, в частности, определить положение нижней границы облачного слоя — около 35 км. Освещенность сверху и снизу мало отличается даже вблизи верхней границы облаков (68 — 70 км). Кроме того, отсутствует какое-либо резкое изменение освещенности при пересечении верхней границы: по мере углубления внутрь облачного слоя освещенность плавно уменьшается с высотой.

Данные о горизонтальном перемещении позволили получить представление о профиле горизонтальной скорости ветра на высотах от 0 до 60 км.

Помимо изучения параметров атмосферы спускаемые аппараты станций «Венера-9 и -10» исследовали характер венерианских пород в районе посадки. Полученные данные свидетельствуют, что аппараты произвели посадку в районе с относительно высоким содержанием в исследуемых породах естественных радиоактивных элементов по сравнению с их распространенностью в земной коре. По уровню содержания урана, тория и калия венерианская порода близка к магматическим базальтовым породам Земли.

Эти данные в совокупности с результатами определения плотности породы в районах посадки спускаемого аппарата «Венера-10», составляющей 2,7 — 2,9 г/см³, дают основание полагать, что на поверхности Венеры встречаются изверженные породы, подвергшиеся впоследствии длительному воздействию различных факторов окружающей среды.

Глыбы, которые видны на фотографиях близ места посадки спускаемого аппарата станции «Венера-9», не вызывают сомнений в том, что перед нами довольно молодой с географической точки зрения участок поверхности. Было обнаружено, что на Венере есть как относительно ровные равнинные районы, так и близкие по характеру к горным районам Луны.

Большая программа научных исследований планеты Марс была выполнена советскими автоматическими станциями серии «Марс» и американскими аппаратами «Маринер-9», «Викинг-1» и «Викинг-2». Спускаемые отсеки двух последних аппаратов совершили мягкую посадку на поверхность планеты и передали на Землю первые панорамные снимки.

Вывод на околомарсианские орбиты аппаратов, оснащенных взаимодополняющими комплексами научных приборов, их длительное функционирование и обмен информацией между советскими и американскими учеными создали благоприятные условия для значительного прогресса в изучении Марса.

Были получены сведения о температуре поверхности и грунте Марса, его рельефе, составе и строении атмосферы. У Марса оказались низкие ночные температуры. Из измерений тепловой инерции был сделан вывод о низкой теплопроводности грунта. Количественные оценки показывают, что это соответствует сухому песку или сухой пыли в разреженной атмосфере. Марсианские «моря» в среднем теплее «континентов» — различие температур достигает 10°C. В отдельных случаях более темные «морские» районы остывают медленнее после захода Солнца, и, следовательно, у них более теплопроводный грунт.

О большой тепловой инерции и малой теплопроводности марсианского грунта свидетельствует также практически полное отсутствие суточных колебаний температуры на глубине 30 — 50 см. Эти данные были получены по измерениям интенсивности и поляризации сантиметрового радиоизлучения.

Кроме температуры, определялась диэлектрическая постоянная грунта — величина, которая зависит главным образом от его плотности. Измерения показали, что изменения температуры грунта и диэлектрической постоянной находятся в прямой зависимости. Видимо, когда значения диэлектрической постоянной велики, материал грунта находится в раздробленном состоянии.

Давление на Марсе на среднем уровне составляет 5,5 — 6 мбар, что примерно в 200 раз меньше, чем на Земле. Распределение давления в атмосфере Марса впервые прямым методом было определено вдоль трассы спускаемого аппарата «Марс-7».

Содержание водяного пара сильно меняется вследствие его взаимодействия с поверхностью. Вблизи поверхности атмосфера Марса состоит в основном из углекислого газа (95%). Выше 300 — 600 км она становится в основном атомарно-водородной.

Ионосфера на Марсе «прижата» к поверхности, максимум электронной концентрации расположен на высоте 140 км (300 км для земной ионосферы). На высотах около 110 км наблюдался второй максимум, электронная концентрация в котором примерно в три раза ниже. Нельзя исключить, что на высотах 65 — 80 км может быть третий максимум с электронной концентрацией около 10 пар ионов в кубическом сантиметре.

По измерениям солнечного ветра и околопланетной плазмы, выполненным на станциях «Марс», обнаружено, что в межпланетной плазме около Марса образуется ударная волна.

Магнитометрами, установленными на станциях «Марс», было измерено в ближайшей окрестности Марса поле, напряженность которого вблизи перицентров орбит оказалась на порядок выше межпланетного магнитного поля. Интенсивность поля с приближением к планете возрастала по всем трем его компонентам. Возможно, что Марс обладает собственным слабым дипольным магнитным полем.

Интересные результаты получены во время трех облетов планеты Меркурий американской станцией «Маринер-10». Оказалось, что поверхность этой планеты покрыта многочисленными кратерами. Обнаружена очень разреженная атмосфера Меркурия.

Значительный интерес представляет изучение окраинных областей Солнечной системы и планет-гигантов — Юпитера и Сатурна. Уточнение их состава (соотношение между легколетучей, силикатной и железной составляющей) имеет принципиальное значение для понимания дифференциации протопланетного облака на разных расстояниях от Солнца и при различных условиях концентрации вещества планет. Повышенная яркость Юпитера в радиодиапазоне заставляет предполагать повышенное тепловыделение планет-гигантов, которые, может быть, являются своего рода «несостоявшимися звездами».

В ходе полетов станций «Пионер-10 и -11» уже получены важные научные результаты, относящиеся к уточнению характеристик гравитационного поля Юпитера, состояния его верхней атмосферы и магнитосферы. Выход в космос неизмеримо расширил наблюдательный диапазон современной астрономии, сделав доступными также рентгеновскую, ультрафиолетовую, инфракрасную, субмиллиметровую и радиочастотную (с длиной волны больше 30 м) области спектра. Это позволило, в частности, получить за последнее время такие крупные результаты, как обнаружение около 200 рентгеновских источников, отождествляемых с активными ядрами галактик, нейтронными звездами и, весьма вероятно, с черными дырами.

Огромное расширение наблюдательных возможностей позволило обнаружить такие процессы, как мощные гамма-всплески. Это явление представляет собой эхо» грандиозных катастроф, приносимое потоками гамма-квантов и квантов жесткого рентгеновского излучения.

Внеатмосферная астрономия вовсе не отрицает наземной, традиционной. Современные астрономические исследования развиваются по пути органического сочетания внеатмосферных, стратосферных и наземных наблюдений. Различные методы современной астрономии, дополняя друг друга, дают возможность изучать Вселенную во всем ее многообразии: исследовать грандиозные взрывные процессы в ядрах галактик и в звездах, свойства межгалактического газа, межзвездную среду, химический состав и распределение вещества в нашей Галактике, физические параметры и процессы образования звезд и галактик, изучать сложные формы вещества в различных космических объектах.

Что касается перспектив внеатмосферной астрономии, то, прежде всего, они связаны с выведением больших телескопов на орбиты спутников Земли. Конечно, создать астрономическую обсерваторию на орбите не просто. Одна из трудностей — ориентация и стабилизация платформы, несущей астрономические приборы. Платформа и телескоп должны обладать способностью обеспечивать точность порядка сотых долей секунды дуги. Создание таких систем ориентации и стабилизации, безусловно, потребует совершенно новых технических принципов и технологических решений. Появление больших орбитальных обсерваторий приведет к дальнейшим успехам астрофизики, которая в последнее десятилетие переживает бурный расцвет, быть может, сравнимый по своей значимости с эпохой стремительного развития физики элементарных частиц после появления ускорителей. Астрономические наблюдения позволяют исследовать свойства вещества, находящегося в экстремальном, недостижимом в лабораторных условиях состоянии. В таких экстремальных условиях при грандиозных катаклизмах во Вселенной могут рождаться космические лучи столь высоких энергий, ко— -торые вряд ли когда-либо будут достижимы на ускорителях.

При всей грандиозности достижений современной техники все же масштабы созданных человеком установок очень малы по сравнению с масштабами космоса.

С помощью аппаратуры, способной регистрировать частицы сверхвысоких энергий непосредственно в космическом пространстве (как это было на спутниках «Протон»), можно получить результаты по физике космических лучей и взаимодействию частиц сверхвысоких энергий.

Среди различных методов изучения Земли из космоса огромное значение имеет дистанционное зондирование. Несмотря на то что этот метод сравнительно молод, в его разработку уже вовлечены специалисты самых разных профилей: приборостроители и ученые, непосредственно занимающиеся обработкой и интерпретацией получаемой информации. Здесь представлены биологи и геологи, работники сельского и лесного хозяйств, водники и так далее, вплоть до юристов, поскольку фотографирование территорий других стран связано с решением правовых вопросов. Из наук о Земле первой воспользовалась дистанционными методами метеорология. Да и первоначальные исследования, по сути дела, представляли собой естественное

перенесение методов аэрофотосъемки в космос с целью обеспечения глобальности охвата земной поверхности. Однако решающий шаг заключался в объединении «аэрофотосъемочного подхода» со спектральным анализом, который долгое время по необходимости был монополией астрономии.

Как и в астрономии, при наблюдениях Земли из космоса приходится учитывать степень прозрачности земной атмосферы для волн той или иной длины.

Первыми, практически уже спектральными наблюдениями земной поверхности стали цветные фотоснимки, полученные с борта космических аппаратов. Один из таких экспериментов был проведен в июне 1971 г. на орбитальной станции «Салют», пилотируемой летчиками-космонавтами Добровольским, Волковым и Пацаевым.

При цветной съемке мы как бы измеряем яркости наземных объектов в трех зонах видимого спектра — синей, зеленой и красной. Различия интенсивности этих объектов дают разные цвета.

Можно выполнить съемку не в трех, а в большем числе зон спектра. Причем не только в видимой области, но и далеко за ее пределами — в ультрафиолетовом, инфракрасном и радиодиапазонах. В результате получаются как бы многомерные цветные изображения. По своей информативности они значительно превосходят обычные цветные снимки. Соответственно расширяется круг научных и народнохозяйственных проблем, решаемых с помощью съемки из космоса.

Оказалось, что разные виды природных образований характеризуются самыми различными спектрами. Получая такие спектры из космоса, мы могли бы с большой точностью, так же, как это делается в астрофизике, определять, что именно находится в изучаемом районе земной поверхности.

Однако каждый такой спектральный образ должен быть привязан лишь к очень малому участку поверхности в пределах однородности рассматриваемой территории. Это означает, что попытка автоматического перенесения спектрального метода из астрономии в область изучения природных ресурсов сразу дала огромный объем полезной информации. Поэтому вместо того, чтобы чертить сложную спектральную зависимость с различными линиями поглощения и излучения, весь этот сложный спектр упрощенно представляется гистограммой, описывающей интенсивность излучения в нескольких узких зонах.

Интенсивность отраженного солнечного света и собственного теплового излучения, из которых складывается спектр земной поверхности, получается, таким образом, в виде среднего значения. Чем меньше мы возьмем зон, тем проще получить и обработать информацию о всей Земле. Но при очень малом количестве зон можно «выплеснуть ребенка из ванны» — потерять возможность распознавания тех или иных видов природных образований.

С целью отработки методов и средств многозонального фотографирования рядом институтов Академии наук СССР и научных организаций других ведомств был выполнен большой объем исследований. Ставилась задача выработки основных принципов создания и применения многозональной аппаратуры, повышения ее информативности, установления эффективности при решении актуальных задач изучения природных ресурсов и контроля окружающей среды, улучшения основных технико-эксплуатационных характеристик и, в частности, задача определения того минимального количества зон — «столбиков» на окончательной гистограмме, с помощью которых можно было бы сохранить распознавательные особенности изучаемых объектов. Эти исследования проводились в несколько этапов с самолетных лабораторий, пилотируемых космических кораблей и орбитальных станций на природных полигонах, расположенных в различных географических регионах нашей страны.

Первые эксперименты по многозональному фотографированию Земли из космоса были осуществлены на космическом корабле «Союз-12». Экипаж «Союза-13» продолжил эту работу. В распоряжении космонавтов был девятиобъективный фотоаппарат, в котором одновременно использовались три фотопленки. Две из них были чувствительны в видимой области спектра, третья — в инфракрасной. На каждой пленке через три объектива одновременно получались три фотоснимка. Все девять объективов были снабжены разными светофильтрами, которые как бы вырезали определенные зоны спектра. Таким образом, аппарат одновременно делал девять фотоснимков одной и той же местности в девяти, разных зонах спектра.

Разумеется, светофильтры и фотопленки выбирались не произвольно, а применительно к задачам, которые предполагалось решать с помощью многозонального фотографирования. На следующем этапе, с космического корабля «Союз-16», проводились съемки в одной из зон спектра, проектируемой для будущей системы, на пленку, опробованную ранее на станции «Салют».

В результате всех выполненных исследований была разработана методика многозональной космической фотосъемки, найдены пути повышения пространственной и спектральной информативности получаемых материалов, показана эффективность использования многозональных космических фотографий Земли в геологии, географии, сельском, водном, лесном хозяйствах, сформулированы основные технические требования к многозональной съемочной аппаратуре, а также к средствам обработки и интерпретации получаемых снимков.

В рамках программы «Интеркосмос» специалистами СССР и ГДР была разработана многозональная космическая фотосистема МКФ-6. Эта система, изготовленная на народном предприятии «Карл Цейс Йена», успешно прошла испытания во время полета космического корабля «Союз-22».

При создании аппаратуры МКФ-6 перед ее разработчиками стояла задача в максимальной степени использовать высокую информативность фотоматериала с сохранением фотометрических измерительных

характеристик в любом масштабе фотосъемки, С этой целью разработчикам аппаратуры необходимо было создать объективы с высоким разрешением для съемки в выбранных спектральных зонах.

В системе МКФ-6 использовались различные типы фотоматериалов с максимальной чувствительностью в разных зонах спектра. Условия их оптимальной обработки отличаются, и поэтому плотность почернения на фотоизображениях должна быть эталонирована. С этой целью в каждый кадр в момент съемки должны впечатываться эталоны яркости, позволяющие производить фотометрическую привязку изображений.

Поскольку основной информацией при многозональном фотографировании являются различные яркости изучаемых объектов в разных зонах спектра, ошибка в экспозициях при фотографировании одновременно в нескольких зонах спектра должна быть минимальной. Это требование обусловило необходимость создания особой конструкции затворов фотоаппаратов с высокой синхронностью их работы.

Итоговые комплексные испытания МКФ-6 на космическом корабле «Союз-22» показали, что, в частности, при постоянно существующем противоречии между чувствительностью пленки и ее разрешающей способностью удастся найти такие оптимальные методы и условия применения и обработки пленки, которые позволяют реализовать на получаемых изображениях высокое разрешение при сравнительно коротких выдержках.

При фотографировании съемочными системами с высоким разрешением на малочувствительную пленку влияние смазывания за счет движения космического корабля по орбите становится соизмеримым с параметрами разрешения. Применение коротких выдержек ограничивается эффективной чувствительностью фотоматериала со светофильтром. Следовательно, конструкция камеры должна обеспечивать компенсацию смазывания изображения.

В результате всех реализованных конструкторских мероприятий, а также разработки оптимальных принципов обработки пленки применительно к конкретным задачам исследования природных ресурсов и контроля окружающей среды удалось получить разрешение на снимках, полностью реализующее потенциальные возможности системы объектив — пленка.

В числе важнейших задач, которые предстояло решить при создании космической многозональной аппаратуры, были не только оптимизация числа спектральных зон, но также и определение ширины и рационального расположения по спектру каждой из них. С этой целью было исследовано около 200 земных образований, изучены их отражательные способности, выявлены особенности и условия различения.

В результате анализа и оценки всех полученных данных с привлечением специалистов из различных областей народного хозяйства были окончательно установлены основные эксплуатационные характеристики многозональной фотоаппаратуры, подлежащей изготовлению.

Что же представляет собой многозональная фотосистема МКФ-6? В нее входят:

- камерная часть с шестью объективами высокой разрешающей способности, с синхронизированными затворами и устройством компенсации сдвига изображения, обусловленного движением космического корабля;
- кассеты с устройствами перемотки;
- блок электроники;
- пульт управления фотосистемой;
- резервный пульт управления;
- вспомогательные приборы, контрольно-измерительная аппаратура, установочные элементы,

Объективы системы расположены в два ряда, симметрично относительно главной оси камеры. Кассеты размещены на камерной части по три кассеты в каждом ряду и полностью взаимозаменяемы.

Система обладает широкими эксплуатационными возможностями. При компенсации сдвига изображения угловая скорость регулируется в пределах от 16,9 до 38 мрад/с, что обеспечивает возможность фотографирования в диапазоне высот полета от 200 до 400 км.

Народным предприятием «Карл Цейс Йена» был создан также специальный многозональный проектор типа МСП-4, предназначенный для обработки полученных в полете материалов и обеспечивающий высокоточное совмещение снимков и синтезирование цветных изображений.

Многозональной съемкой аппаратурой МКФ-6 во время полета «Союза-22» были охвачены не только среднеширотные, но и высокоширотные районы нашей страны, и, таким образом, были получены изображения широкого диапазона ландшафтных зон — от северных таежных районов, включая зону вечной мерзлоты, до южных пустынь, и от приморских равнин Прибалтики и заболоченных низменностей Западной Сибири до высокогорных районов Памира. На Землю было доставлено свыше 2000 высококачественных снимков, каждый из которых охватывает участок 165 X 115 км с разрешением у земной поверхности порядка 10 — 20 м.

Использование фотографий, полученных с помощью аппаратуры типа МКФ-6, дает существенный прирост, например, геологической информации, не говоря уже о резком повышении надежности картографирования различных геологических объектов и явлений. Разумеется, это вовсе не означает, что снимки из космоса приводят немедленно к открытию неизвестных ранее месторождений полезных ископаемых. Речь идет о получении очень важного набора сведений о различных геологических формациях, который уже сегодня позволит сделать фронт поисковых работ более направленным.

Так, выходы тех или иных минералов обычно соседствуют со своими «излюбленными» геологическими структурами, скажем, с тектоническими разломами. Аналогичные «наводящие» указания можно получить в отношении горючих ископаемых.

Следует подчеркнуть две особенности фотографий, полученных с помощью системы, подобной МКФ-6. Первая — возможность получения различных синтезированных (в условных цветах) изображений. На таком снимке цветопередача не соответствует реальным цветам объектов, а используется для увеличения контрастности между объектами различной яркости. Это существенно расширяет возможности традиционной обработки фотографических изображений, облегчает дешифрирование и выявление физических свойств и состояний исследуемых объектов на полученных фотографиях, повышает информационный выход материалов как для научных, так и для прикладных задач.

Вторая особенность — возможность получения широкого диапазона масштабов изображения, как минимум два масштабных ряда. Это позволяет вести изучение территории от общего к частному, например, от установления общих закономерностей геологического строения до выявления локальных структурных форм, подлежащих оценке на перспективы обнаружения новых скоплений полезных ископаемых, а также давать прогноз сейсмической активности изучаемых регионов.

За счет вращения Земли орбита космического корабля смещается с каждым витком. Таким образом, при съемке на соседних витках один и тот же участок земной поверхности фотографируется из двух точек пространства. Кроме того, каждый последующий кадр захватывает часть площади, запечатленной на предыдущей, со степенью перекрытия от 20 до 80%. Это дает возможность получать стереоскопические, т. е. объемные, изображения земной поверхности. Их информативность значительно выше обычных, «плоских», снимков.

Стержневой проблемой в исследованиях природных ресурсов Земли из космоса в настоящее время стала обработка видеоинформации. Для того чтобы проиллюстрировать масштабы работ, которые необходимо провести на Земле после получения фотографий, можно привести такой пример. Если' взять один снимок, приблизительно эквивалентный кадру, получаемому, например, с помощью системы МКФ-6, и охватывающий площадь 100 X 100 км с разрешением 10 м, то он будет содержать около 100 млн. бит информации. И это всего один снимок. В эксперименте на «Союзе-22» только в течение одной недели получено свыше 2000 фотографий. Естественно, возникает вопрос об автоматизации самого процесса дешифрирования и анализа космической видеоинформации.

Это очень важная проблема. Ведь сократить здесь сроки — значит увеличить полезную отдачу. Для этого нужно широко использовать современные средства автоматизации, в первую очередь вычислительную технику. Однако сопоставление параметров быстродействия и производительности современных вычислительных машин с объемом космической видеоинформации показывает невозможность построения на их основе систем обработки данных в реальном масштабе времени. Отсюда возникает необходимость специализации ЭВМ применительно к специфическим особенностям космической видеоинформации. Эта специализация затрагивает в основном внешние устройства. Их состав должен быть пополнен устройством ввода — вывода изображений и средствами оперативной связи «человек — машина» типа дисплей с полутоновым и цветным изображением.

Простейший вариант анализа космической видеоинформации на ЭВМ заключается в том, что мы «предъявляем» машине обычное черно-белое изображение. Она определяет яркости заснятых из космоса объектов и переводит их в соответствующие цифры. Число зависит от оптической плотности изображения объекта на снимке. Получив цифровой смысл фотографического снимка, ЭВМ затем может выполнять с ним самые различные операции — проводить изолинии, соответствующие одной и той же яркости, «оконтуривать» элементы одного и того же типа, подсчитывать их площади.

Более сложными являются программы автоматического распознавания образов по их спектральной яркости (упрощенному представлению спектра). В настоящее время ученые только «учат» ЭВМ решать такие задачи.

Как уже говорилось выше, из космоса выполняется многозональная съемка специально выбранных эталонных участков земной поверхности, на которых имеются объекты, типичные для тех или иных районов Земли,

Одновременно выбранный район земной поверхности фотографируется с самолета со значительно меньшего расстояния. И наконец, на самой поверхности Земли в данном районе проводятся разнообразные измерения параметров грунта, растительности и т. д., в том числе определение спектральных характеристик выбранных объектов.

В результате всех этих скоординированных между собой операций получают взаимосвязанные показатели, которые позволяют интерпретатору сделать выводы о характере и изменениях растительного покрова, геологических структурах, загрязнении воды, распределении водных ресурсов и многом другом, и прежде всего установить однозначное соответствие реального объекта и его «спектрального образа» на спектральном снимке по признаку яркости. Создание «библиотеки» таких спектральных образов различных объектов и явлений на поверхности Земли и в ее атмосфере обеспечивает автоматический анализ с помощью электронно-вычислительной техники переданных с космических кораблей фотографий районов, в которых прямые наземные

и самолетные наблюдения не проводились. В соответствии с заложенной в нее программой ЭВМ сравнивает измеренные по снимку яркости различных зон с эталонными, хранящимися в ее памяти, и сообщает, каким земным объектам соответствуют эти яркости.

Считается, что в недалеком будущем усовершенствование дистанционного метода позволит проводить и более тонкий анализ. Допустим, на фотографии имеется участок, засеянный какой-то сельскохозяйственной культурой. Каждый этап ее роста характеризуется определенным спектром. Если в память ЭВМ заложить данные об изменении этого спектра во времени, то будет возможно определить, в какой стадии созревания находятся посевы. Но и это еще не все. Даже одновременно посеянные хлеба дают разный спектр из-за неодинакового содержания влаги в почве, количества внесенных удобрений и других факторов, влияющих на интенсивность роста. А это значит, что по тем или иным спектральным отличиям в принципе станет возможным оценивать будущий урожай.

Фотографические системы позволяют использовать многозональный метод лишь в оптическом и самом ближнем инфракрасном диапазоне. Чтобы получить данные в других диапазонах спектра электромагнитного излучения, необходимы иные типы устройств. Нет нужды много говорить о важности их разработки. Так, измерения в области теплового инфракрасного излучения являются хорошим индикатором температурных изменений природных образований. В частности, с помощью инфракрасных приборов можно обнаруживать участки растительности, пораженные заболеваниями, а следовательно, имеющие более высокую температуру; выявлять выходы геотермальных вод, глубинные разломы земной коры и многое другое. Важнейшее достоинство теплового инфракрасного диапазона — возможность «видения» как днем, так и ночью.

«Всепогодностью» обладают и измерения в радиодиапазоне. Основной измеряемый здесь параметр — так называемая радиояркостьная температура отдельных участков поверхности Земли. Она сильно зависит от влажности, характера почвы, содержания в ней солей. Таким образом, исследуя радиоизображения поверхности Земли, мы можем получить всю эту информацию. Наконец, увеличение длины волны дает возможность просматривать не только самый верхний покров Земли, но и слой, толщина которого порядка нескольких длин электромагнитной волны. Так, иногда в метровом диапазоне радиоволн можно получить информацию о слое толщиной в несколько метров.

Очень большой интерес радиозондирование, представляет для исследования океана. Радиояркостьные измерения здесь можно дополнить радиоальтиметрией и тонкими измерениями сдвигов частот сигнала, отраженного от движущихся тел (эффект Доплера). Таким образом, помимо тепловой карты поверхности океана, можно получить данные о волнении, скорости, ветров и течений.

Возможности радиодиапазона этим не исчерпываются. Радиолокационные изображения поверхности Земли могут использоваться для изучения природных образований с помощью так называемых радиолокационных образов (аналог спектральных образов).

В настоящее время намечается новый этап космических исследований Земли — внедрение их в практику народного хозяйства. Предполагается, что на этом этапе будут отработываться три вида технических средств и методов дистанционного зондирования Земли из космоса.

Первый — фотографические системы, которые обладают наибольшими информативностью и разрешением, но не могут дать «мгновенную» информацию для практического пользования.

Далее, метод передачи информации по телевизионным каналам, который позволяет получать оперативную информацию, но не обеспечивает высокого разрешения, нужного для решения многих задач.

Наконец, комбинация оптических и радиометрических измерений, которые найдут, по-видимому, наибольшее применение в изучении Мирового океана.

Большое внимание будет также уделяться отработке средств сбора через спутники «природной» информации с морских буев и наземных станций.

Таким образом, исследования Земли из космоса представляют собой сложную научно-техническую проблему, для решения которой требуется объединение усилий ученых и практиков, конструкторов и инженеров, специалистов самых разных областей науки и техники. Только совместными скоординированными усилиями многих научно-исследовательских институтов и конструкторских бюро можно выполнить задачу, поставленную XXV съездом партии: расширить исследования по применению космических средств при изучении природных ресурсов Земли, в интересах метеорологии, океанологии, навигации, связи и других нужд народного хозяйства.

20 ЛЕТ КОСМИЧЕСКОЙ ЭРЫ. Сборник.

Составитель **Г. А. Скуридин.**

Главный отраслевой редактор *В. П. Демьянов*

Редактор *Е. Ю. Ермаков*

Младший редактор *Т. И. Полякова*

Обложка *А. А. Смирнова*

Худож. редактор *М. А. Гусева*

Техн. редактор *Т. Ф. Айдарханова*

Корректор *В. И. Ширяева*

Т-15916. Индекс заказа 74210. Сдано в набор 25.VIII 1977 г. Подписано к печати 24.VIII 1977 г. Формат бумаги 84X1081/32. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1,0. Печ. л. 2,0. Усл. печ. л. 3,36. Уч.-изд. л. 2,92. Тираж 30 280 экз. Издательство «Знание». 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Заказ 1482. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 11 коп.

