

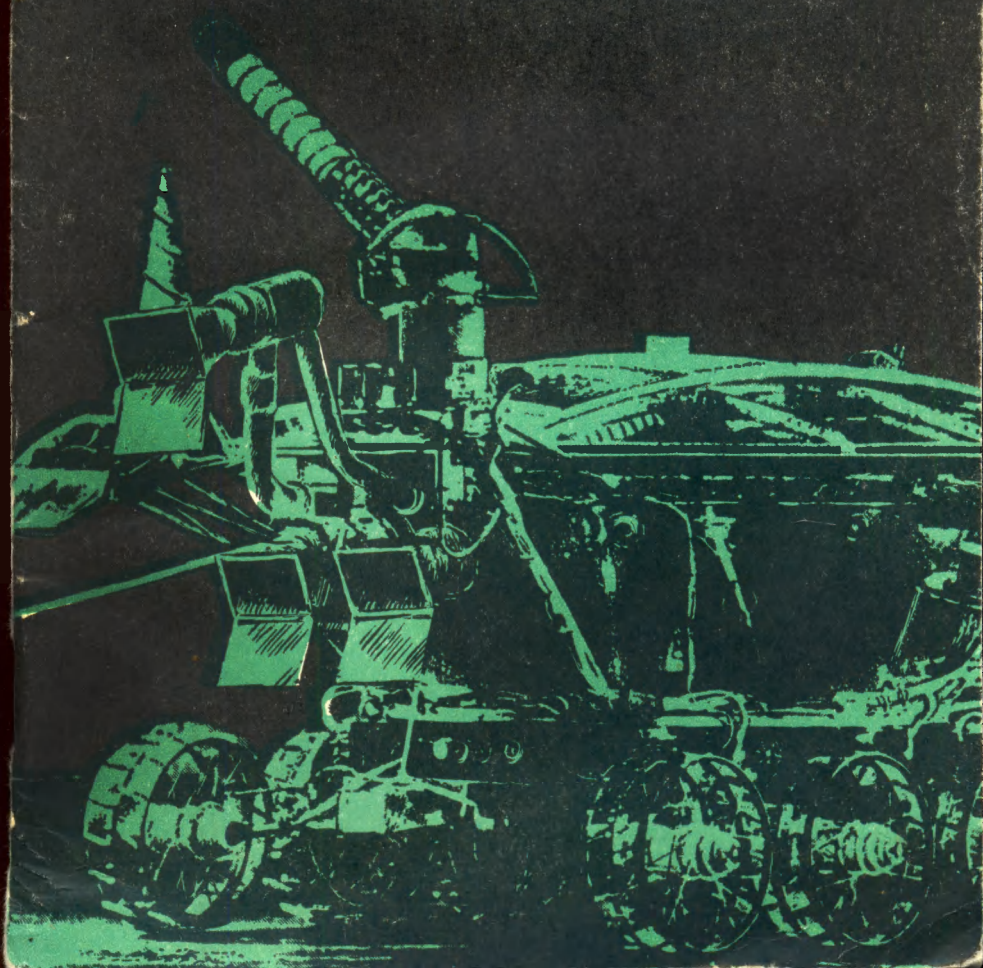
НОВОЕ
В ЖИЗНИ, НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

ЗНАНИЕ

12/1973

СЕРИЯ
КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ

СОВРЕМЕННЫЕ
ДОСТИЖЕНИЯ
КОСМОНАВТИКИ



**СОВРЕМЕННЫЕ
ДОСТИЖЕНИЯ
КОСМОНАВТИКИ**

Сборник

**ИЗДАТЕЛЬСТВО «ЗНАНИЕ»
Москва 1973**

С56 **Современные достижения космонавтики.**
Сборник. М., «Знание», 1973.

64 с. (Новое в жизни, науке и технике. Серия «Космонавтика, астрономия», 12).

Славные страницы в героическую летопись освоения космоса за прошедший год вписали полеты советской автоматической станции «Луна-21», доставившей на поверхность нашего естественного спутника «Луноход-2»; искусственные спутники Земли серии «Прогноз», «Космос» и др. Продолжаются рабочие консультации по проведению в 1975 г. важного международного эксперимента по стыковке космических аппаратов «Союз» и «Аполлон».

Сборник, составленный в основном по материалам, опубликованным в центральной печати, рассказывает об этих достижениях. Комментарии известных советских ученых и инженеров знакомят читателя с широким кругом проблем.

2—6—5

6Т6

т. п. 1973 г. № 74 г.

СО Д Е Р Ж А Н И Е

Автоматика и космос	3
«Луноход-2» в кратере Лемонье	7
Взаимопомощь в космосе	22
«Луноход-2»: предварительные результаты исследований	41
Краски космоса	51
Сообщает «Прогноз»	56
Радиомосты через Вселенную	61

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ

Сборник

Составитель А. Коваль

Редактор Р. Базурин

Обложка В. Блинов

Худ. редактор В. Конюхов

Техн. редактор Т. Айдарханова

Корректор А. Пузакова

А11940. Индекс заказа 34212. Сдано в набор 21/Х 1973 г. Подписано к печати 29/ХІ 1973 г. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага типографская № 3. Бум. л. 1. Печ. л. 2. Усл.-печ. л. 3,38. Уч.-изд. л. 3,23. Тираж 71 680 экз. Издательство «Знание», 101835, Москва, Центр, проезд Серова, д. 3/4. Заказ 1810. Типография Всесоюзного общества «Знание». Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4. Цена 10 коп.

© Издательство «Знание», 1973 г.

Автоматика и космос

Рациональное взаимодействие между человеком и машиной, человеком и техническими системами, которые он разрабатывает и которыми управляет, становится одной из самых актуальных проблем науки. Ярким примером эффективного применения автоматических систем служит исследование и освоение космоса, где со всей полнотой проявились возможности современной автоматки, вычислительной техники, радиоэлектроники. В этой области как нигде остро стоит вопрос о рациональном сочетании применения автоматических средств и исследований с участием человека, особенно актуальна задача взаимодействия людей и автоматических устройств.

Здесь можно выделить три основных направления: создание автоматических средств, полностью решающих задачу без участия человека; непрерывное или периодическое управление со стороны человека, находящегося на Земле, беспилотными космическими аппаратами; полеты человека в космос и управление космическими аппаратами (кораблями, орбитальными станциями), приборами и экспериментальными установками с борта этих аппаратов.

В космосе, как, пожалуй, ни в какой другой сфере, автоматы прокладывают дорогу людям. Они ведут разведку, приносят первые данные о космическом пространстве, и только затем наступает очередь человека. Искусственные спутники Земли применяются для решения многих практических задач. Несут службу спутники связи, метеорологические, навигационные. Трудно переоценить значение спутников и для изучения земных ресурсов. Еще долгие годы автоматические станции останутся единственным средством непосредственного изучения дальнего космоса и планет.

Передвижные исследовательские лаборатории типа «Луноход» послушно следуют командам экипажа, удаленного почти на 400 тыс. км. Для этого ученым надо было создать комплексную систему автоматизированного управления на основе информации, передаваемой с борта лунохода на Землю.

Примером комплексного исследования космического пространства с непосредственным участием людей явился уникальный эксперимент, выполненный с помощью первой научной орбитальной станции «Салют». Он в полной мере раскрыл возможности человека, находящегося на борту орбитальной станции, оборудованной разнообразными системами, приборами с автоматизированным дистанционным и ручным управлением. Запуск станции типа «Салют» — начало большого пути, по которому, несомненно, пойдет космонавтика в освоении космического пространства.

Каковы же перспективы развития космонавтики и использования ее достижений во имя человека? Остановимся лишь на некоторых задачах, связанных с развитием автоматических средств управления.

На повестке дня создание комплексной автоматизированной системы обработки научной информации, получаемой со спутников, которая результаты эксперимента сразу представляет в виде, удобном для исследователя. При этом возможна предварительная обработка данных на борту космического аппарата, что позволит более рационально использовать радиоканалы передачи информации на Землю. Применение ЭВМ открывает возможности не только пассивно регистрировать получаемые данные, но и активно управлять экспериментом в зависимости от его результатов.

Сложнейшие задачи ставит перед специалистами в области управления проблема создания планетоходов. Не говоря о трудностях разработки автоматических систем высокой надежности для суровых условий космоса, сам процесс управления таким аппаратом требует совершенно нового подхода. Громадное расстояние даже до ближайших планет приводит к запаздыванию сигналов. Это практически исключает непосредственное дистанционное управление планетоходом и требует новых решений, например автоматизированных систем, способных определенное время работать в автономном

режиме. Если в задачи таких аппаратов включить еще и выполнение тех или иных операций на поверхности планет — взятие и анализ грунта или перемещение в условиях сложного рельефа, то встанет вопрос о конструировании роботов, наделенных элементами искусственного интеллекта.

Такие аппараты — многоуровневые иерархические системы — будут периодически получать команды на проведение экспериментов и реализовывать их самостоятельно. Научная информация на борту таких аппаратов пройдет предварительную обработку еще до передачи на Землю.

Специалистам в области навигации предстоит немало поработать, чтобы обеспечить перемещение планетоходов, как и луноходов, по невидимой с Земли части поверхности планеты или Луны. Весьма полезными для решения этой задачи окажутся специальные навигационные спутники планеты или Луны, а также использование для этих целей части аппаратуры исследовательских спутников.

Интересные перспективы открывает применение различных космических комплексов, например комбинированных систем, состоящих из автоматических станций типа «Луна-16» и «Луна-20» и луноходов. Они могли бы брать образцы грунта из разных участков Луны, доставлять их к месту старта ракеты «Луна — Земля» и помещать вместе с материалами других экспериментов в возвращаемый контейнер этой ракеты. Такие же, но во много раз более трудные задачи встанут и при исследовании планет Солнечной системы.

Одно из важнейших направлений развития космонавтики — долговременные пилотируемые орбитальные станции. Присутствие экипажа на борту не только не уменьшает роль автоматических средств, а, наоборот, увеличивает. Ведь в их задачу входит поддержание с высокой надежностью нормальных условий жизнеобеспечения космонавтов, ориентация, стабилизация и маневрирование станций в режиме как ручного, так и автоматического управления. Эффективное выполнение экспериментальных работ и научных наблюдений невозможно без автоматизированной системы управления научным оборудованием и автоматизации по крайней мере первичной обработки информации.

В перспективе станет актуальным создание специальных автоматизированных телеуправляемых беспилотных или пилотируемых станций обслуживания, предназначенных как для ремонта и замены отдельных блоков на исследовательских спутниках и спутниках народнохозяйственного назначения, так и для внешнего обслуживания долговременных орбитальных станций.

Такие станции обслуживания придется оснастить манипуляторами для выполнения различных операций в космосе, автоматическими устройствами и средствами вычислительной техники. Эти системы будут управляться как, например, с борта самой орбитальной станции, так и непосредственно человеком, находящимся в кабине. Станции обслуживания представляются как кибернетические устройства в самом широком и полном смысле этого слова. В более далекой перспективе они смогут выполнять различные монтажные операции по сборке крупных станций на орбите и сварке их корпусов из рулонных листовых материалов, доставляемых отдельными ракетами-носителями. Станции могли бы использоваться и для монтажа на орбите больших антенн радиотелескопов и выполнения других операций в космосе.

Не будет преувеличением сказать, что в скором времени начнется лавинообразный процесс, в ходе которого новые и сложные проблемы исследования и освоения космоса будут ставить все более трудные задачи перед автоматическими системами. Прогресс в их развитии и совершенствование средств радиоэлектронной, вычислительной и лазерной техники откроют новые горизонты в освоении космоса и использовании космической техники в мирных целях.

«Луноход-2» в кратере Лемонье

В 1973 г. исполнилось шестнадцать лет со дня, когда первый космический аппарат поднялся в просторы Вселенной. За это время особенно тщательным исследованиям подверглась Луна — ближайшее к нам небесное тело. И это не случайно. Наш естественный спутник давно привлекает внимание человечества.

Изучение Луны открывает перед нами новые возможности не только в познании космоса, но и в изучении нашей собственной планеты, знания о которой, наряду с общенаучными, имеют также большое практическое значение. Действительно, мы хотели бы знать физику и структуру Земли настолько, чтобы разрабатывать полезные ископаемые на большой глубине, чтобы понять, уметь прогнозировать, а в будущем и управлять погодой, чтобы избегать нежелательных последствий от стихийных бедствий (землетрясений, извержений вулканов и др.). Луна так близка (конечно, по космическим масштабам) к Земле, что образует с ней как бы двойную планету. Причем то обстоятельство, что на Луне весьма отличные от наших условия: нет атмосферы, гидросферы, магнитного поля и др., является как раз наиболее благоприятным для того, чтобы на ее примере (как на модели) изучать историческое прошлое Земли, где воды Мирового океана, атмосфера и деятельность живых организмов полностью изменили ее облик, и все геологические, геофизические и геохимические методы изучения Земли позволяют получить известное представление о весьма коротком периоде космической истории нашей планеты лишь за последние 500 миллионов лет. В то время как возраст Земли и Луны по современным представлениям составляет не менее 4,5 миллиарда лет. Поэтому многие основные закономерности формирования и строения Земли как

планеты еще не получили однозначного истолкования.

«Луноход-2» был доставлен на Луну с помощью автоматической станции «Луна-21», стартовавшей 8 января 1973 г. Это был первый космический аппарат, посланный с Земли в 1973 г., поэтому он получил международное обозначение «1973 01А». В короткой, но насыщенной истории изучения Луны это был уже семнадцатый по счету аппарат, осуществивший мягкую посадку на ее поверхность (см. таблицу). Посадка была совершена внутри 55-километрового кратера, носящего имя французского астронома XVIII века Лемонье. Координаты точки посадки: 30 градусов 27 минут восточной долготы и 25 градусов 51 минута северной широты, неподалеку от южной кромки кратера. Этот район был выбран из тех соображений, что он находится в сложной зоне сочленения моря и материка. Изучение такой переходной зоны море — материк производилось впервые. Кроме того, недалеко от места посадки расположена весьма интересная в селенологическом отношении структура — тектонический разлом, которому было присвоено название Борозда Прямая. К востоку от кратера Лемонье расположились горы Тавр, которые хорошо просматриваются на снимке, полученном с лунохода вскоре после посадки.

Программа работы «Лунохода-2» была весьма разносторонней. Главной научной задачей, возложенной на него, было совместное изучение вариаций основных физико-химических свойств поверхности в зависимости от селенолого-морфологической обстановки в зоне перехода морского района Луны в материковый. Необходимо было получить селенолого-морфологические и топографические данные, изучить местную магнитную обстановку, химический состав поверхностного слоя и физико-механические свойства грунта, а также оптические свойства поверхности. Для решения этих задач на «Луноходе-2» были установлены магнитометр, рентгеноспектральный прибор «РИФМА» и прибор для оценки физико-механических свойств грунта. В поле зрения телефотометров были введены специальные фототелеметрические метки. Селенолого-морфологические и топографические исследования местности осуществлялись на основе съемки лунного ландшафта, в которую входило получение телевизионных панорам и снимков, а

**Космические аппараты, совершившие мягкую посадку на
поверхность Луны**

№ п/п	Название аппарата, его между- народное обозначение, страна	Дата запуска и дата прилунения (по Грин- вичу)		Район посадки	Селенографиче- ские координаты
		3	4		
1	2	3	4	5	6
1	«Луна-9» 1966 06 А СССР	31 января 1966 г.	3 февраля 1966 г.	Океан Бурь, между крате- рами Галилей и Кавальери	$\beta = 7^{\circ},1$ с. ш. $\lambda = 64^{\circ},4$ з. д.
2	«Сервейер-1» 1966 45 А США	30 мая 1966 г.	2 июня 1966 г.	Океан Бурь, к северу от кратера Флем- стид	$\beta = 2^{\circ},5$ ю. ш. $\lambda = 43^{\circ},2$ з. д.
3	«Луна-13» 1966 116 А СССР	21 декабря 1966 г.	24 декабря 1966 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Се- левк	$\beta = 18^{\circ},9$ с. ш. $\lambda = 62^{\circ},0$ з. д.
4	«Сервейер-3» 1967 35 А США	17 апреля 1967 г.	20 апреля 1967 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Лансберг	$\beta = 3^{\circ},0$ ю. ш. $\lambda = 23^{\circ},3$ з. д.
5	«Сервейер-5» 1967 84 А США	8 сентября 1967 г.	11 сентября 1967 г.	Море Спокой- ствия, к восто- ку от кратера Сабин	$\beta = 1^{\circ},4$ с. ш. $\lambda = 23^{\circ},2$ в. д.
6	«Сервейер-6» 1967 112 А США	7 ноября 1967 г.	10 ноября 1967 г.	Залив Цент- ральный	$\beta = 0^{\circ},5$ с. ш. $\lambda = 1^{\circ},4$ з. д.
7	«Сервейер-7» 1968 01 А США	7 января 1968 г.	10 января 1968 г.	К северу от кратера Гихо	$\beta = 40^{\circ},9$ ю. ш. $\lambda = 11^{\circ},5$ з. д.

1	2	3	4	5	6
8	«Аполлон-11» 1969 59 А США	16 июля 1969 г.	20 июля 1969 г.	Море Спо- койствия, к во- стоку от кра- тера Сабин	$\beta = 0^{\circ}, 7$ с. ш. $\lambda = 23^{\circ}, 5$ в. д.
9	«Аполлон-12» 1969 99 А США	14 ноября 1969 г.	19 ноября 1969 г.	Океан Бурь, к юго-востоку от кратера Лансберг	$\beta = 3^{\circ}, 2$ ю. ш. $\lambda = 23^{\circ}, 4$ з. д.
10	«Луна-16» 1970 72 А СССР	12 сентября 1970 г.	20 сентября 1970 г.	Море Изоби- лия, к западу от кратера Уэбб	$\beta = 0^{\circ}, 7$ ю. ш. $\lambda = 56^{\circ}, 3$ в. д.
11	«Луна-17» 1970 95 А СССР	10 ноября 1970 г.	17 ноября 1970 г.	Море Дож- дей, к югу от мыса Гераклид	$\beta = 38^{\circ}, 3$ с. ш. $\lambda = 35^{\circ}, 0$ з. д.
12	«Аполлон-14» 1971 08 А США	31 января 1971 г.	5 февраля 1971 г.	К северу от кратера Фра- Мауро	$\beta = 3^{\circ}, 7$ ю. ш. $\lambda = 17^{\circ}, 5$ з. д.
13	«Аполлон-15» 1971 63 А США	26 июля 1971 г.	30 июля 1971 г.	К востоку от Борозды Хэдли	$\beta = 26^{\circ}, 1$ с. ш. $\lambda = 3^{\circ}, 6$ в. д.
14	«Луна-20» 1972 07 А СССР	14 февраля 1972 г.	21 февраля 1972 г.	К северо-за- паду от крате- ра Аполлоний С	$\beta = 3^{\circ}, 5$ с. ш. $\lambda = 56^{\circ}, 5$ в. д.
15	«Аполлон-16» 1972 31 А США	16 апреля 1972 г.	21 апреля 1972 г.	К северу от кратера Декарт	$\beta = 9^{\circ}, 0$ ю. ш. $\lambda = 15^{\circ}, 5$ в. д.

1	2	3	4	5	6
16	«Аполлон-17» 1972 96 А США	7 декабря 1972 г.	11 декабря 1972 г.	К юго-западу от кратера Литтров	$\beta = 20^{\circ}, 2$ с. ш. $\lambda = 30^{\circ}, 7$ в. д.
17	«Луна-21» 1973 01 А СССР	8 января 1973 г.	16 января 1973 г.	Восточная ок- раина Моря Ясности, кра- тер Лемонье	$\beta = 25^{\circ}, 85$ с. ш. $\lambda = 30^{\circ}, 45$ в. д.

также данных о длине пройденного пути и положении аппарата на лунной поверхности.

В отличие от «Лунохода-1» на борту «Лунохода-2» был установлен ряд новых приборов, предназначенных для решения интересных в научном и техническом отношении задач. В частности, был установлен астрофотометр, измеряющий светимость лунного неба, радиометр, измеряющий характеристики космического излучения, фотоприемник «Рубин-1», служащий для проведения экспериментов по лазерной пеленгации лунохода. Кроме того, на «Луноходе-2» вновь был установлен французский уголкового отражатель лазерного излучения. Эксперименты по лазерной пеленгации и лазерной локации проводились с целью уточнения координат лунохода и его положения относительно элементов окружающего рельефа, а также параметров самой Луны.

Возможности прибора «РИФМА», установленного на «Луноходе-2», были существенно расширены по сравнению с прибором «Лунохода-1». Это повысило эффективность исследования химического состава лунного грунта. Наряду с этим и в ряд других систем «Лунохода-2» были внесены изменения и усовершенствования. Повысилась частота передачи телевизионных изображений, передаваемых с помощью курсовых телекамер, увеличилась высота установки одной из камер. Более четкими стали принимаемые изображения. Повысилась мобильность и маневренность самоходного аппарата.

Особенности работы «Лунохода-2»

Самоходный автоматический аппарат «Луноход-2» отлично справился с той работой, которая была на него возложена. В этом большая заслуга экипажа, который, оставаясь на Земле, умело им управлял. Да, у лунного автомата был свой экипаж. Это штурман, водитель, бортинженер, оператор и командир. Четко и слаженно управляли они луноходом, а вместе с ними несли вахту представители медицинской службы, которые вели непрерывный контроль за физическим и психологическим состоянием членов экипажа, оценивая уровень их нервно-эмоциональной напряженности. Эффективность работы «Лунохода-2» во многом зависела от состояния экипажа, поэтому и следили медики с помощью специальной аппаратуры за состоянием зрительного и двигательного анализаторов, а также оценивали ведущие психические функции — память, внимание, мышление. О напряженности работы экипажа свидетельствует то, что он менялся через каждые два часа. Члены экипажа должны были уметь по телевизионным картинкам, получаемым с лунохода, как можно точнее определить расстояние до препятствий, размеры камней и кратеров. Им необходимо хорошо развитое пространственное воображение («плоские» изображения на телевизионной картине видеть объемными). Им нужны хорошая зрительная память, правильное, логическое мышление и др.

Эффективность управления «Луноходом-2» существенно возросла по сравнению с «Луноходом-1», и дело здесь не только в приобретенном экипажем опыте, но и в том, что создатели аппарата учли их пожелания и внесли в луноход и его системы необходимые усовершенствования. Вот почему «Луноход-2» за время своей работы прошел 37 км, в то время как «Луноход-1» преодолел только 10,5 км. Но научная ценность работы лунохода на поверхности Луны, конечно, не только и не столько оценивается решением задач движения. На аппарате смонтирован комплекс научных приборов, которые работали по заранее спланированной программе. Они выдавали информацию по командам с Земли. Однако в ходе текущего сеанса часто возникали ситуации, когда в поле зрения лунохода появлялись предметы или участки поверхности, которые представляли неожидан-

ный интерес для селенологов. В этом случае командир экипажа должен оперативно принять правильное решение, поэтому его мысль всегда напряженно работает, учитывая цель и задачи текущего сеанса, определяя время на проведение неожиданно возникшего эксперимента, оценивая состояние бортовых систем и их температурные режимы, высоту Солнца на лунном небе, запас энергии на борту лунохода, время захода Луны за земной горизонт в районе Центра дальней космической связи и другие факторы. В отличие от «Лунохода-1» «Луноход-2» и его экипаж научились осуществлять повороты в движении, что существенно улучшило динамическую маневренность. Этому способствовало также то, что на «Луноходе-2» была установлена так называемая выносная телекамера, поднятая над корпусом машины. Дело в том, что оба телеглаза «Лунохода-1» располагались внизу и обзревали местность с высоты человека, присевшего на корточки. Теперь же с помощью «верхней» телекамеры водитель может смотреть вперед, как человек, стоящий во весь рост. Поэтому он лучше видит встречающиеся на пути камни, воронки и другие препятствия.

Итак, луноход сошел с посадочной платформы на поверхность Луны. После проверки всех бортовых систем самоходный аппарат начал движение. Он заснял панораму местности с большим кратером, на краю которого опустилась посадочная платформа. Затем, развернувшись, пошел на юго-восток.

Предварительные результаты

В течение первого лунного дня «Луноход-2» удалился от места посадки почти на километр. Затем он продолжал движение в юго-восточном и южном направлениях, покинув район типично морского характера и войдя в холмистую предматериковую зону.

Надо отметить, что Море Ясности, на восточной окраине которого начал действовать «Луноход-2», представляет собой обширную лавовую равнину, поверхность которой в отличие от других кольцевых морей не осложнена крупными кратерами. В пределах морского участка движения лунохода на его пути встречались такие

формы рельефа, как малые кратеры и в отдельных случаях сопряженные с ними россыпи камней. Реже встречались свежие кратеры, чаще — сильно сглаженные древние.

По трассе движения удалось оценить относительное количество так называемых вторичных кратеров, образовавшихся в результате удара о поверхность выбросов из более крупных кратеров. Вторичных кратеров с размерами от 0,5 до 2 м оказалось только 0,25% от общего числа кратеров. Удалось оценить мощность верхнего слоя поверхности (реголита), толщина которого колебалась от 1 до 6 м.

Двигаясь дальше по холмистой предматериковой зоне, луноход достиг внешнего склона вала двухкилометрового кратера. Были обнаружены оползневые террасы протяженностью 10—15 м. Плотность малых кратеров уменьшилась в 2—3 раза по сравнению с «морской» плотностью. Мощность реголита местами стала достигать 10 м. Продолжая движение в восточном направлении, луноход достиг Бухты Круглой. Так был назван небольшой залив южной кромки кратера Лемонье, находящийся примерно в 15 км к юго-востоку от точки посадки станции «Луна-21». В этом районе также были обнаружены оползневые явления. При приближении к материковому массиву в районе Бухты Круглой на склонах крутизной до 17 градусов были отмечены образования в форме террас протяженностью в несколько сот метров.

Двигаясь дальше на восток, «Луноход-2» подошел к интересному тектоническому разлому, названному Борозда Прямая. Было установлено, что протяженность Борозды — 15—16 км, а глубина ее — 40—80 м. Подобные тектонические разломы свидетельствуют о происшедших в прошлом перемещениях крупных участков лунной коры. На Луне (благодаря практическому отсутствию эрозии) тектонические разломы сохраняются на протяжении миллиардов лет и дают возможность наблюдать вертикальный разрез пород.

По мере приближения к Борозде Прямой отмечалось уменьшение толщины реголита и на бровке разлома обнажились породы скального основания в форме каменного «бордюра», отмеченного на всем протяжении обследованной части борозды. Обломки горных пород

имели размеры 1—2 м. За «бордюром» крутизна стенок борозды составляла 30—35 градусов и склоны ее покрыты осыпью, состоящей из крупных глыб и камней. Таким образом, «Луноход-2» установил место выхода коренных скальных пород толщиной в несколько десятков метров.

Магнитометр лунохода с приближением к Борозде в различных ее участках фиксировал возрастание напряженности магнитного поля. По-видимому, это является доказательством связи собственного магнитного поля Луны с поверхностными структурами. Как отмечает академик А. П. Виноградов, происхождение этой остаточной намагниченности пород Луны — проблема кардинального значения, ключевая для выяснения истории Луны в космосе.

По всей трассе движения лунохода систематически проводились исследования структуры грунта, его механических характеристик, выявление и изучение неоднородностей в строении верхнего слоя и устанавливалась взаимосвязь физико-механических свойств грунта с седенолого-морфологическими особенностями местности. Отдельные образования исследовались более детально.

Анализ показал, что структура верхнего слоя грунта соответствует мелкозернистому материалу, обладающему заметным сцеплением. Механические свойства грунта по трассе движения менялись в широких пределах. Так, несущая способность колебалась от 0,1 до 1,5 кг/см². Были обнаружены участки поверхности с небольшим слоем рыхлого материала на твердом основании.

При модернизации прибора «РИФМА», установленного на «Луноходе-2», было обращено особое внимание на более точное определение содержания железа. Дело в том, что в грунте материков его содержится меньше, чем в морях. Поэтому при исследовании переходной зоны море — материк необходимо было более точно проследить содержание железа и определить отношение содержания железа к другим элементам (например, алюминию).

Вблизи посадочной ступени замеры дали следующие результаты: содержание железа $6 \pm 0,6\%$, алюминия $9 \pm 1\%$. Интересно, что измерения, проведенные «Луноходом-1» в Море Дождей, дали содержание железа 10—

12%. В дальнейшем при продвижении «Лунохода-2» к холмам содержание железа стало снижаться и составило при удалении от точки посадки на пять километров $4,9 \pm 0,4\%$. А самое низкое значение составило $4,0 \pm 0,4\%$ (при этом содержание алюминия возросло до $11,5 \pm 1,0\%$).

Двигаясь по намеченному маршруту, луноход пересекал области с различными отражающими свойствами (альбедо), а по этим данным можно косвенным образом судить о типе пород. С помощью метода сравнительного анализа эти данные, полученные с «Лунохода-2», могут быть использованы для отождествления типа пород в самых различных районах Луны.

Кроме исследования намагниченности вблизи Борозды Прямой, о чем уже говорилось, магнитные измерения проводились и на других участках исследуемого района. Для этих целей использовался трехкомпонентный феррозондовый магнитометр. Магнитные измерения проводились как во время движения, так и на стоянках. Полученные данные позволяют заметить, что магнитное поле на поверхности Луны очень неоднородно. Все кратеры вдоль трассы отмечены аномалиями в распределении поля. На стоянках отмечались характерные изменения поля, которые свидетельствуют о процессах индукции токов в теле Луны под действием меняющихся внешних полей.

Интересные эксперименты были проведены по лазерной пеленгации с использованием фотоприемника «Рубин-1», установленного на борту лунохода.

Оптические квантовые генераторы (лазеры), размещенные на высокогорной обсерватории Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга в горах Заилийского Алатау под городом Алма-Атой и в других пунктах Советского Союза, посылали световой импульс на луноход, который принимался «Рубин-1» и ретранслировался на Землю по радиолинии. Было зарегистрировано около 4000 попаданий лазерного луча в фотоприемник «Рубин-1» и получено более 1500 фотографий Луны с отметками направления лазерного луча для измерения селенографических координат лунохода. Это позволило, независимо от других способов измерений, с высокой точностью определить координаты лунохода.

На «Луноходе-2», как уже говорилось, был установлен безлинзовый электронный телескоп — астрофотометр. Прибор предназначался для приема как видимого глазом излучения, так и ближнего ультрафиолетового излучения, для чего у него имелось два канала.

С помощью этого прибора решались три основные задачи. Во-первых, определялось свечение ночного неба на Луне, что очень важно для понимания возможностей проведения астрономических наблюдений с лунной поверхности. Во-вторых, изучалось зодиакальное свечение неба (явление зодиакального света образуется благодаря рассеянию солнечной радиации на метеорных частицах). С лунохода предоставляется возможность изучать зодиакальный свет на очень близких расстояниях от Солнца, что недоступно наблюдателям с Земли. Третья задача — это выяснение спектрального состава нашей Галактики (Млечного Пути) и окружающих ее звездных полей.

За время работы «Лунохода-2» было проведено 14 включений астрофотометра, позволяющего измерить яркость лунного неба. Анализ полученных данных показал, что неожиданно высокой оказалась яркость в видимых лучах дневного и «сумеречного» (после захода Солнца за местный горизонт) неба Луны. Полученные данные свидетельствуют о том, что эта яркость в 10—15 раз превосходит светимость ярких участков ночного неба, наблюдаемого с поверхности Земли. Одновременно с этим по другому каналу замерялась светимость лунного неба в ультрафиолетовой части спектра. Она оказалась не высокой и лишь несколько больше той, которая наблюдалась с околоземных спутников «Космос-51» и «Космос-213» на ночной стороне Земли. В дальнейшем эти данные будут уточняться, но то, что получено, свидетельствует о том, что Луна окружена слоем пылевых частиц, сильно рассеивающих видимый солнечный свет и свет от Земли.

Проводились измерения также и глубокой лунной ночью. В этом случае астрофотометр был нацелен в местный зенит и не мог видеть пыли, освещенной Солнцем. Оказалось, что ночью яркость лунного неба лишь не на много больше или такая же, как измеренная со спутников яркость неба в околоземном космическом пространстве на теневой стороне Земли.

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что небо над Луной достаточно «темное» для проведения с ее поверхности ультрафиолетовых астрономических наблюдений, как днем, так и ночью. Что же касается наблюдений в видимом диапазоне, то от дня к ночи условия меняются существенно. Эти данные имеют большое значение для будущего освоения Луны и использования ее как места для развертывания астрономических обсерваторий.

Перспективы освоения Луны

Эра изучения Луны с помощью космических аппаратов началась в 1959 г. С тех пор мы узнали о нашем естественном спутнике очень много важной информации. Теперь нам известно, что на Луне практически нет атмосферы и магнитного поля, мы знаем физико-механические характеристики и химический состав лунного грунта в различных ее районах. Получен опыт передвижения по поверхности Луны космонавтов и автоматических самоходных аппаратов.

Возникает естественный вопрос: а каковы будущие устремления человека по отношению к Луне? Станет она лишь великолепной научной базой человечества или же будет местом развертывания космического хозяйства с развитой горнодобывающей промышленностью и мощными энергетическими системами, куда со временем будут вынесены с Земли наиболее вредные виды производства?

Нам кажется, что будущее Луны — это и комплексная научная база для разносторонних селенолого-морфологических, астрофизических, физико-химических, медико-биологических и других исследований (в основном на первом этапе ее освоения), и форпост в расселении человечества на просторах Вселенной. Именно это небесное тело, на наш взгляд, будет преобразовано по замыслу человека для его обживания и всестороннего хозяйственного использования.

Как это будет происходить? Можно предположить два пути. Один из них заключается в использовании естественно сложившихся условий на Луне для строительства на ее поверхности применительно к рельефу

и грунту сложных технических и жилых сооружений, а также в переработке полезных ископаемых, необходимых для лунных поселений. Такой путь освоения и колонизации Луны уже описывался в различной литературе. Однако нам представляется, что рациональным окажется более кардинальное преобразование лунных условий в глобальном масштабе с целью превращения ее в будущем в небесное тело, приспособленное для жизни и деятельности человека.

Что для этого нужно? Хотя еще сегодня мы не знаем до конца всех тонких проблем, связанных с созданием нормальных условий для биосферы, тем не менее ряд основополагающих, ключевых вопросов нам уже известен. Мы знаем, например, что для нормального существования жизни необходимо магнитное поле с определенными характеристиками (именно такое поле есть у нас на Земле). Кроме этого, должна быть обеспечена соответствующая радиационная обстановка, которая не является губительной для живой материи. На нашей планете такую обстановку создает, во-первых, геомагнитное поле, которое экранирует поверхность Земли, образуя зоны захваченной радиации (так называемые радиационные пояса Земли, впервые открытые с искусственных спутников), во-вторых, атмосфера, которая является мощным экраном, не пропускающим губительную радиацию к поверхности. Наряду с этим общеизвестно значение атмосферы, имеющей вполне определенные характеристики, для дыхания живых организмов. Она является непременным условием существования биосферы. Все эти и ряд других особенностей, в которых возникла и развивалась жизнь на Земле, являются условиями ее существования. Эти условия не только необходимы, но и удобны для жизни и деятельности человека. Конечно, можно было бы в каких-то ограниченных объемах, например во внутренних помещениях лунной базы, создать такие же условия (они обязательно будут созданы), но это не исчерпывает всех потребностей человека при всестороннем освоении и использовании Луны, при ее глобальном обживании.

Нам кажется, что природные условия на нашем естественном спутнике должны быть приближены к земным. Там должна быть создана атмосфера, молекулярный вес которой, однако, должен быть больше, чем у

привычного для нас воздуха. Это объясняется тем, что в условиях существенно меньшего по сравнению с земным гравитационного потенциала Луны более тяжелая атмосфера с меньшей скоростью будет диссипировать в космическое пространство и ее «подпитка» будет делом технически вполне осуществимым. Можно, наконец, создать такую атмосферу, которая не снимет необходимости работы в скафандрах, но это будут легкие, удобные скафандры, не мешающие деятельности человека, чего не удастся сделать, когда на Луне нет никакой атмосферы. Но и к тому же атмосфера станет хорошим «броневым» щитом, который предохранит поверхность Луны от галактического космического излучения и излучения солнечных вспышек.

Этой же цели будет служить искусственно созданное магнитное поле Луны, характеристики которого будут выбраны таким образом, чтобы создать наиболее рациональные условия жизнедеятельности на поверхности.

Несмотря на кажущуюся фантастичность, все это вполне осуществимо даже с нынешних технических позиций. Создание благоприятной радиационной и магнитной обстановки и атмосферы вызовет к жизни своеобразную лунную флору и приведет в конечном итоге к появлению на Луне своеобразной биосферы, которая сделает ее маленькой планетой жизни на пути расселения человечества на безграничных просторах Вселенной.

На этом этапе Луна станет терять свое значение форпоста науки, имеющего благоприятные условия для астрофизических и других исследований. Она будет превращаться как бы в седьмой континент нашей планеты, на котором люди будут иметь все условия для работы и жизни. Научные станции в основном перекочат на спутники других планет (например, Юпитера, Сатурна и т. д.). Луна станет экономически одним из наиболее развитых районов системы Земля — Луна, разгрузив нашу планету от энергоемкого производства. Часть космического хозяйства Земли, размещенная на нашем естественном спутнике, будет охватывать разработку полезных ископаемых, добычу ядерного топлива для перспективных ракетных систем, отправляющихся с лунных космодромов в дальний космос. На Луне расположатся мощные радиотехнические сооружения, предназначенные для связи с межпланетными станциями, а воз-

можно, и с другими цивилизациями. Горнодобывающая промышленность Луны будет не только удовлетворять свои нужды, но и снабжать Землю редкими элементами. Наличие на нашем естественном спутнике в шесть раз меньшей силы тяжести позволит организовать производство крупных кристаллов, оптических зеркал, медицинских и химических препаратов повышенной чистоты, при изготовлении которых земная сила тяжести создает существенные помехи. Это обстоятельство будет широко использоваться при специализации будущей лунной индустрии.

Таким, возможно, окажется будущее Луны, но на пути к нему предстоит еще многое узнать о нашем естественном спутнике, о Земле и Солнечной системе в целом, тщательно изучить Луну и окололунное пространство. Эти задачи успешно решают советские автоматические аппараты, один из которых — «Луноход-2» дал науке большое количество разнообразных сведений о Луне. Полученные с лунохода данные имеют также большое значение в развитии представлений об истории Земли и прежде всего первого миллиарда лет ее жизни как планеты. Таковы законы науки — в глубь веков ради космического будущего человечества.

Взаимопомощь в космосе

Одним из важных достижений космической техники последних лет является решение проблемы стыковки космических кораблей. Над этой проблемой усиленно работали и продолжают работать ученые и инженеры как у нас, так и в США, и сейчас космические корабли осуществляют стыковку в космическом пространстве.

В результате стыковки на орбите космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» в январе 1969 г. в нашей стране была создана первая экспериментальная пилотируемая орбитальная станция. В апреле 1971 г. на орбиту искусственного спутника Земли была выведена первая в мире долговременная орбитальная станция «Салют». В июне того же года транспортный корабль «Союз-11» произвел стыковку с «Салютом» и доставил на борт станции экипаж. Не обходится без стыковки в космическом пространстве и при полетах человека на Луну. Программа полета американских кораблей «Аполлон», как известно, включала в себя операции стыковки на пути от Земли к Луне и на селеноцентрической орбите после старта взлетной ступени лунного корабля с Луны.

Стыковка в космических полетах будущего

Дальнейшее развитие космических полетов неразрывно связано с техникой стыковки. Без нее, например, невозможно создание в околоземном пространстве больших орбитальных комплексов для решения разнообразных научных и народнохозяйственных задач. Основой таких комплексов будут многоцелевые орбитальные станции, состоящие из блоков различного назначения. Эти блоки будут доставляться на орбиту ракетами и кораблями многоразового действия и заменяться новыми

по мере выполнения своих задач. Таким же способом будет осуществляться доставка и смена экипажей, обслуживающих космические станции.

Многоцелевые сборные орбитальные станции в дальнейшем станут базами, с которых могут стартовать пилотируемые космические корабли и автоматические аппараты, направляющиеся, например, к планетам Солнечной системы. Корабли будут возвращаться обратно на базу, доставляя туда материалы исследований, полученные в полете: фото- и кинодокументы, образцы пород, данные измерений и т. д. На базах будет происходить смена экипажей, заправка топливом и запасами средств жизнеобеспечения, замена оборудования, выполнение профилактических ремонтных работ. Все эти операции, конечно, потребуют многократного выполнения операций сближения и стыковки в космосе.

Трудно себе представить экспедицию людей к планетам Солнечной системы без стыковки не только около Земли, но и около самой планеты. Программы таких экспедиций будут, по-видимому, предусматривать создание базы-станции на орбите вокруг планеты. С этой базы будут совершать полеты на поверхность планеты как автоматические зонды, так и космические корабли с экипажами, которые после выполнения программы исследований будут возвращаться на орбитальную базу. С этой же базы корабли с космонавтами будут стартовать к Земле. Все это органически связано с выполнением операций сближения и стыковки автоматических и пилотируемых космических аппаратов.

И наконец, оказание помощи терпящему бедствие космическому кораблю также немислимо без сближения и стыковки с ним второго корабля, пришедшего на помощь.

Вопросы безопасности космических полетов с самого начала разработки этой сложнейшей научно-технической проблемы находились в центре внимания ученых и инженеров. Космический корабль и его системы подвергаются тщательной экспериментальной отработке на Земле. В комплексе бортовых систем корабля широко применяется резервирование (дублирование, троирование) не только отдельных его элементов, но и систем в целом. Используется и такой надежный способ троирования, как «автоматическое голосование», когда происходит

сравнение трех параллельных выходных сигналов или команд, выдаваемых одностипными элементами, и дальнейшие действия реализуются при совпадении не менее чем двух сигналов (команд). Такая схема обеспечивает надежную работу при отказе или неправильном функционировании любого из трех элементов.

Однако, несмотря на все принимаемые меры, нельзя исключить из рассмотрения ситуацию, когда космический корабль может нуждаться в срочной помощи.

Ожидается, что наиболее активная космическая деятельность человека в ближайшие годы будет происходить в околоземном пространстве. Именно такие полеты сейчас наиболее актуальны, так как они позволяют решить ряд важных практических задач, полезных для земной деятельности человека в самых различных областях. Можно не сомневаться, что недалеко то время, когда полеты пилотируемых кораблей и орбитальных станций в околоземном космическом пространстве как у нас, так и в США, а в дальнейшем и в других странах станут обычным делом. Такие полеты будут совершаться все чаще и чаще, и в них будет участвовать все большее число людей. Так же примерно, как это на наших глазах произошло с авиационными перелетами, которые еще несколько десятилетий назад были привилегией немногих смельчаков.

Расширение масштабов космических полетов, несомненно, будет сопровождаться и совершенствованием космической техники, повышением ее надежности. Но с увеличением интенсивности космических полетов может возрасти и вероятность того, что отдельные космические корабли из-за каких-либо неполадок окажутся в положении, когда обеспечить безопасность экипажа собственными средствами будет трудно или даже невозможно. Это может произойти, например, при отказе оборудования, с помощью которого осуществляется торможение корабля для спуска с орбиты и посадки на Землю. В подобных случаях может оказаться необходимой посторонняя помощь кораблю, терпящему бедствие. И помощь должен оказать тот космический корабль, независимо от его государственной принадлежности, который может сделать это быстрее других. Например, корабль, уже находящийся на орбите или стоящий на Земле в состоянии максимальной готовности к полету.

На морях и океанах подобный порядок существует издавна. Достаточно экипажу, терпящему бедствие, передать по радио сигнал «SOS», и каждый близко находящийся корабль, выполняя свой долг, поспешит на помощь. К сожалению, введение аналогичного порядка в космосе наталкивается на большие технические трудности, выливается в сложную проблему. Взаимопомощь в космосе практически невозможна, если корабли не оборудованы необходимыми средствами поиска, сближения, стыковки, если нельзя перейти с одного корабля в другой, чтобы оказать техническую помощь или, если требуется, забрать экипаж к себе.

Стремление создать техническую основу для системы взаимопомощи в космосе явилось одной из главных причин подписания 24 мая 1972 г. между правительствами СССР и США соглашения, в котором стороны обязуются совместно разработать совместимые средства сближения и стыковки космических кораблей и станций. Это соглашение предусматривает в качестве первого экспериментального этапа осуществить в 1975 г. сближение, стыковку и совместный полет советского космического корабля «Союз» и американского корабля «Аполлон». В программу полета входят также переходы экипажей из одного корабля в другой.

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

Три условия совместимости

Что же понимается под принципом совместимости систем сближения и стыковки космических кораблей? Для того чтобы каждый корабль в случае надобности

мог сблизиться и состыковаться с любым другим кораблем или орбитальной станцией, необходимо выполнение трех основных условий.

Первое условие — совместимость стыковочных агрегатов, т. е. всех устройств, которые непосредственно сопрягаются при стыковке. Кроме того, конструкция и автоматика каждого стыковочного агрегата должны быть такими, чтобы этот агрегат мог выполнять все необходимые функции и на активном корабле, и на пассивном (стыковочные агрегаты должны быть универсальными, активно-пассивными, или, как сейчас принято говорить, андрогинными): ведь каждый корабль может оказаться и в положении ожидающего помощи, и в роли пришедшего на помощь.

Активный и пассивный космические корабли в настоящее время имеют совершенно различные конструкции стыковочных агрегатов, например, штырь с захватами на активном корабле и приемный конус — на пассивном. Отсюда и вытекает необходимость создания принципиально новых андрогинных стыковочных агрегатов, позволяющих каждому из кораблей выполнять при стыковке роль как активного, так и пассивного объекта.

Второе условие — совместимость средств, обеспечивающих поиск и сближение кораблей. Активный корабль, используя радиотехнические или оптические средства, должен найти (разумеется, с помощью наземных служб) пассивный корабль и приблизиться к нему.

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

Как правило, пассивный корабль с помощью своей радиосистемы помогает активному кораблю осуществлять поиск и сближение. В некоторых случаях пассивный корабль выполняет ограниченный маневр по команде с активного корабля или с Земли. Но может, конечно, случиться и так, что терпящий бедствие корабль будет лишен возможности маневрировать. В орбитальной системе

координат он будет в этом случае просто телом, занимающим произвольное положение в пространстве.

При поиске и сближении совместно работают радиосистемы обоих кораблей. Для этого они должны быть построены на одних принципах. В них должны использоваться единые методы измерения параметров относительного движения, один и тот же вид модуляции, согласованные частоты и другие параметры сигналов, согласованная мощность передатчиков, чувствительность приемников, диаграммы направленности антенн и другие характеристики.

В дальнейшем, видимо, надо стремиться к тому, чтобы была возможность осуществлять поиск и сближение с кораблем, не создающим никакого радиоизлучения, поскольку нельзя исключить случай, когда бортовые радиосистемы корабля повреждены и корабль-спасатель должен найти его, используя лишь радиолокатор и оптические средства поиска и наведения. Для этого, в частности, необходима унификация ряда элементов, обеспечивающих оптические измерения (унификация оптических мишеней на кораблях, согласование коэффициентов светового отражения и поглощения поверхности кораблей) и использование оптических измерительных устройств с унифицированными характеристиками. Чтобы облегчить визуальное обнаружение кораблей, определение их положения в пространстве, корабли должны быть оборудованы унифицированными импульсными маяками и световыми сигнальными системами взаимной ориентации. Необходимо также обеспечить радиосвязь между кораблями в процессе поиска и сближения.

И наконец, третье условие совместимости — должны быть согласованы параметры атмосферы кораблей, в частности ее состав и давление. Это условие не требует особого пояснения. Ясно, что даже после того, как корабли состыковались, космонавтам нельзя перейти из одного в другой, если эти корабли имеют существенно разную атмосферу. В этом случае как минимум необходимы специальные переходные отсеки, своеобразные шлюзы, и в зависимости от того, насколько различаются параметры атмосферы, может понадобиться длительная (в несколько часов) «акклиматизация» космонавтов в переходном отсеке. А это, в свою очередь, может в ка-

ких-то случаях свести на нет всю операцию оказания помощи экипажу космического корабля.

Вот почему нужно, чтобы параметры атмосферы различных кораблей были близки друг к другу. При этом принципы кондиционирования атмосферы внутри кораблей не обязательно должны быть одинаковыми.

Как предполагается выполнить названные три условия совместимости для осуществления совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон»?

Когда было выдвинуто предложение в качестве первого экспериментального этапа осуществить программу стыковки этих кораблей, то прежде всего потребовалось разобраться, какие условия совместимости на них выполняются. При рассмотрении этого вопроса стало ясно, что корабли «Союз» и «Аполлон» не удовлетворяют ни одному из условий совместимости.

И это не удивительно. Корабли создавались в разных странах, разработка велась разобщенно, между разработчиками, естественно, не было взаимных контактов. В конструкции кораблей и оборудования во многом заложены различные принципы, ни одна сторона при разработке своих космических кораблей не имела в виду осуществление их взаимной стыковки.

Поэтому задача подготовки кораблей «Союз» и «Аполлон» к осуществлению программы сближения, стыковки и совместного полета оказалась достаточно сложной, и ее решение потребует больших усилий как с нашей, так и с американской стороны.

Рассмотрим в самых общих чертах, в чем конкретно выражается несовместимость кораблей «Союз» и «Аполлон» и что нужно сделать, чтобы эту совместимость обеспечить.

Совместимость стыковочных агрегатов

Существующие конструкции нашего и американского стыковочных агрегатов различаются настолько, что взаимная стыковка кораблей полностью исключена и никакие полумеры не помогут решить задачу. Совместная проработка конструкции стыковочных агрегатов показала, что ни один из существующих вариантов не может быть принят за основу. И прежде всего потому,

что оба стыковочных агрегата — это не андрогинные конструкции и на «Союзе», и на «Аполлоне» стыковочные узлы выполнены по схеме «штырь — конус».

Советским и американским конструкторам пришлось разработать конструкцию совершенно нового, полностью совместимого андрогинного стыковочного агрегата с периферийным расположением замков, который может быть использован и на «Союзе», и на «Аполлоне». Модели этого агрегата в масштабе 1:2,5 были изготовлены у нас и в США. В декабре 1972 года они прошли лабораторные испытания при совместной встрече советских и американских специалистов в Москве. Теперь предстоит большая работа по экспериментальной отработке конструкции и автоматики на натуральных образцах.

Совместимость параметров атмосферы

Космические корабли «Союз» и «Аполлон» имеют разные параметры атмосферы. В «Союзе» она практически аналогична привычной для нас земной атмосфере: давление 760 мм рт. ст., содержание кислорода 17—33%, азота 82—66%.

В «Аполлоне» используется атмосфера со стопроцентным содержанием кислорода и давлением 260 мм рт. ст. Столь низкое давление возможно только при чисто кислородной атмосфере.

Существующая разница параметров атмосферы практически не позволяет открыть переходные люки после стыковки кораблей и сообщить между собой объемы жилых отсеков. Невозможно также осуществить достаточно быстрый переход членов экипажей из одного корабля в другой. Экипаж «Аполлона» не может перейти в «Союз» без того, чтобы не пройти через медленное, постепенное повышение давления. Непосредственный переход из «Союза» в «Аполлон», из атмосферы с содержанием азота в чисто кислородную атмосферу с низким давлением вообще недопустим. Он привел бы к резкому выделению азота и углекислого газа, растворенных в крови, что может привести к закупорке кровеносных сосудов. Для перехода в кислородную атмосферу «Аполлона» необходим процесс десатурации, при

котором космонавт надевает маску и дышит чистым кислородом при достаточно высоком давлении. Процесс длится от 2 до 5 часов и приводит к вымыванию азота из крови.

Объединить атмосферу «Союза» и «Аполлона» невозможно еще и потому, что системы кондиционирования на этих кораблях построены на совершенно разных принципах. В «Союзе» происходит непрерывная регенерация атмосферы — специальные устройства поглощают углекислый газ и выделяют чистый кислород за счет разложения соединений щелочных металлов. Интенсивность этого процесса регулируется автоматическими устройствами, контролирующими состав атмосферы.

В «Аполлоне» поглощение углекислого газа осуществляется невозстанавливаемыми поглотителями, а необходимое содержание кислорода поддерживается за счет бортового запаса, находящегося в баллонах.

Объединение атмосферы кораблей при столь разных системах кондиционирования привело бы к расстройству автоматики этих систем, к нарушению нормальной их работы.

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

Разрабатываемый переходный модуль является составной частью (отсеком) корабля «Аполлон» и выводится на орбиту вместе с ним. Для того чтобы перейти, например, из «Союза» в «Аполлон», космонавт открывает люк в переходный модуль, в котором к этому времени создается атмосфера, соответствующая атмосфере «Союза». При этом, естественно, люк в модуль со стороны «Аполлона» закрыт. Затем космонавт входит в переходный модуль, закрывает люк и проходит процесс десатурации. Давление в переходном модуле постепенно понижается, увеличивается процентное содержание кислорода. К концу десатурации в переходном модуле устанавливается чисто кислородная среда при давлении 260 мм рт. ст. Космонавт подготовлен к переходу в «Аполлон».

Обратный переход также происходит через шлюзо-

вую камеру (переходный модуль) и также сопровождается постепенным изменением параметров его атмосферы.

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

Совместимость систем сближения

В настоящее время для определения относительного положения и параметров взаимного движения космических объектов на каждом из кораблей — и на «Союзе», и на «Аполлоне» — имеются свои радиосистемы. Характеристики этих радиосистем, и, в частности, характеристики используемой информации в них существенно различны. В совместном экспериментальном полете поиск и измерение параметров относительного движения (радиальная скорость и расстояние) решено осуществлять с помощью радиосистемы «Аполлона», который будет выступать в роли активного корабля. На «Союзе» будет установлена ответная часть радиосистемы «Аполлона» — приемопередатчик. Наряду с этим будет использоваться оптическая система, с помощью которой при сближении кораблей экипаж «Аполлона» сможет наблюдать «Союз» с расстояния в несколько сотен километров, а также определять угловое положение линии визирования. Для оптических измерений в темноте (с расстояния в несколько десятков километров) на «Союзе» устанавливаются импульсные световые маяки. На заключительном участке сближения точное взаим-

ное положение кораблей определяется визуально с помощью оптического прибора корабля «Аполлон», бортовых огней ориентации и специальной стыковочной мишени на корабле «Союз».

Вся измерительная информация будет поступать в бортовую вычислительную машину, которая выдаст рекомендации, необходимые для управления кораблями.

Проблемы организационной совместимости

Совместный полет «Союза» и «Аполлона» — эта первая практическая отработка элементов возможной системы взаимопомощи в космосе — потребует также большой работы в части управления полетом. Здесь тоже есть свои проблемы совместимости — совместимости технической и организационной.

Совместный полет, взаимный маневр, сближение и стыковка кораблей невозможны без надежной радиосвязи между ними и связи с наземными пунктами слежения. Для того чтобы обеспечить такую связь, на «Союзе» и на «Аполлоне» будут установлены дополнительные радиосистемы, работающие на частотах, принятых как советской, так и американской стороной. Управление полетом кораблей и их стыковкой на орбите — процессы очень сложные. В них принимают участие большое число измерительных пунктов, разбросанных чуть ли не по всему земному шару, несколько вычислительных и сложным образом связанных между собой технических средств, много квалифицированных специалистов.

Вся необходимая информация — от сведений о состоянии космонавтов до точных координат сближающихся кораблей по многочисленным каналам связи стекается в центральный пункт управления полетом, в этот мозг гигантского электронного космического комплекса. При осуществлении стыковки и совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон» потребуются надежная многоканальная связь и четкое взаимодействие советских и американских наземных командно-измерительных средств и центров управления полетом. Все это требует решения ряда новых и достаточно сложных технических и организационных проблем.

Сейчас советские и американские специалисты совместно разрабатывают детальную программу полета. Важной задачей будет также специальная подготовка экипажей, их тренировка, ознакомление с отдельными элементами оборудования другого корабля.

Большая работа связана с отработкой совместимых методов так называемого баллистического обеспечения полета. Сюда можно включить принятие единых моделей атмосферы и гравитационного поля Земли, согласованных систем координат, совмещение требований, терминов и определений, которые приняты в каждой стране и не всегда совпадают. В этом смысле, например, очень упростил работу тот факт, что в НАСА принята метрическая система единиц, в то время как в США переход на метрическую систему в государственном масштабе еще не проведен.

Технология стыковки

По какому бы варианту ни выполнялись стыковочные устройства космических кораблей, на них возлагаются, по существу, одни и те же функции. Стыковочные устройства должны:

- обеспечить первичную сцепку кораблей;

- поглотить энергию соударения;

- произвести выравнивание кораблей (стыковка космических кораблей, как правило, происходит при некотором рассогласовании в их взаимном положении);

- произвести стягивание кораблей и в конечном счете обеспечить их жесткое и герметичное соединение;

- обеспечить расстыковку кораблей после окончания совместного полета.

Все устройства, с помощью которых до настоящего времени осуществлялась стыковка космических кораблей, были выполнены по схеме «штырь — конус». Таким методом стыковались советские корабли «Союз-4» и «Союз-5», а также корабль «Союз-11» и орбитальная станция «Салют». Таким же, в сущности, методом осуществлялась стыковка космических аппаратов в программе «Аполлон».

В системе «штырь — конус» на одном из кораблей установлен активный стыковочный агрегат («штырь»),

на другом — пассивный («конус»). В отличие от этого андрогинные стыковочные устройства, которые, в частности, будут использованы при стыковке «Союза» и «Аполлона», позволят любому из них участвовать в стыковке в роли как активного, так и пассивного корабля.

Рассмотрим работу устройства типа «штырь — конус» на примере стыковки корабля «Союз-11» с орбитальной станцией «Салют». Схематические чертежи стыковочных агрегатов корабля «Союз-11» и станции «Салют» приведены на рис. 1 и 2.

Активный корабль — в данном случае это «Союз-11» — оборудован выдвижной штангой (штырем), которая оканчивается головкой с защелками. На пассивном корабле — на «Салюте» имеется приемный конус, который оканчивается приемным гнездом с замками. Стыковка кораблей начинается с того, что штанга входит в приемный конус и касается его стенки (касание).

По инерции или под действием двигателей малой тяги активный корабль продолжает сближаться с пассивным. Головка штанги, скользя по поверхности конуса, попадает в приемное гнездо и фиксируется там защелками. Происходит сцепка кораблей. Затем электропривод начинает втягивать штангу и вместе с этим происходит стягивание кораблей до соприкосновения стыковочных шпангоутов. И в заключение с помощью периферийных замков, расположенных на плоскости стыка, образуется жесткое и герметичное соединение.

Рассмотрим более подробно некоторые из этой последовательности операции.

Когда в момент причаливания штанга входит в приемный конус, то она, как правило, ударяется о него головкой (исключением будет достаточно маловероятный случай, когда головка точно попадает в приемное гнездо). От удара штанга смещается назад и поворачивается в шаровом шарнире. Энергия соударения поглощается демпфирующей системой, которая состоит из пружинных амортизаторов и электромеханических демпферов (рис. 1).

Теперь посмотрим, что происходит, когда головка выдвижной штанги в результате продолжающегося сближения кораблей входит в приемное гнездо. Про-

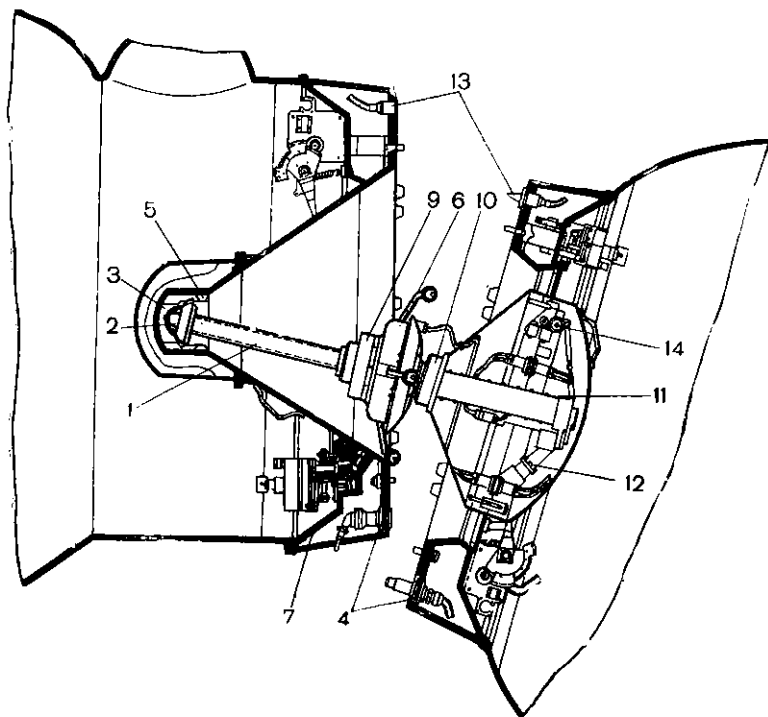


Рис. 1. Упрощенный чертеж стыковочного устройства, применявшегося при стыковке кораблей «Союз-11» и станции «Салют». Устройство показано в момент сцепки кораблей.

1 — штанга; 2 — головка штанги с защелками; 3 — приемное гнездо; 4 — гидроразъем; 5 — упор; 6 — рычаги выравнивания; 7 — стыковочный шпангоут; 8 — приемный конус; 9 — электропривод; 10 — шаровой шарнир; 11 — направляющие штанги; 12 — боковой амортизатор; 13 — электроразъем; 14 — электромагнитический демпфер.

филь гнезда таков, что защелки головки сначала утапливаются, а потом расходятся, попадая в предназначенные для них пазы. В этом, по сути дела, и заключается сцепка кораблей. Их взаимные колебания после сцепки ограничиваются специальными упорами.

После успокоения взаимных колебаний включается электропривод активного стыковочного агрегата. посредством шарико-винтового механизма он начинает втягивать штангу. По мере втягивания штанги защелки головки движутся в пазах приемного гнезда уже в об-

ратную сторону и останавливаются, дойдя до упоров. Пазы, по которым движутся защелки, постепенно сужаются, и благодаря этому уменьшается начальное рассогласование кораблей по крену.

После того как защелки головки соприкоснутся с упорами гнезда, начинается стягивание кораблей. Штанга продолжает втягиваться, «укорачиваться», и одновременно расходятся в стороны расположенные у ее основания рычаги выравнивания. Опираясь на стенки приемного конуса, они и производят окончательное выравнивание кораблей.

По мере дальнейшего втягивания штанги сближаются плоскости стыка — те части стыковочных шпангоутов, которыми корабли должны соприкоснуться друг с другом. Штырь гидроразъема входит в свое приемное гнездо, штырь электроразъема — в свои гнезда; это позволит кораблям после стыковки иметь общую гидравлическую систему и систему электропитания. После соприкосновения стыковочных шпангоутов срабатывают периферийные замки: крюки активного стыковочного агрегата, поворачиваясь, зацепляются за крюки пассивного агрегата. Устройство герметизации стыка, стягивая крюки, прижимает друг к другу плоскости стыка с усилием более десятка тонн. Так обеспечивается жесткое и герметичное соединение кораблей.

После того как операция стыковки полностью завершена, приемный конус, расположенный на крышке люка пассивного корабля, и механизм штанги, расположенный на крышке активного корабля, с помощью особых приводов открываются внутрь. При этом образуется люк-лаз между кораблями (рис. 2).

Заметим, что при первой стыковке кораблей «Союз» не предусматривалось образование герметичного люк-лаза и космонавты переходили из одного корабля в другой, выходя в открытый космос.

Теперь об устройстве андрогинных стыковочных агрегатов (рис. 3).

В основу конструкции агрегатов, предназначенных для стыковки кораблей «Союз» и «Аполлон», положено подвижное кольцо с тремя направляющими выступами. Важнейшая особенность системы состоит в том, что кольцо это шарнирно закреплено на шести штангах.

В транспортном положении (пассивное состояние

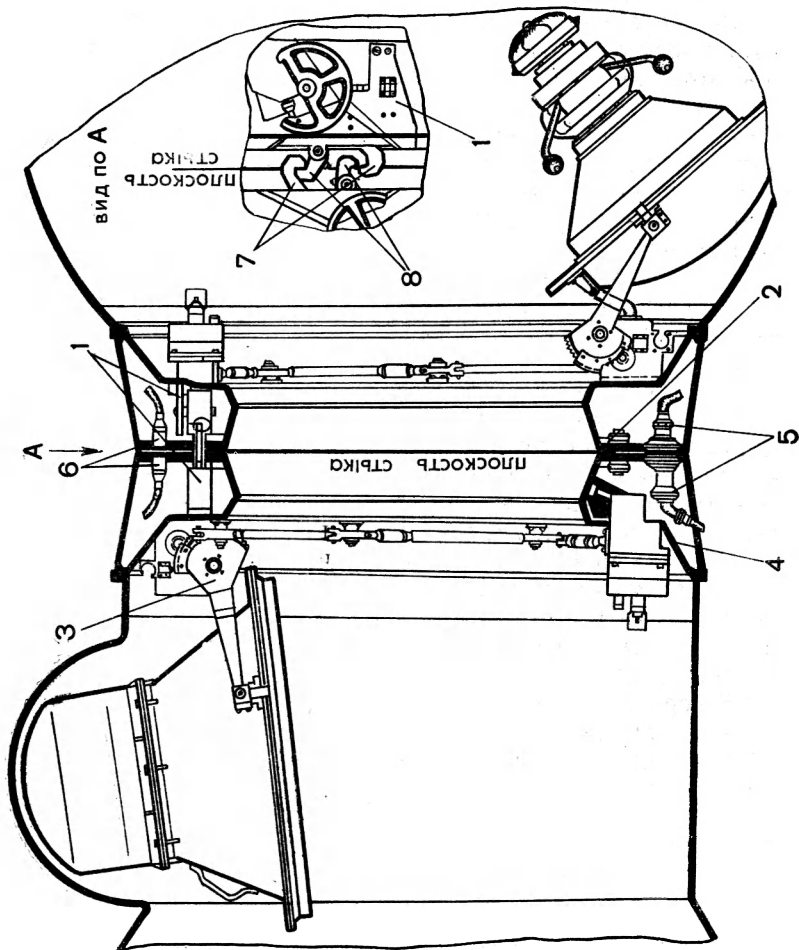
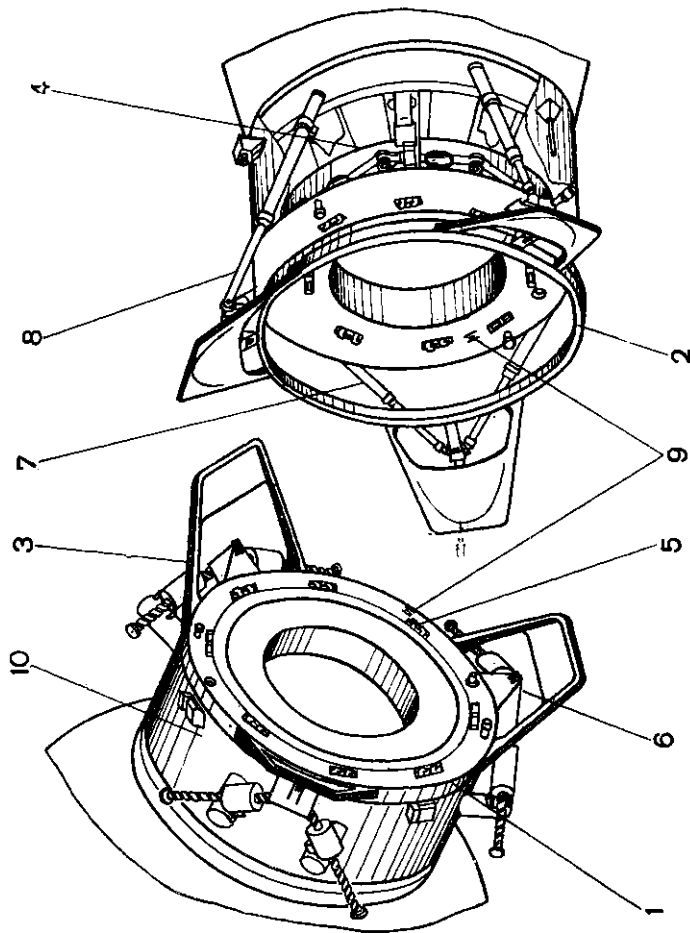


Рис. 2. Упрощенный чертеж стыковочного устройства, показанного на рис. 1. Стыковка кораблей завершена, откинуты обе крышки и образован люк-лаз:

- 1—периферийный замок; 2—уплотнительная стыка; 3—привод крышки люка; 4—стыковочный шпангоут; 5—гидроразъем; 6—электроразъем; 7—активные крюки; 8—пассивные крюки.

Рис. 3. Упрощенный чертеж эндроинного стыковочного устройства, разработанного для программы совместного полета кораблей «Союз» и «Аполлон»;

1 — кольцо пассивного корабля (втянуто); 2 — кольцо активного корабля (выдвинуто); 3 — направляющие выступы; 4 — стыковочный шланг; 5 — замки стыковочного шланга; 6 — защелка кольца; 7 — штапги крепления кольца; 8 — амортизаторы; 9 — плоскость стыка; 10 — защелка на корпусе



стыковочного агрегата) кольцо втянуто и находится за плоскостью стыковочного шпангоута. Кольцо активного стыковочного агрегата заранее выдвигается в исходное для стыковки положение. На участке причаливания активный корабль движется так, что направляющие выступы его кольца входят в промежутки между направляющими выступами кольца второго корабля. Направляющие выступы на кольцах («лепестки») имеют трапецевидную форму. Поэтому после касания, которое может произойти при заметном рассогласовании кораблей (так же, как в системе «штырь — конус»), и при дальнейшем их сближении подвижные кольца будут все точнее сопрягаться и наконец совпадут одно с другим.

Поскольку кольца укреплены на подвижных штангах шарнирно, а штанги имеют возможность изменять свою длину, то кольца совместятся даже в том случае, если оси кораблей не будут совпадать.

После точного сопряжения колец защелки на кольце активного стыковочного агрегата зацепляются за защелки на корпусе пассивного агрегата.

В стыковочном агрегате имеются механизмы, возвращающие кольцо активного корабля в исходное положение. После сцепки за счет энергии, которая аккумулировалась при ударе в этих механизмах, происходит выравнивание кораблей. Демпферы гасят энергию соударения. Стягивание кораблей осуществляется с помощью приводов, которые изменяют длину штанг. При этом кольцо активного стыковочного агрегата возвращается к своему кордусу и в итоге происходит соприкосновение плоскостей стыковочных шпангоутов, срабатывают замки стыковочных шпангоутов (они аналогичны крюкам в стыковочных агрегатах типа «штырь — конус»). Механизм герметизации, стягивая крюки замков, обеспечивает жесткое и герметичное соединение кораблей. После этого откидываются крышки, и между кораблями образуется люк-лаз.

В короткой статье удалось затронуть лишь некоторые основные проблемы, связанные с организацией взаимопомощи в космосе. Реальный круг основных проблем значительно шире, да и сами эти проблемы при детальном их рассмотрении связаны с решением большого числа научных, технических и организационных задач. Но все эти задачи, несомненно, будут тем или

иным путем решены, и таким образом будет создана техническая основа как для взаимопомощи в космическом пространстве, так и для реализации программ совместных полетов космических аппаратов разных стран.

«Луноход-2»: предварительные результаты исследований

В соответствии с программой исследования Луны и планет Солнечной системы 16 января 1973 года в 01 час 35 минут московского времени автоматической станцией «Луна-21» в район восточной окраины Моря Ясности был доставлен самоходный аппарат «Луноход-2». Автоматическая станция совершила посадку внутри древнего 55-километрового кратера, носящего имя французского астронома XVIII века Лемонье. Точка посадки станции, расположенная неподалеку от южной кромки кратера Лемонье, имеет координаты 30 градусов 27 минут восточной долготы и 25 градусов 51 минута северной широты.

До последнего времени исследование поверхности Луны ограничивалось либо «морскими», либо «материковыми» районами. Изучение свойств лунной поверхности в переходной зоне «море — материк» является очередной важной научной задачей. Выбор южной части кратера Лемонье определялся, в частности, наличием здесь интересного в геологическом отношении протяженного разлома лунной коры.

За время существования кратер Лемонье подвергся частичному опусканию и разрушению и впоследствии был затоплен лавовыми потоками. В результате его дно стало заливом Моря Ясности, а сохранившаяся часть вала кратера образовала уступ на границе между морской равниной и материковым горным массивом Тавр.

К югу от места посадки морская поверхность граничит со слабо приподнятой холмистой равниной, которая обладает свойствами, промежуточными между особенностями типично «морских» и типично «материковых»

областей. Эта зона к востоку и югу переходит в материковую местность.

Программа работы лунохода была составлена в соответствии с главной комплексной научной задачей совместного изучения вариаций основных физико-химических свойств поверхности в зависимости от геолого-морфологической обстановки в зоне перехода морского района Луны в материковый. В эту задачу входило получение геолого-морфологических и топографических данных, изучение магнитного поля, химического состава поверхностного слоя и физико-механических свойств грунта, а также оптических свойств поверхности.

Для получения необходимой научной информации на луноходе были установлены магнитометр, рентгено-спектральный прибор «РИФМА-М», прибор для оценки физико-механических свойств грунта и в поле зрения панорамных камер были введены специальные фотометрические марки, представляющие собой пластинку с 39 полями различной отражательной способности. Проведение геолого-морфологических и топографических исследований местности выполнялось на основе съемки лунного ландшафта, в которую входило получение телевизионных панорам и снимков, а также телеметрических данных о длине пройденного пути и положении аппарата на лунной поверхности.

Вместе с тем технические возможности лунохода позволили установить на его борту ряд приборов, предназначенных для решения других задач, имеющих важное научное и техническое значение. Это астрофотометр, измеряющий светимость лунного неба, радиометр, измеряющий характеристики космического излучения, фотоприемник «Рубин-1», служащие для проведения экспериментов по лазерной пеленгации лунохода, а также французский уголкового отражателя лазерного излучения. Эксперименты по лазерной пеленгации и лазерной локации имеют целью уточнение координат лунохода и его положения относительно элементов окружающего рельефа, а также параметров движения Луны.

Магнитометр, астрофотометр и фотоприемник «Рубин-1» на «Луноходе-1» не применялись. Помимо изменения состава научной аппаратуры, на «Луноходе-2» были расширены возможности прибора «РИФМА», анализирующего химический состав лунного грунта.

В соответствии с задачами эксперимента в отдельные системы автоматического аппарата «Луноход-2» были внесены изменения и усовершенствования по сравнению с теми, что применялись на «Луноходе-1». В частности, была повышена частота передачи телевизионных изображений курсовых телекамер, при этом одна из них была поднята на кронштейне вверх, что значительно улучшило обзор впереди лежащей местности. Значительно более высокой стала четкость принимаемых изображений.

В целях удобства оперативного использования телевизионной и фототелевизионной информации несколькими характерным деталям рельефа лунной поверхности в районе действия «Лунохода-2» специалистами-селенологами были присвоены условные наименования. Так, например, небольшой залив южной кромки кратера Лемонье, находящийся примерно в 15 километрах к юго-востоку от точки посадки станции «Луна-21», получил название Бухты Круглой. Рассекающая морские отложения Бухты Круглой тектоническая трещина была названа Бороздой Прямой. Были введены также названия Мыс Ближний, Мыс Дальний и некоторые другие.

Методика исследования лунной поверхности с помощью «Лунохода-2» была разработана на основании опыта, накопленного при работе самоходного аппарата «Луноход-1». Суть ее состояла в сочетании детальных исследований отдельных участков поверхности и маршрутных исследований по всей трассе движения аппарата. Участки комплексного изучения поверхности можно рассматривать как опорные точки вдоль трассы «Лунохода-2». Сопоставление количественных характеристик, полученных в опорных точках, позволяет оценить изменения исследуемых свойств поверхности по маршруту самоходного аппарата.

В течение первого и второго лунных дней самоходный аппарат, двигаясь в юго-восточном и южном направлениях, покинул район типично морского характера и вышел в холмистую предматериковую зону. В третий лунный день он совершил переход в восточном направлении к Борозде Прямой. В дальнейшем были выполнены подробные исследования этого интересного образования.

В пределах «морского» участка движения лунохода на его пути встречались уже известные формы рельефа — малые кратеры и в отдельных случаях сопряженные с ними россыпи камней. Наиболее часто попадались сильно сглаженные, древние кратеры.

Удалось оценить относительное количество так называемых вторичных кратеров, образовавшихся в результате удара о поверхность выбросов из более крупных. Число вторичных кратеров размерами от 0,5 до 2 метров не превышает 0,25 процента от всех кратеров этого размера.

Толщина верхнего, сильно переработанного слоя поверхности (реголита), судя по глубине свежих кратеров, колеблется от 1 до 6 метров. Эти оценки хорошо согласуются с имевшимися ранее.

В холмистой предматериковой зоне луноход достиг внешнего склона вала двухкилометрового кратера. При этом вблизи одного из кратеров диаметром 15—20 метров были обнаружены оползневые террасы протяженностью до 10—15 метров.

В этом же районе отмечено уменьшение плотности малых кратеров в 2—3 раза по сравнению с нормальной «морской» плотностью. Мощность реголита в пределах этой холмистой равнины достигает местами 10 метров.

После выхода из предматериковой зоны луноход продолжил движение в восточном направлении и достиг района Бухты Круглой. В этом районе на склонах крутизной 12—17 градусов были отмечены образования в форме террас протяженностью до нескольких сотен метров.

Продолжая двигаться на восток, луноход подошел к тектоническому разлому. Борозда протяженностью 15—16 километров находится у юго-восточного побережья кратера Лемонье и тянется с севера на юг. Ее глубина в различных участках района исследований колеблется от 40 до 80 метров.

Время образования Борозды Прямой относится к так называемому послеморскому периоду истории Луны, это значит, что Борозда Прямая возникла после того, как дно кратера Лемонье было затоплено базальтовыми лавами. Однако не исключено, что борозда является результатом обновления более древнего тектонического

разлома, признаки которого прослеживаются в направлении борозды в материковом районе далеко за границами кратера Лемонье.

Тектонические разломы типа Борозды Прямой являются объектами лунной поверхности, весьма интересными в геологическом отношении и свидетельствующими о происходивших в прошлом перемещениях крупных участков лунной коры. Аналогичными являются хорошо изученные на Земле древние тектонические швы. Однако вследствие интенсивных процессов эрозии в условиях Земли они, как правило, сильно сглажены. На Луне тектонические разломы сохраняются на протяжении миллиардов лет и дают возможность наблюдать вертикальный разрез ее поверхностного слоя.

У восточной и западной границ борозды были выявлены зоны шириной 30—40 метров одностороннего интенсивного смещения лунного вещества в сторону разлома. По мере приближения к борозде толщина реголита систематически уменьшается и на бровке разлома, на всем протяжении обследованной части борозды, обнажаются породы скального основания в форме непрерывного каменного «бордюра». Обломки обнаженных горных пород часто имеют размер до 1—2 метров и более.

Ниже каменного «бордюра» крутизна стенок борозды увеличивается и достигает 30—35 градусов. Здесь склоны покрыты осыпью, состоящей из крупных глыб и камней.

Таким образом, в этой части кратера Лемонье с помощью лунохода установлен выход коренных скальных пород мощностью в несколько десятков метров.

По трассе движения проводились выборочные детальные исследования отдельных образований. Они показали, что механические свойства грунта изменялись в широких пределах. Несущая способность колебалась от 0,1 до 1—1,5 кг/см². Однако общий характер распределения механических характеристик грунта по поверхности достаточно близок к данным, полученным с борта «Лунохода-1». При измерении механических свойств грунта были обнаружены участки с повышенной просадочностью, а также с небольшим слоем рыхлого материала на твердом основании.

При подготовке модифицированного прибора «РИФ-МА-М» было обращено особое внимание на получение

серии данных о содержании в породах Луны наиболее характерных химических элементов и особенно железа. Это вызвано тем, что содержание железа на материках меньше, чем в морях. Большое значение при исследовании переходной зоны имеет также определение отношений содержания железа к другим элементам, например к алюминию или титану.

Первые измерения с помощью аппаратуры «РИФМА-М» были проведены на небольшом удалении от посадочной ступени космической станции на валу кратера диаметром 40 метров. Содержание кремния здесь оказалось равным 24 ± 4 процента, кальция — 8 ± 1 процент, железа — $6 \pm 0,6$ процента, алюминия — 9 ± 1 процент. (Измерения, проведенные «Луноходом-1» в Море Дождей, показали содержание железа 10—12 процентов).

При движении лунохода на юг исследованию подвергся кратер диаметром 13 метров, удаленный от места посадки примерно на 1,5 километра. Грунт в этом районе оказался по составу схожим с первым исследованным участком.

По мере продвижения «Лунохода-2» к холмам, расположенным в южном направлении, содержание железа стало снижаться и при удалении от места посадки на 5 километров составило $4,9 \pm 0,4$ процента. В сеансе, проведенном 19 февраля, зарегистрировано самое низкое содержание железа — $4,0 \pm 0,4$ процента. Причем одновременно содержание алюминия возросло до $11,5 \pm 1,0$ процента. Таким образом, с помощью прибора «РИФМА-М» были зафиксированы изменения химического состава поверхности, связанные с различиями горных пород в «морских» и «материковых» районах.

При движении по намеченному маршруту луноход пересекал области, по-разному отражающие солнечный свет. Поскольку окраска и отражательные свойства лунного вещества во многом говорят о его химическом составе, по ним можно косвенным образом судить о типе пород в том или ином районе Луны. Сопоставление отражательных свойств, известных из наземных наблюдений, а также по результатам космических съемок Луны, со структурными особенностями ее поверхности позволяет судить о характере покрова других мало исследованных ее районов. Это обстоятельство значительно расширяет значение научных результатов, полученных

вторым луноходом. Изучение отражательных свойств поверхности обеспечивалось наличием в поле зрения телефотометров фотометрических марок.

Результаты предварительной обработки показывают, что дистанционное определение типа поверхностного лунного материала по его отражательной способности совпадает с данными по химическому составу, полученными с помощью прибора «РИФМА-М».

В современную эпоху Луна не обладает заметным общим магнитным полем. В то же время на поверхности Луны обнаружены местные магнитные поля. Их природа и происхождение пока остаются неизвестными. Вероятно, они связаны с сохранившейся до настоящего времени остаточной намагниченностью горных пород Луны.

В течение всего времени работы лунохода магнитные измерения проводились непрерывно во время движения и на стоянках. Предварительный анализ данных позволяет отметить, что магнитное поле на поверхности Луны очень неоднородно.

В магнитограммах, полученных при стоянках лунохода, выявлены некоторые характерные изменения поля, свидетельствующие о процессах индукции токов в Луне под действием меняющихся межпланетных полей. Это позволяет определить проводимость Луны на глубинах порядка сотен километров и таким образом получить некоторые представления о ее внутреннем строении.

В соответствии с советско-французским соглашением о сотрудничестве в области космических исследований на «Луноходе-2» был установлен уголкового отражатель, предназначенный для проведения экспериментов по лазерной локации. Это дает возможность непосредственно определить расстояние до фиксированных точек лунной поверхности, в которых установлены светоотражатели. Высокая точность этих измерений позволяет на несколько порядков уточнить основные параметры системы «Земля—Луна» и таким путем решить ряд научных и практических задач.

Регулярные лазерно-локационные измерения расстояний до отражателя «Лунохода-2» начаты Физическим институтом Академии наук СССР на телескопе диаметром 2,6 метра Крымской астрофизической обсерватории в июне этого года и продолжаются по настоящее время.

Ежемесячно проводится 2—4 сеанса измерений. Процесс измерения состоит в посылке на отражатель мощных лазерных импульсов длительностью порядка 10^{-8} сек, сформированных в узкий пучок при помощи телескопа, и в последующем приеме отраженного сигнала, ослабленного по пути до Луны и обратно в 10^{19} — 10^{20} раз.

Расстояние до отражателя определяется по времени распространения лазерного импульса. Точность измерения временного интервала составляет 10^{-8} сек.

Каждое измерение представляет собой серию из нескольких сот световых импульсов, следующих с интервалом в 3 сек. Статистическая точность определения расстояния между источником импульсов и установленным на Луне отражателем составляет ± 40 см.

В соответствии с планом научных экспериментов по использованию оптических квантовых генераторов (лазеров) при исследовании космического пространства на «Луноходе-2» был установлен фотоприемник лазерного излучения «Рубин-1», предназначенный для отработки системы измерения координат лунных космических станций. В период работы лунохода проведен ряд сеансов с включением фотоприемника «Рубин-1».

Лазерная пеленгация осуществлялась с помощью оптических квантовых генераторов, размещенных в высокогорной обсерватории Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга в горах Заилийского Алатау под городом Алма-Ата и в других пунктах Советского Союза.

Расходимость луча лазера, прошедшего через оптическую систему телескопа, уменьшается до нескольких угловых секунд. С помощью специального механизма этот луч осуществлял спиральный осмотр района кратера Лемонье. Направление излучения каждого лазерного импульса фиксировалось на фотопленку одновременно с фоторегистрацией Луны. Для фиксации направления луча в трубе телескопа установлен угловой отражатель, возвращающий малую часть излучения в телескоп строго параллельно оси излученного импульса. При попадании лазерного луча в фотоприемник «Рубин-1» в нем происходит преобразование световой энергии в электрическую, и «радиоквитанция» о попадании луча передается на Землю.

Обсерватории вошли в устойчивую ~~взаимную~~ связь с «Луноходом-2» и провели ~~серии~~ точных измерений его селенографических координат. Всего было зарегистрировано свыше 4000 попаданий лазерного луча в фотоприемник «Рубин-1» и получено 1500 фотографий Луны с отметками направления лазерного луча для определения местонахождения лунохода. Полученные данные позволили независимо от других способов измерений определить координаты лунохода с высокой точностью.

За время работы самоходного аппарата было проведено 14 включений установленного на его борту астрофотометра, позволяющего измерять яркость лунного неба. Неожиданно высокой оказалась яркость в видимых лучах дневного и «сумеречного» (после захода Солнца за местный горизонт) неба Луны. В то же время одновременно измеренная светимость лунного неба в ультрафиолетовых лучах оказалась невысокой.

Эти данные нуждаются в дальнейших экспериментальных уточнениях, но они могут, в частности, свидетельствовать о том, что Луна окружена слоем пылевых частиц, сильно рассеивающих видимый солнечный свет и свет Земли.

Проведены также измерения и глубокой лунной ночью, когда нацеленный в местный зенит астрофотометр не может «видеть» подобной пыли, освещенной Солнцем. Оказалось, что яркость лунного неба в этом случае лишь ненамного больше, или такая же, как измеренная со спутников в околоземном космическом пространстве на теневой стороне Земли.

Таким образом, небо над Луной достаточно «темное» для проведения с ее поверхности ультрафиолетовых астрономических наблюдений как днем, так и ночью. Что же касается наблюдений в видимых лучах, то на Луне, вероятно, условия в течение лунного дня и лунной ночи различны.

В периоды лунных дней с борта самоходного аппарата выполнялись непрерывные измерения интенсивности корпускулярного излучения солнечного и галактического происхождения. При этом радиационная обстановка в районе Луны была спокойной.

Приведенные выше данные научных наблюдений и

измерений будут дополняться материалами дальнейшей обработки и анализа полученных результатов.

Выполнение программ экспериментов с помощью «Лунохода-2» осуществлялось оперативной группой управления, включавшей в себя инженерно-конструкторский состав, ученых и экипаж лунохода. Важно отметить, что в ходе реализации советской программы изучения Луны и планет с помощью автоматических космических аппаратов в нашей стране был впервые подготовлен большой коллектив специалистов для решения задачи дистанционного управления объектом, находящимся на поверхности иного небесного тела. Богатый практический опыт был накоплен в процессе работы «Лунохода-1». В дальнейшем экипаж лунохода путем систематических тренировок постоянно совершенствовал свое мастерство и, как показывают результаты работы «Лунохода-2», сумел с честью справиться со всеми трудностями, возникавшими при движении самоходного аппарата в тяжелых условиях сильно пересеченной местности, сыпучих грунтов, крутых склонов и обширных россыпей камней. Накопленный опыт наряду с конструктивным повышением маневренности и мобильности самоходного аппарата позволил «Луноходу-2» в этих трудных условиях преодолеть рекордное расстояние и провести исследования по трассе длиной в 37 километров.

На протяжении всего периода работы бортовые системы и конструкция лунохода выдерживали значительные динамические нагрузки и хорошо переносили резкие температурные колебания.

Намеченная программа исследований полностью выполнена. Полученные в ходе длительного эксперимента научные данные являются важным вкладом в науку о Луне, способствуют систематическому накоплению новых знаний о происхождении и эволюции Солнечной системы.

Краски космоса

Важную часть научных программ, выполняемых на пилотируемых кораблях и долговременных орбитальных станциях, составляют планомерные визуальные наблюдения поверхности Земли и оптических явлений в атмосфере. Уже первый космонавт Ю. А. Гагарин оценил возникающие здесь возможности. Визуальные наблюдения оптических явлений дополняют данные фотографирования и инструментальных измерений, являясь важным средством исследования природной среды и природных ресурсов в интересах науки и народного хозяйства. Такие комплексные исследования начались с полетов космических кораблей «Союз» и орбитальной станции «Салют».

На корабле «Союз-3» Г. Т. Береговой наблюдал при заходе Солнца явления переходной области от зоны сумеречного ореола к зоне ночного свечения атмосферы. Так была получена информация о лучистых неоднородностях в верхней атмосфере. На основе измерений, которые Е. В. Хрунов сделал с помощью спектрографа на борту «Союза-5», была определена высота яркой верхней границы ночного светящегося слоя (90—95 км), что имело большое значение при интерпретации природы этого явления.

Экипаж «Союза-9» впервые провел систематические и детальные наблюдения оптических явлений в атмосфере Земли. Они отмечались постоянно во время всего полета в строго определенных областях земной атмосферы. Это послужило основой для построения глобальной картины развития оптических явлений на ночной стороне Земли, в области сумерек и на дневной стороне планеты. Данные с космических кораблей «Союз-3», «Союз-4», «Союз-5», «Союз-9» позволили составить

картину последовательного развития оптических явлений вблизи ночного, сумеречного и дневного горизонтов Земли.

Одно из наиболее впечатляющих зрелищ — вид земной атмосферы вблизи сумеречного горизонта. Когда космический корабль находится в области тени и приближается к линии терминатора, в направлении на сумеречный горизонт видна серповидная область, окрашенная в разные цвета на разных уровнях. Согласно визуальным наблюдениям с кораблей «Союз-4» и «Союз-5» край Земли различается как отчетливая черная линия. Вблизи земной поверхности сумеречный ореол окрашен в красно-оранжевые тона сильного насыщения. С увеличением высоты цвет ореола плавно переходит в желто-оранжевый и желтый. Дальше проходит узкая темно-синяя полоса пониженной яркости, а сразу за ней располагается область, окрашенная в светло-голубые тона. Появляются голубые цвета слабого насыщения и светло-голубые тона с белесоватым оттенком. Эта область занимает приблизительно две трети высоты ореола и на границе с открытым космосом окрашена в черно-фиолетовые тона. Краски космических зорь воспринимаются как мягкие, нежные, один цвет переходит в другой плавно.

Наблюдения цветовой гаммы сумеречного ореола имеют большое практическое значение. Теоретические расчеты показывают, что последовательность цветовых оттенков ореола может служить индикатором состава верхних слоев атмосферы. Характер окраски сумеречного ореола зависит, например, от содержания озона.

Интересно, что космонавты дают различные описания цветовой картины сумеречного ореола. Так, по впечатлениям В. В. Николаевой-Терешковой, нижняя часть ореола, окрашенная в красно-оранжевые и желтые тона, переходит через широкую белесую полосу к светло-голубым, темно-синим и черно-фиолетовым. Несколько иную картину фиксировал К. П. Феоктистов. Вертикальная эволюция цветовых тонов сумеречного ореола представлялась ему такой: от красно-оранжевых к желтым, голубым и белесым, затем опять к голубым и белесым и снова к голубым и белесым.

Детальные наблюдения эволюции цвета сумеречного ореола в вертикальном направлении проведены с

космического корабля «Союз-9». В соответствии с ним заря сначала появляется в виде маленького серпа темно-красного цвета. Затем, до формирования основной цветовой гаммы сумеречного ореола, наступает просветление над серпом в той части атмосферы, которая примыкает к нижней части ореола. После этого к темно-красным тонам добавляются оранжево-красные и желтые. По мере уменьшения угла захода Солнца за горизонт размеры области неба, занимаемой цветовым сумеречным ореолом, увеличиваются. Сумеречный ореол характеризуется такой вертикальной структурой цветовых тонов: красные, оранжевые, желтые, бледно-голубые, белесые, снова бледно-голубые, опять белесые, голубые, синие, фиолетовые, черные. Максимальную угловую высоту ореол имеет непосредственно перед выходом Солнца из-за горизонта. В момент появления первого солнечного луча ореол сжимается, внезапно уменьшаясь в вертикальных размерах приблизительно на одну треть.

Когда Солнце уже взошло, но космический корабль еще находится над областью тени, центральная часть зоны, ранее занимаемая ореолом, теряет свои цветовые особенности. Солнце сияет на темном фоне космоса, а по направлению к терминатору вправо и влево от светила наблюдается характерное свечение ореола в виде «усов». Аналогичное явление имеет место и при заходе Солнца, но вертикальный размер желто-красной области «усов» уменьшается. В момент прохождения терминатора цветовые «усы» вообще пропадают.

Цветовые особенности сумеречного ореола, изложенные нами, ближе всего подходят к данным К. П. Феоктистова.

Некоторая несхожесть описаний распределения цвета и геометрии сумеречного ореола по высоте, принадлежащих разным космонавтам, свидетельствует о своеобразии метеорологической ситуации в земной атмосфере во время полетов. Сказываются здесь и особенности вертикальных неоднородностей атмосферы.

Надо учесть также, что восприятие цвета у каждого человека субъективно и зависит от оптических характеристик его глаз и некоторых физиологических особенностей зрения. В связи с этим возрастает значение объективных колориметрических данных, которые мож-

но получить, зная спектральные яркости сумеречного ореола.

Результаты наблюдений атмосферы вблизи дневного горизонта поверхности материков и океанов, проведенных космонавтами с кораблей «Союз», в общем мало различаются. При выходе космического корабля из тени на освещенную сторону Земли линия дневного горизонта размыта вуалью дымки. Какие-либо заметные вертикальные неоднородности в яркости дымки отсутствуют. Цвет ее зависит от высоты Солнца и облачности. Так, над океаном облачная атмосфера вблизи горизонта имеет грязно-сероватый цвет, а если облаков нет, то ярко-голубой. Эволюция цвета дымки в вертикальном направлении проста — от голубого тона (или грязно-серого) к синему, переходящему выше в черный цвет космоса.

Линия горизонта на дневной стороне Земли просматривается слабо, но заметна ее кривизна. Над дневным горизонтом Земли наблюдается узкая голубая полоска, которая на границе с черным цветом космоса размывается. Поверхность Земли у дневного горизонта обычно покрыта облаками. Цвет неба выше области, занимаемой атмосферной дымкой, черный. На дневной стороне Земли видимость ее поверхности и ландшафта при сравнительно небольших углах визирования сохраняется четкой. Но при больших углах из-за перспективности изображения и влияния атмосферной дымки картина искажается.

С высоты орбиты космических кораблей, т. е. примерно с 200—250 км, хорошо видны крупные и мелкие озера, реки, лесные массивы и их границы, города и поселки. Четко выделяются горные хребты, снег в горах, инверсионные следы от самолетов, тени от облаков на поверхности Земли. Легко распознаются все облачные образования, циклоны, слоистая и кучевая облачность, гряды облаков. Заметны горизонтальные и вертикальные перемещения облачных слоев. Из иллюминатора корабля хорошо различаются цвета земной поверхности. Так, в Сахаре четко выделяются цветом гряды песков, вытянутые в широтном направлении. На поверхности океанов можно заметить волнение, отчетливо выступает полоса прибоя.

Прозрачность атмосферы над географическими

районами Земли различна. У экипажей космических кораблей «Союз-4» и «Союз-5» сложилось впечатление, что самая чистая атмосфера над Тихим океаном в районе Курильских островов и Камчатки. Воздушная среда над континентами более мутная, чем над океанами. Очень чистая атмосфера в горах. Это подтверждается и сделанными с кораблей фотографиями.

Вообще интересно сопоставить возможности фотографирования и визуальных наблюдений Земли из космоса. При сравнении картины земной поверхности, как она наблюдается с борта космического корабля, с ее изображением на фотографии создается впечатление, что снимок сделан через какую-то рассеивающую пленку. И контрастность фотоснимков всегда меньше, чем при наблюдении невосторуженным глазом.

Таким образом, визуальные наблюдения космонавтов служат ценным источником сведений о физических процессах, протекающих в земной атмосфере. Именно благодаря им удалось обнаружить ряд новых явлений, в частности вертикально-лучевую структуру дневного излучения верхней атмосферы, свечение в районе Южного полюса и экватора, эффект «усов» и других. Все это едва ли можно было зафиксировать из космоса при помощи даже очень сложной аппаратуры.

Разумеется, главные перспективы исследований природной среды из космоса связаны с использованием автоматической аппаратуры и сложных приборов, требующих участия человека. Это касается прежде всего изучения специфических объектов или явлений. Но столь же бесспорно, что и в будущем за визуальными наблюдениями всегда останется важная роль в исследованиях первого этапа, предшествующего систематическому изучению природной среды различными приборами и инструментами. В связи с этим значительно возрастает значение научно обоснованных программ наблюдений в ходе полета.

Целенаправленное изучение явлений природы из космоса только начинается. Однако уже достигнутые успехи позволяют сделать вывод, что присутствие квалифицированных специалистов-космонавтов на борту долговременных орбитальных станций сыграет важную роль в исследовании различных явлений природы.

Сообщает «Прогноз»

Орбита спутника «Прогноз» выбрана так, чтобы в течение большей части периода обращения проводить исследования из районов, расположенных вне воздействия магнитного поля Земли. В таких условиях заметно снижаются помехи от частиц, захваченных геомагнитным полем, а кроме того, возможно наблюдение невозмущенного «солнечного ветра» — потока заряженных частиц, непрерывно испускаемых нашим светилом. Почему же нужно изучать солнечную активность, особенно вспышки и связанные с ними явления?

Речь идет об одном из самых удивительных и впечатляющих явлений природы. Гигантские взрывы на Солнце чаще всего происходят в периоды максимума его активности, повторяющиеся в среднем через 11 лет. Одна из моделей их возникновения предполагает следующее развитие событий. Внутри Солнца в условиях очень высоких давлений и температур идут термоядерные реакции. Но полученная энергия не может «вырваться» наружу сквозь плотные непрозрачные слои плазмы. И лишь через несколько промежуточных процессов поглощения и испускания продуктов термоядерных реакций происходит конвективный (механический) перенос масс сильно нагретого вещества из внутренних районов к внешним слоям, к фотосфере. Здесь оно расходует энергию на излучение, остывает и погружается внутрь, уступая место более горячим порциям плазмы. Поверхность Солнца как бы кипит, освобождая накопившуюся энергию.

Но временами на относительно однородной поверхности нашей звезды появляются устойчивые области с несколько меньшей температурой. Они кажутся темными на ярком фоне и потому получили название солнеч-

ных пятен. Около них всегда наблюдаются сильные магнитные поля, в тысячу и более раз превосходящие нормальный фоновый уровень на «невозмущенной» части поверхности Солнца.

Магнитное влияние пятен уменьшает конвекцию солнечной плазмы в своей зоне и как бы «аккумулирует» часть энергии, заключенную в конвективном движении. Магнитные поля группы пятен могут иметь сложную конфигурацию и иногда взаимно уничтожаются, создавая так называемые «нейтральные» полосы, вдоль которых возникают сильные электрические токи. Они неустойчивы и иногда прерываются на короткое время, образуя в разрыве сильные электрические поля, которые ускоряют частицы плазмы до высоких энергий. Вот этот ускоренный поток, взаимодействуя с плазмой, и дает взрыв. Одновременно возбуждаются электромагнитные колебания в широком диапазоне частот (рентгеновское излучение, радиовсплески, ультрафиолетовое излучение).

Существуют и другие модели. Но общая картина возникновения и развития вспышек пока еще недостаточно ясна. Требуют дальнейшего изучения и все их последствия. Что же нам уже известно об этом?

Потоки заряженных частиц, ускоренных в момент взрыва, частично преодолевают барьер магнитных полей около Солнца и попадают в межпланетную среду. К тому же вспышка, особенно крупная, почти всегда является источником ударной волны, которая распространяется во все стороны на десятки тысяч километров. При ее взаимодействии с магнитными полями солнечных пятен, возможно, также происходит интенсивное ускорение заряженных частиц, особенно протонов. Их потоки представляют серьезную радиационную опасность при полетах человека в космосе.

«Дыхание» вспышки ощущает и непосредственная окрестность Земли — магнитосфера. Эксперименты показали, что существует взаимосвязь различных процессов внутри магнитосферы с солнечной активностью. Так, «солнечный ветер» деформирует геомагнитное поле Земли и придает ему форму, несколько напоминающую каплю. На одной стороне нашей планеты «поджатая» солнечным ветром граница магнитосферы располагается от Земли на расстоянии десяти ее радиусов,

а пространство между фронтом ударной волны и границей магнитосферы составляет так называемую переходную область, где встречается горячая плазма. На противоположной, «теневой» стороне магнитосферы образуется шлейф геомагнитного поля, простирающийся на сто и более земных радиусов. Под воздействием возмущений солнечного ветра геомагнитное поле испытывает ответные возмущения, проявляющиеся в виде магнитных бурь и полярных сияний.

Одно из самых примечательных образований внутри магнитосферы — зона захваченной радиации или радиационные пояса Земли, почти целиком состоящие из электронов и протонов. Динамика радиационных поясов тесно связана с возмущениями в межпланетной среде, магнитными бурями и полярными сияниями.

Большое влияние на характер геофизических явлений оказывают рентгеновское и коротковолновое излучения Солнца. Они вызывают распад молекул под действием света, образование новых молекул и атомов и определяют состав верхней атмосферы Земли. Электромагнитные излучения Солнца служат основным источником нагрева верхней атмосферы Земли. Они же участвуют в образовании ионосферы и определяют состав, плотность, температуру, ионизацию верхних слоев атмосферы.

Но и это еще не все. Влияние процессов, происходящих на Солнце, ощущает вся биосфера Земли, ее животный и растительный миры. Так, от развития солнечной активности в ходе одиннадцатилетнего цикла зависят погода, скорость роста деревьев, «всплески» численности насекомых, например саранчи, распространение некоторых заболеваний.

Число подобных примеров быстро увеличивается и заставляет глубже изучать природу и закономерности возникновения всех форм солнечной активности, а также механизмы передачи возмущений от Солнца через межпланетную среду к Земле. Очень важно научиться прогнозировать появление вспышек и вызванных ими различных эффектов. Можно согласиться с мнением многих видных ученых, что создание службы Солнца не менее важно для народного хозяйства, чем работа метеорологической и сейсмологической служб.

На орбитальных солнечных обсерваториях «Прог-

ноз» проводится много экспериментов, которые должны дать информацию, необходимую для изучения и моделирования физической картины явлений солнечной активности и методов их прогнозирования.

При помощи спектрометров рентгеновских и гамма-излучений осуществляются временной контроль и спектральный анализ электромагнитного излучения вспышек в широком интервале энергий. Группа приборов — детекторов и спектрометров заряженных частиц предназначена для изучения поведения и углового распределения протонов и электронов, рождаемых в ходе вспышек. Эти же приборы изучают закономерности распространения потоков заряженных частиц в межпланетной среде. Другие исследуют характеристики возмущений в солнечном ветре и межпланетном магнитном поле. Проводятся также эксперименты по изучению длинноволнового радиоизлучения и низкочастотных электромагнитных колебаний в межпланетной среде и магнитосфере Земли.

Первые данные, полученные со спутников «Прогноз», «Прогноз-2» и «Прогноз-3», принесли интересные результаты. Прежде всего ученые получили возможность регулярно следить за радиационной обстановкой в межпланетной среде около Земли. Начиная с 14 апреля 1972 г. (с момента запуска первого спутника из серии «Прогноз») имеются непрерывные сведения о потоках заряженных частиц, солнечного ветра и рентгеновского излучения Солнца. Это позволяет получить статистически достоверную картину радиационных условий в околоземном космическом пространстве. Например, с апреля по ноябрь 1972 г. межпланетное пространство было заполнено интенсивными потоками солнечных протонов с энергией до нескольких мегаэлектрон-вольт и электронов с энергией в десятки килоэлектрон-вольт. Такое обилие частиц в период минимума солнечной активности необычно.

На этом повышенном фоне, который создают заряженные частицы относительно небольших энергий, несколько раз наблюдались крупные солнечные вспышки. Особенно активным Солнце было в начале августа 1972 г. 2, 4 и 7 августа произошли самые крупные за последние двадцать лет вспышки, сопровождавшиеся интенсивными потоками протонов и электронов.

Приборы, установленные на спутниках «Прогноз» и «Прогноз-2», зарегистрировали в околоземном космическом пространстве это уникальное явление природы. Дозиметрические измерения показали, что поглощенная доза внутри космического корабля, будь он в это время на орбите, составила бы опасную для здоровья человека величину.

Ученые обнаружили также несколько весьма интересных явлений, сопровождавших эту серию вспышек. Например, узкое, с очень крутыми передним и задним фронтами возрастание потока частиц почти во всех диапазонах энергий. Эта своеобразная «труба» диаметром в несколько миллионов километров протянулась от Солнца до границ нашей системы и была образована силовыми линиями межпланетного магнитного поля, связанного, по-видимому, на одном конце с районом вспышки. Механизм удержания частиц в такой трубе еще недостаточно ясен. Профили всплесков рентгеновского излучения вспышек имеют периодическую структуру. Она свидетельствует в пользу модели, которая рассматривает оптическую вспышку как результат взаимодействия ускоренных частиц с веществом атмосферы Солнца, т. е. как вторичное явление.

Во время повышенной активности Солнца в августе 1972 г. в результате влияния ускоренных солнечных частиц и солнечного ветра магнитосфера Земли была сильно деформирована. Вначале в фазе сжатия магнитной бури ее радиус уменьшился почти в два раза по сравнению с невозмущенным состоянием, а в фазе восстановления магнитосфера почти вдвое расширилась в направлении к Солнцу.

Данные, получаемые с автоматических станций «Прогноз», сопоставляются с результатами наземных астрономических обсерваторий и геофизических станций, широкая сеть которых охватывает почти всю планету. Ученые настойчиво ищут возможность предсказывать явления солнечной активности.

Радиомосты через Вселенную

Проблема повышения чувствительности радиоприема, которая всегда имела большое значение в радиотехнике, приобрела особую остроту в эпоху исследования космоса. И это вполне понятно: чтобы изучать очень удаленные объекты, принимать от них информацию, необходимо регистрировать чрезвычайно слабые радиосигналы.

До недавнего времени в приемных устройствах использовались электронные приборы типа вакуумных радиоламп или полупроводниковых кристаллов. Их чувствительность ограничивается внутренними шумами, связанными с тепловыми движениями электронов, участвующих в процессе приема радиосигналов. Радикальное решение проблемы создания «малозумящих» приемных систем было найдено на пути применения принципиально нового квантового метода усиления радиоволн.

В квантовых усилителях используется явление вынужденного излучения атомов при их переходах из одного энергетического состояния в другое под действием принимаемых радиосигналов. Эти излучения как бы добавляют энергию слабому сигналу, в результате чего он усиливается. Активным веществом квантовых усилителей, заменяющим радиолампы или полупроводники, служат кристаллы, которые содержат парамагнитные ионы. Кристаллы помещают во внешнее магнитное поле, обычно создаваемое электромагнитами со сверхпроводящими обмотками.

Парамагнитный кристалл охлаждают, как правило, до температуры жидкого гелия (минус 269°С). Благодаря этому, а также из-за отсутствия носителей тока в кристалле собственные шумы квантовых усилителей

в сотни раз меньше, чем у обычных радиоприемников. Применение таких усилителей позволило впервые в истории радиотехники повысить чувствительность радиоприемных устройств до принципиального предела, определяемого «шумовым» излучением Вселенной.

В Советском Союзе в последнее десятилетие проведены большие работы по созданию и применению квантовых усилителей. Выполнены фундаментальные исследования, в ходе которых был впервые применен в усилителях рубин, превосходящий по своим характеристикам другие материалы. Разработаны различные квантовые усилители, принимающие радиоволны в дециметровом, сантиметровом и миллиметровом диапазонах. Эти устройства внедрены в наземные приемные системы для исследования космического пространства (радиолокации планет, радиоастрономии, дальней космической связи). Квантовые усилители — уникальные устройства. В настоящее время они эксплуатируются на крупнейших антеннах в СССР и США. Отметим, кстати, что на самых коротких радиоволнах — в миллиметровом диапазоне зарубежные разработки таких приемных устройств не увенчались успехом. В СССР же в течение ряда лет они успешно применяются в радиоастрономии.

Квантовые усилители значительно расширили возможности планетной радиолокации, резко сократив время, необходимое для накопления информации. Это в большой степени определило успех исследований по радиолокации планет, выполненных под руководством академика В. А. Котельникова. Так, информацию о планете Меркурий, полученную с применением квантового усилителя за 10—15 дней в период ее наибольшего приближения к Земле, обычными методами пришлось бы накапливать в течение нескольких десятков циклов приближения планеты, повторяющихся каждые три месяца. Другими словами, эту работу надо было растянуть чуть ли не на десять лет.

Одна из важнейших областей современной радиоастрономии — исследования естественного космического радиоизлучения, которое сосредоточено в сравнительно узких частотных интервалах — спектральных линиях. К таким экспериментам относится, например, получение информации об изучении нейтрального межзвезд-

ного водорода на волне 21 см. Они позволили накопить фундаментальные данные о строении Вселенной. Однако эта линия не дает возможности исследовать области ионизированного и возбужденного водорода, представляющего важнейшую составную часть Галактики. Спектральные линии радионизлучения, позволяющие получить ценную информацию об этих областях, имеют очень слабую интенсивность. Только благодаря квантовым усилителям советские ученые впервые в мире обнаружили и исследовали эти спектральные линии, получив ценные сведения о строении и динамике ряда областей Галактики. Недавно зафиксированная с помощью радиотелескопа Физического института АН СССР и квантового усилителя первая в миллиметровом диапазоне линия возбужденного водорода позволила перейти от простого изучения характеристик источника в целом к исследованию физических условий внутри него.

К числу наиболее перспективных направлений радиоастрономии относится так называемая когерентная радиоинтерферометрия со сверхдлинной базой (РСДБ). Этот метод основан на наблюдениях источника радиоизлучения независимо с двух удаленных на большое расстояние телескопов. Сигналы принимаются в одно и то же время на обоих пунктах, записываются, а затем совместно обрабатываются электронной вычислительной машиной. Метод РСДБ отличается высокой разрешающей способностью, которая тем выше, чем длиннее база и короче волна. Он дает возможность исследовать структуру чрезвычайно компактных по космическим масштабам, исключительно интересных объектов в космосе — квазаров, ядер галактик, областей образования звезд и т. п.

Недавно были осуществлены совместные советско-американские исследования таких объектов на радиоинтерферометре со сверхдлинной базой: один радиотелескоп находился в СССР, другой — в США. Сигналы принимались на волне длиной 3,55 см. При такой базе разрешение было порядка десятитысячной доли угловой секунды, т. е. значительно лучшее, чем в оптических звездных интерферометрах. Максимальная чувствительность обеспечивалась применением квантовых усилителей на обоих концах базы. В результате уда-

лось приступить к изучению очень удаленных компактных объектов.

Дальнейшее повышение разрешающей способности РСДБ связано с переходом на еще более короткую волну — длиной 1,35 см. Для радиоастрономии она представляет особый интерес, так как сигналы на этой волне приносят информацию о наличии в космосе водяного пара. Но чтобы осуществить такие наблюдения наиболее эффективно, потребуется значительно повысить чувствительность аппаратуры в этом диапазоне. В самое последнее время в нашей стране разработан соответствующий квантовый усилитель, который обладает исключительно малыми собственными шумами.

Метод радионтерферометрии со сверхдлинной базой открывает перед наукой широкие перспективы. Он позволит, например, экспериментально проверить общую теорию относительности по искривлению луча электромагнитных волн под действием гравитационного поля Солнца. Причем точность таких измерений в сотни раз выше, чем у оптических методов. С помощью РСДБ допустима также регистрация смещения земных континентов с точностью до нескольких сантиметров.

Квантовые усилители резко повысили эффективность и информативность связи с межпланетными автоматическими станциями. Они применялись в различных космических экспериментах, в частности для приема научной информации от автоматических станций «Марс». При дальнейших исследованиях Венеры и Марса объем научной информации несомненно возрастет. Поэтому и значение квантовых усилителей, используемых в радиоприемных системах дальней космической связи, будет еще больше.

В будущем, при полетах автоматических станций к загадочной планете Юпитер и к более далеким планетам Солнечной системы, проблема обеспечения необходимой информативности значительно осложнится из-за гигантских расстояний, отделяющих их от Земли. В этих условиях роль квантовых усилителей, которые обладают предельно высокой чувствительностью, трудно переоценить.

**В СЕРИИ «КОСМОНАВТИКА, АСТРОНОМИЯ»
В 1973 ГОДУ БЫЛИ ИЗДАНЫ
И РАЗОСЛАНЫ ПОДПИСЧИКАМ:**

- | | |
|---|---|
| 1. Х. Альвен | Атом, человек, Вселенная. |
| 2. В. Н. Жарков | Внутреннее строение Земли, Луны и планет. |
| 3. О. А. Мельников,
В. С. Попов | Астроспектроскопия — язык Вселенной. |
| 4. Л. М. Гиндилис | Проблемы обнаружения внеземных цивилизаций. |
| 5. В. Н. Твердовский | Космодром. |
| 6. Н. М. Иванов,
Ю. И. Митяев | Проблемы межпланетных полетов. |
| 7. А. Д. Коваль,
А. А. Тищенко | Космические исследования и экономика. |
| 8. Л. С. Хачатурьянц,
Е. В. Хрунов | В открытом космосе. |
| 9. Н. Н. Рукавишников,
Г. И. Морозов | Космонавт-исследователь. |
| 10. Группа авторов | Николай Коперник. |
| 11. В. Д. Давыдов | Планеты Солнечной системы. |
| 12. Группа авторов | Современные достижения космонавтики. |