ЗНАНИЕ

НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

СЕРИЯ
КОСМОНАВТИКА,
АСТРОНОМИЯ

11/81

629.78
O 5G8

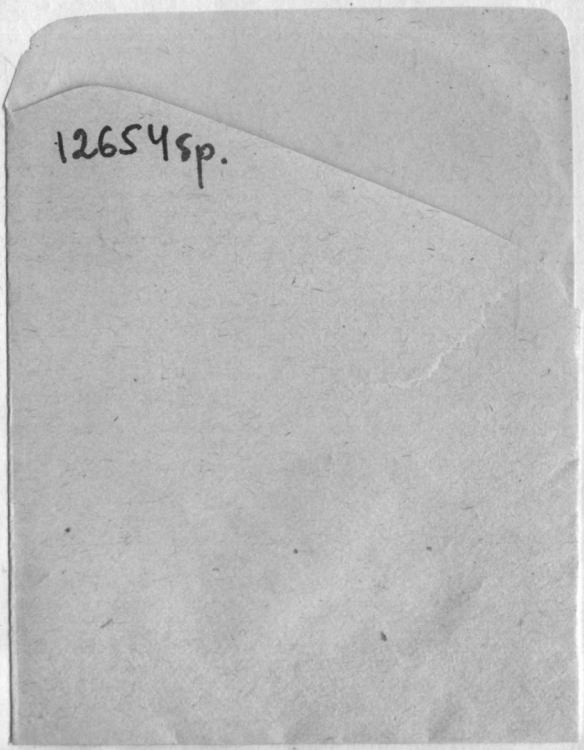
СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ

УВАЖАЕМЫЙ ТОВАРИЩ!

После просмотра источника информации (книги, журналы и т. д.) зачеркните очередную цифру.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	11	12	13	14	15	16		
17	18	19	20	21	22	23		
24	25	26	27	28	29	30		

Зак. 1187



629.78
С568

НОВОЕ
В ЖИЗНИ,
НАУКЕ,
ТЕХНИКЕ

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ

СБОРНИК СТАТЕЙ

Серия
«Космонавтика,
астрономия»
№ 11, 1981 г.

Издается
ежемесячно
с 1971 г.

12654 Дг.

Издательство
«Знание»
Москва
1981

Библиотека

ББК 39.6
С 56

СОДЕРЖАНИЕ

В. А. Иванов. «Салют-6»: пятая основная экспедиция (хроника полета) 3
НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ КОСМОНАВТИКИ
К. Я. Кондратьев. Космические аппараты исследуют Сатурн 24
ХРОНИКА КОСМОНАВТИКИ 62

С 56 Современные достижения космонавтики: Сборник статей/Сост. В. И. Прищепа. — М.: Знание, 1981. — 64 с. — (Новое в жизни, науке, технике. Сер. «Космонавтика, астрономия»; № 11).

11 коп.

Минувший год ознаменовался новым достижением космонавтики — еще одним продолжительным пилотируемым полетом на орбитальном научно-исследовательском комплексе «Салют-6» — «Союз». Об этом полете, имеющем важное значение для развития космонавтики, рассказывается в данной брошюре. В ней также освещаются новости зарубежной космонавтики, касающиеся исследования Сатурна космическими аппаратами «Пионер-Сатурн», «Вояжер-1 и -2».

Брошюра рассчитана на широкий круг читателей.

31900 3607000000 ББК 39.6
6Т6

© Издательство «Знание», 1981 г

«Салют-6»: пятая основная экспедиция (хроника полета)

В. А. ИВАНОВ,
кандидат технических наук

Блистательными успехами встретила XXVI съезд КПСС советская космонавтика. Особенно это касалось программы пилотируемого изучения и освоения космического пространства в интересах науки, техники и народного хозяйства. Три года и три месяца налетала к концу завершающего года десятой пятилетки орбитальная научная станция «Салют-6», более чем вдвое превысив свой первоначально запланированный рабочий срок. 603 сут станция была обитаема, 24 космонавта работали на ее борту, причем трое из них — дважды. В рамках программы орбитального комплекса «Салют-6»—«Союз»—«Прогресс» совершили полеты 17 кораблей «Союз» и «Союз Т», 11 грузовых кораблей «Прогресс».

Заключительным в минувшем году был рейс «Маяков» — командира Леонида Кизима, бортинженера Олега Макарова, космонавта-исследователя Геннадия Стрекалова. Они стартовали 27 ноября 1980 г. в 17 ч 18 мин 28 с по московскому времени на космическом корабле «Союз Т-3». В течение суток, выполнив пять маневров дальнего наведения, «Маяки» сблизились со станцией «Салют-6» и сходу, без зависания, состыковались с ней. Экипажу предстояло испытать корабль «Союз Т-3» в автономном полете, выполнить на станции регламентно-профилактические работы и детально обследовать «Салют-6» для оценки его состояния и возможностей.

Подготавливаемый на замену «Союзу» модернизированный транспортный корабль «Союз Т» уже успешно прошел ряд испытаний. Первый из этой серии кораблей проработал в автоматическом беспилотном полете более 100 сут, причем 96 из них в связке с «Салютом-6». Затем была выполнена пилотируемая проверка в двухместном варианте. Космонавты Юрий Малышев и Владимир Аксенов в ходе полета «Союза Т-2» проверили автоматику и ручное управление.

Третий корабль этой серии, пилотируемый тремя космонавтами, завершал испытания. В результате этого полета «Союз Т» был введен в космический строй, стал основным советским транспортным пилотируемым кораблем.

Стыковка «Союза Т-3» с «Салютом-6» (30-я по счету для станции) была выполнена без замечаний, и экипаж приступил к работе на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз Т-3» — «Прогресс-11». Полет «Маяков» при его сравнительной непродолжительности (12 сут 19 ч, из которых 11 сут 14 ч в составе орбитального комплекса) отличался высокой плотностью программы работ, выполненных космонавтами.

«Маяки» провели уникальную в условиях космоса ремонтную операцию, продлившую «рабочий век» станции. Впервые на борту космического аппарата было успешно осуществлено вторжение в герметичную гидросистему, заполненную теплоносителем. При помощи бортового инструмента космонавты распилили контур обогрева системы терморегулирования станции и с минимальными потерями теплоносителя заменили блок гидронасосов, давно выработавших свой ресурс.

Сам факт включения этой операции в полетное задание космонавтов говорит об опыте, накопленном советской космонавтикой в эксплуатации орбитальных станций, который позволил смело вмешаться в работу аппаратуры станции с целью продления ее ресурса и модернизации.

Олег Макаров прибыл на станцию вторично. Почти три года назад, в январе 1978 г., он вместе с Владимиром Джанибековым входил в состав первой экспедиции посещения, прибывшей на «Салют-6». Оценить изменения космического дома ему предстояло не только по обязанности, но было и просто любопытно сравнить станцию «тогда» и «теперь».

Инспектируя «Салют-6», космонавты изучали состояние отдельных систем станции, тщательно осматривали ее интерьер, взяли пробы воздуха, проводили анализ условий труда и отдыха. Особенно внимательно они осмотрели иллюминаторы «Салюта-6». Эти прозрачные участки оболочки станции были своего рода тестовыми. На просвет в них делались видимыми следы от встреч оболочки станции с микрометеоритами: царапины, кратеры. Особенно важно было оценить состояние тех из

иллюминаторов, которые не защищены крышками и уже более трех лет непосредственно контактировали с космической средой и собственной внешней атмосферой станции.

Каждый раз при срабатывании реактивного двигателя (как управляющего угловым положением, так и маршевого) станция обволакивается разреженным светящимся облаком, обретает временную внешнюю атмосферу. Постепенно эта атмосфера улетучивается, но оставляет осадок на иллюминаторах станции.

Вот почему время от времени необходимо уточнять пропускную способность окон орбитальной станции. При осмотре иллюминаторов космонавты отметили, что в одном и том же отсеке одни из иллюминаторов остались чистыми, другие же подверглись бомбардировке микрочастицами. Редко встречались крупные кратеры диаметром в несколько миллиметров, чаще наблюдались (в соответствии с теорией) мелкие щербинки размером до 0,1 мм. Местами на стеклах иллюминаторов просматривались пятна полупрозрачного коричневого налета.

Декоративная обивка отсеков «Салюта-6» выглядела вполне прилично. Правда, местами она загрязнилась, но не выцвела. Следов коррозии металлических деталей «Маяки» не обнаружили: металлическая поверхность осталась чистой, матовой. Температура в станции, по оценке космонавтов, была комфортная, вентиляция — достаточной. Сквозняков в рабочих зонах «Салюта-6» не ощущалось, источником шума в основном были постоянно работающие вентиляторы. Для уменьшения фонового шума космонавты предложили сделать мягкую подвеску для всех вентиляторов и заменить вентиляторы с шумящими подшипниками.

В соответствии с программой бортовых исследований и экспериментов «Маяки» выплавили в бортовых печах «Кристалл» и «Сплав» полупроводниковые составы кадмий—ртуть—теллур и галлий—висмут, провели эксперимент по получению на станции голограмм процесса растворения поваренной соли. В биологических установках «Оазис» и «Светоблок» был осуществлен эксперимент по выращиванию высших растений. В частности, зацвел арабидопсис, посаженный на Земле и доставленный на «Салют-6» в стадии бутонообразования. Несмотря на кратковременность экспедиции, в бортовой оранжерее станции появились побеги гороха и пшеницы, а

лен достиг высоты 10 см. В полете «Маяки» сняли динамические характеристики связки космических аппаратов при воздействии на нее нагрузок, которые задавали сами космонавты.

«Днепры», участники предыдущей, долговременной экспедиции, Леонид Попов и Валерий Рюмин отдыхали в это время в Кисловодске, но они постоянно были на связи с «Салютом-6», помогали «Маякам» советами. И те с полным основанием утверждали: «Нас не трое на станции, а пятеро».

9 декабря 1980 г. «Прогресс-11» отошел от грузового причала «Салюта-6», а еще через 20 ч, закончив работу на станции, отчалили от пассажирской стоянки и «Маяки». Через 3 ч 16 мин после расстыковки сработали двигатели мягкой посадки, и спускаемый аппарат «Союза Т-3» с космонавтами приземлился в расчетном районе, в 130 км от Джезказгана.

Первым стартом новой пятилетки стал пуск 12-го грузового транспортного корабля. «Прогресс-12» осуществил сближение по обычной для беспилотных полетов двухсуточной схеме и состыковался с «Салютом-6». В составе орбитального комплекса он дважды корректировал орбиту, а затем, оставаясь у причала станции, стал ожидать разгрузки.

Экипаж пятой основной экспедиции — «Фотоны» — стартовал 12 марта 1981 г. в 22 ч 00 мин 11 с по московскому времени. Командиром экипажа был назначен Владимир Коваленок, который уже в третий раз отправился в космос, а бортинженером — Виктор Савиных, ставший 100-м космонавтом планеты.

«Союз Т-4» был запущен на орбиту уже как основной транспортный корабль. Виктор Савиных очень хорошо знал особенности усовершенствованной машины. Он познакомился с ней на этапе разработки. Владимир Коваленок же был знаком со станцией «Салют-6». Он имел почти пятимесячный «жизненный» опыт, проработав на станции вместе с Александром Иванченковым во время второй основной экспедиции.

Организм Владимира Коваленка сразу вспомнил минувшее и быстро приспособился к невесомости. Пригодились и прежние навыки — он сразу, без каких-либо затруднений стал летать в станции, тогда как Виктору пришлось обучаться такому передвижению. Виктор Савиных сравнительно легко преодолел барьер невесомо-

сти, чувствовал себя нормально, был активен в переговорах, пульс имел ровный, не потерял аппетита.

Состояние здоровья «Фотонов», их хорошее самочувствие позволили сразу приступить к работе. Нужно было запустить системы станции, начать первые опыты, к тому же ждал своей разгрузки «Прогресс-12». И в этом полете главным консультантом по станции стал Валерий Рюмин — и на правах старожила, около года прожившего на станции, и по служебным обязанностям, будучи теперь заместителем руководителя полета.

В беспилотном полете станция «захолаживается», и ее приборы находились в пониженном температурном режиме. Когда температуру повысили перед прибытием экипажа, это вызвало повышенную влажность. Бумажная лента бортового телетайпа «Строка» набухла и стала мешать передаче первых телеграфных сообщений Земли. Поэтому наряду с расконсервацией станции и разгрузкой «Прогресса-12» космонавты занимались вводом в строй капризничавшего оборудования.

Они также исправили работу системы, обеспечивавшей ориентацию панелей солнечных батарей. Оказалось, что одна из панелей вместе с истинным видела и ложное Солнце и разворачивалась навстречу ему. Космонавты, использовав кабель-вставку, изменили поисковый режим батарей, и это сразу же сказалось на электроснабжении станции.

Проводя проверку командной системы станции, «Фотоны» обнаружили несанкционированное прохождение главной команды. Поиски причины потребовали расстыковки около 30 бортовых разъемов, однако разъем-«виновник» был найден, и работа командного комплекса нормализована.

Разгрузив «Прогресс-12», «Фотоны» поместили в него отработавшее оборудование, и 19 марта грузовой корабль отстыковался от станции и сгорел, войдя в плотные слои земной атмосферы.

22 марта в 17 ч 58 мин 55 с по московскому времени на корабле «Союз-39» стартовали «Памиры» — Владимир Джанибеков, уже работавший в кратковременной экспедиции на «Салюте-6», и гражданин МНР Жугдэрдэмидийн Гуррагча. После четырех маневров дальнего наведения «Памиры» выполнили сближение и причаливание к орбитальному комплексу «Салют-6» — «Союз Т-4».

Свои исследования советско-монгольский экипаж начал медико-биологическими экспериментами. Один из них — «Биоритм» — предназначался для изучения суточной периодики организма. В пилотируемом полете отсутствует естественная смена дня и ночи, синхронизирующая функции человеческого организма. Поэтому интересно выяснить стабильность и изменчивость жизненных ритмов человека, особенно в период приспособления организма к невесомости. С этой целью «Памиры» каждые 2 ч измеряли в полете температуру тела, пульс и артериальное давление.

В эксперименте «Чацаргана» проверялось воздействие высокоактивных биологических веществ на организм космонавтов. С этой целью в рационы питания были включены продукты, содержащие облепиховое масло. Космонавтам особенно пришлось по вкусу молоко с облепихой, оно же способствовало повышению работоспособности. В пищевые добавки вошло и сушеное мясо — «борц», традиционное блюдо монгольской кухни.

В ряде исследований анализировалось приспособление человеческого организма к невесомости через восприятие окружающей среды. В эксперименте «Нептун» проверялось изменение остроты и глубины зрения космонавтов. С помощью кубинского комплекта «Контакт» определялась оценка размеров предметов осязанием и выявлялись зрительные иллюзии.

Прибор «Рула», разработанный в ГДР, использовался в тесте с определением интервалов времени и порогов ощущения временных промежутков. Умственная деятельность космонавтов в целом проверялась в эксперименте «Работоспособность». «Кровообращение» — так назывались пробы с нагрузкой на велоэргометре с замером состояния сердечно-сосудистой и дыхательной систем.

В небольших аквариумах, доставленных «Памирами», развивались головастики. Воздух внутри аквариумов сливается в центре в единый пузырь, и головастики, ориентируясь на поверхность воды, крутились в невесомости вокруг него.

«Памиры» вместе с «Фотонами» вели фотосъемку Земли с помощью многозональной фотокамеры МКФ-6М и широкоформатного фотоаппарата КАТЭ-140. Предварительно на территории Монголии были выделены те-

стовые участки, заснимаемые также с самолета-лаборатории и обследуемые наземными средствами.

В эксперименте «Эрдэм» изучались природные ресурсы МНР, т. е. районы, перспективные на поиск полезных ископаемых, а также земли, которые при комплексном изучении из космоса можно будет включать в хозяйственный оборот. Кроме того, исследовались места, перспективные на поиск подземных вод; леса Монголии и т. д.

Эксперимент «Биосфера-Мон» включал в себя визуально-инструментальные наблюдения, дополненные фотосъемкой с использованием малоформатных бортовых фотоаппаратов. В задачи эксперимента входило изучение тектонических и структурных взаимодействий крупных разломов Прихубсугулья, обнаружение кольцевых и кратероподобных структур, инвентаризация запасов содержащейся в ледниках пресной воды и регистрация загрязнений окружающей среды.

С помощью болгарского 15-канального ручного спектрометра «Спектр-15», вошедшего в состав постоянной бортовой аппаратуры «Салюта-6», исследовалась атмосфера Земли, ее оптические характеристики и ее функции как экранирующей и передаточной среды при дистанционном зондировании Земли из космоса. Физико-технические эксперименты «Атмосфера», «Иллюминатор», «Горизонт», «Терминатор» уже проводились в полетах других международных экипажей и являлись их продолжением.

Та же аппаратура применялась при количественных оценках спектрального пропускания иллюминаторов. Портативный визуально-поляризационный анализатор, разработанный советскими и монгольскими специалистами, дополнял исследования атмосферы и подстилающей поверхности Земли с помощью измерения степени поляризации световых явлений в приземной среде.

Слюда из Монголии использовалась в качестве детектора космического излучения. Попадая в нее, тяжелые атомные ядра оставляли следы разрушения ее структуры. По этим каналам в диэлектрическом детекторе при наземных исследованиях определялись заряды и энергия попавших в него атомных ядер.

Эксперимент «Голограмма», подготовленный советскими, кубинскими и монгольскими специалистами, предназначался для изучения возможности записи голо-

графических изображений и передачи их из космоса. Голография позволяет получать трехмерное изображение регистрируемых объектов, что весьма перспективно для использования в космических программах. Запись или непосредственная передача на Землю объемной картинки может способствовать более полному восприятию ее специалистами. Однако обычные голографические установки громоздки и чувствительны к помехам (смещениям, вибрации). Специально созданный для космоса прибор был портативным, весил менее 5 кг и работал в условиях вибрации. В качестве источника света в нем служил гелионеоновый лазер.

Бортовая лазерная голографическая установка «Фуло» позволила провести на станции регистрацию процесса растворения в невесомости кристаллов с последующей передачей голограммы на Землю по телевизионному каналу. Одновременно в ходе этого эксперимента отмечалось, что в условиях отсутствия конвекции время растворения увеличивается более чем на порядок.

В результате этих работ была доказана работоспособность малогабаритного, виброустойчивого голографического аппарата, созданного советскими учеными. Впервые в космосе было записано, а на Земле воспроизведено объемное изображение. В работе по получению и передаче голограмм активное участие принимал экипаж основной экспедиции. И позже, уже в самостоятельном полете, он продолжал эти интересные и многообещающие исследования.

В соответствии с программой космического материаловедения советско-монгольский экипаж провел технологические эксперименты «Эрдэнэт» и «Алтай». В первом из них исследовалась диффузия и перераспределение примесей при растворении и кристаллизации солей меди. В стеклянной кювете, нагреваемой до температуры 90° С, растворялась сернокислая медь, затем при охлаждении проходила ее кристаллизация. В эксперименте «Алтай», проводимом на нагревательной установке «Сплав», выращивались кристаллы пятиокиси ванадия.

Закончив программу бортовых исследований, советско-монгольский экипаж 30 марта 1981 г. отстыковался от станции и приземлился в спускаемом аппарате «Союза-39» в расчетном районе, в 170 км от Джезказгана.

Проводив «Памиров», Владимир Коваленок и Виктор Савиных продолжали выполнять свою собственную

программу. В канун праздника космонавтики на 20 349-м витке природа преподнесла «Фотонам» подарок. В течение двух суток — 11 и 12 апреля — космонавты наблюдали и фотографировали очень красочное полярное сияние. До этого им удавалось увидеть только слабые сияния, а сейчас целых 20 витков они наблюдали за необычным.

«Мы сейчас наблюдаем полярное сияние, — рассказывали «Фотоны» с орбиты, — которое превзошло все раньше виденное... Не только красные столбы, но и столбы зеленые, голубые, синие. Все полыхает, и мы летим в нем... В переходном отсеке иллюминаторы светятся, как рубиновые...»

Полярное сияние делает видимым сложное взаимодействие внеземных плазменных потоков с магнитосферой и атмосферой Земли. «Фотоны» вели замеры явлений в ионосферной плазме с помощью болгарского электрофотометра «Дуга», изучали спектральный состав среднеширотных красных дуг и экваториальных аномалий. В полярных сияниях они разбирали вертикальную структуру их спектральных характеристик. Об интересных наблюдениях они рассказывали Земле: «Смотрели в сторону Солнца и наблюдали серебристые облака, недалекие, тонкие. Несколько раз видели двухъярусные серебристые облака — тонкими слоями на высоте примерно 90—95 километров».

Владимир Коваленок с Александром Иванченковым, летая по солнечной орбите, наблюдали узкую полоску, опоясывающую кольцом земную атмосферу. Но это явление они видели лишь один раз. В связи с чем было высказано предположение, что это наблюдались серебристые облака. В последнем полете Владимир Коваленок вместе с Виктором Савиных получил подтверждение предыдущему наблюдению.

«У нас орбита близка к солнечной, — сообщали космонавты. — Хотя Солнце и заходит, но заря постоянно присутствует. Такая голубая заря, а серебристые облака почти по всему горизонту — они на восходе и закате, выше белесого слоя, перед фиолетовым. Была бы орбита у нас полностью солнечная, то получился бы замкнутый поясок».

Нередко открытие в полете начиналось с наблюдения, показавшегося необычным. Так было со «ступеньками» контура Солнца при заходе его за атмосферу.

«Ступеньки» конкретно указывали на слоистость земной воздушной оболочки и стали основой метода зондирования ее слоев. Для пятой основной экспедиции стала обычной фиксация деформации края солнечного диска при наблюдении Солнца через атмосферу. Однако «Фотоны» не переставали отыскивать необычное в обычном, много раз виденном и вдруг по-иному открывшемся.

«Наблюдаем мерцание первого эмиссионного слоя, неоднородность его свечения, — передавалось с орбиты. — Яркость увеличивается тонкой полоской, словно бежит... Увеличение яркости первого эмиссионного слоя приходится на время, когда эмиссионный слой на этих широтах смотрится кольцом».

Фотосъемка с орбиты — источник комплексной информации. Половину материала, отснятого из космоса, используют геологи. Например, для выявления общих геологических закономерностей такого масштаба, как, скажем, строение материков. Аномалии глубинного строения выявляются по типажу наружных структур. А для направления наземных поисковых работ полученный фотоматериал анализируется в части специфических куполов, кольцевых структур, сгущений трещин в земной коре, по которым рудоносные растворы, возможно, поднялись к поверхности Земли.

«Проходим над Монголией, — делились «Фотоны» с орбиты. — Под нами разлом, снегом обозначен четкий. Летом его не видно. В это время ярче вырисовываются геологические образования — разломы, кольцевые структуры». Каждое время года имеет свои особенности для наблюдений с орбиты, и конкретные задания космонавтов это учитывают.

«Фотоны» летали над страной в весенний период. В Молдавии они наблюдали за огромным межколхозным садом в период его цветения, а в Средней Азии в это же время анализировали состояние растительности и урожайность кормов пустынных пастбищ.

Тренированность наблюдений рождала особую зоркость человеческого глаза. «Видим морские корабли — следы белые, по направлению к Крыму. Четыре в одну сторону, два им навстречу». И дело было не в феномене зрения, а в использовании побочных признаков, в данном случае, например, кильватерных следов. «На

Курилах извержение вулкана. Черный шлейф дыма. По оконечности Камчатки словно паровоз идет».

В полете Владимира Коваленка вместе с Александром Иванченковым космонавты начали активную промысловую рыборазведку. В этом полете условия были иными: океан в основном скрыт облачностью, шельфовые зоны страны — подо льдом. Но Владимир Коваленок продолжал наблюдения при различных условиях освещенности и разных углах зрения. И природа наградила его настойчивость.

«В районе Камчатки, в Охотском море, сохраняется лед, — рассказывал он в сеансе радиосвязи. — Но лед очень четко подчеркивает течения, водную динамику, что была на момент замерзания. Видна структура прошлогодних течений, ледовые меандры. Мы сделали снимки».

Опыты по материаловедению продолжали предыдущие эксперименты, но и, кроме того, вносили в прежнее новое качество. Еще Леонид Попов и Валерий Рюмин установили, что длительное выращивание кристаллов полупроводников в невесомости делает их более совершенными. В ходе полета «Фотонов» в течение 133 ч в космической электронагревательной установке «Сплав» создавался полупроводниковый кристалл соединения кадмий—ртуть—теллур. И все 5 сут создания совершенного монокристаллического образца не включались управляющие двигатели комплекса, и делалось все возможное, чтобы не повлиять на совершенство его структуры.

Продолжались эксперименты по выполнению пенополиуретановых отливок. Первые отливки, выполненные Леонидом Поповым и Валерием Рюминым, показали, что не всегда получается однородный материал и заполняются «узкие» места селиконовых матриц. Это объясняется расслоением многокомпонентной исходной жидкости. Теперь «Фотоны» применяли в опытах новую методику — исходный состав предварительно интенсивно перемешивался. «Фотоны» успешно осуществили заполнение сложных вытянутых форм, и принципиальная возможность создания в невесомости легких заданных конструкций из пенополиуретана была доказана.

Такие отливки могут стать подложками для изготовления и наращивания площадей солнечных батарей. Тем более что в полете «Фотонов» продолжались рабо-

ты по нанесению пленочных покрытий на разнообразные подложки.

С помощью технологической установки «Испаритель» космонавты третьей основной экспедиции напылили 24 первых образца покрытий, экипаж четвертой основной долговременной экспедиции — 180 тонкопленочных покрытий, нанесенных на металлические, полимерные и стеклянные поверхности. Основная цель всех этих работ заключалась в получении возможности восстанавливать отражающие и защитные свойства покрытий бортовых приборов и аппаратов. Интересными стали и эксперименты, изучавшие принципиальную возможность литья в тонкопленочные формы.

Полученные образцы покрытий принесли не только ответы, но и вопросы. Оказалось, что одинаковые по постановке эксперименты дают разные результаты. В частности, получились разными свойства покрытий одного и того же вещества на той же самой подложке. Чем это вызвано? Может, подобная технология очень чувствительна к условиям эксперимента?

Напыление в космосе выполняется в условиях вакуума в шлюзовой камере, и, возможно, причиной отличий являлась неодинаковость в разрежения в опытах, а может, и неповторяющийся тепловой режим. В серии опытов, выполненных «Фотонами» на установке «Испаритель», замерялась температура напыляемых образцов меди и серебра. Уточнение параметров технологических процессов, выяснение особенностей тепло-, массопереноса в невесомости, капиллярных явлений — таков путь, который обещает успех космическому материаловедению.

«Технологические» будни «Фотонов» подтвердили факт, что станция «Салют-6» стала не только материаловедческой лабораторией, но и подвела нас к непосредственному производству в космосе полупроводниковых, оптических, полимерных, пленочных и пеноматериалов. Успешные опыты, выполненные на ее борту, положительно решили вопрос о создании в околоземном пространстве постоянно действующих специализированных производственных комплексов. Космическая техника открывает дорогу для решения важных экологических задач: удаления за пределы Земли вредных технологических производств и установок с радиоактивными отходами. Обращает на себя внимание возмож-

ность широкого использования энергии Солнца. Поэтому конкретные достижения на этом пути, такие, как уже выполненные работы на «Салюте-6», являются ценным вкладом в копилку всего человечества.

Редки на борту праздники. 12 апреля «Фотоны» вместе со всеми встретили на орбите День космонавтики. На телесвязи с космонавтами были друзья, члены семей, любимые артисты. Тепло прозвучали поздравления с борта станции и тех, кто круглосуточно на космической вахте — специалистов, рабочих смен Центра управления полетом.

Вместе со всем советским народом космонавты участвовали в коммунистическом субботнике. В этот день они выполнили не очень приятную, но нужную работу— «влажную уборку»: протерли станцию, удалили пыль с сеток многочисленных вентиляторов станции, прибрали ее запанельные пространства. Любопытно, что за панелями, в местах, необдуваемых вентиляторами, пыль собирается в виде объемной паутины.

В предмайские дни космонавты рапортовали Земле о сделанном: «По «Лотосу» извлекли отливку. Вся форма была заполнена, весь длинный мешок. Отливка жесткая. Мы ее подготовили для возвращения на Землю... На «Испарителе» напылили десять образцов. Напылилось очень аккуратно — равномерный серебристый слой... По «Голограмме» тест «Фуло» выполнили... По дельте Волги и полуострову Мангышлак ведем съемку — МКФ-6М и КАТЭ-140, спектрометрируем, замеряем поляризацию. Такого комплексного эксперимента еще не было... В 19.40 включаем установку «Сплав».

1 Мая с помощью телесвязи космонавты присутствовали на Красной площади, в телерепортаже с орбиты они передали праздничный привет, поделились новостями из космоса.

Продолжались работы на внеземной астрономической площадке. «Фотоны» выполнили калибровку субмиллиметрового телескопа БСТ-1М. Несмотря на то что телескоп уже давно отработал свой ресурс, тестовое включение показало, что он может вести исследования как в инфракрасном (субмиллиметровом), так и в ультрафиолетовом диапазонах. «Фотоны» выполнили настройку аппаратуры телескопа, затем приступили к записи субмиллиметрового излучения земной атмосферы.

БСТ-1М является примером нового научного прибо-

ра, не имеющего аналогов на Земле — он создан специально для космоса. Чтобы подчеркнуть сложность его работы вне Земли, следует отметить, что все три с половиною года в контуре БСТ-1М функционирует криогенная установка, охлаждающая приемники телескопа почти до температуры абсолютного нуля. Именно это позволяет телескопу наблюдать холодные космические образования с температурой от 0 до 100 К. Излучение в субмиллиметровом диапазоне не достигает Земли, хотя оно очень информативно. Оно способно сообщить о составе межзвездной среды, дать сведения о раннем и позднем этапах развития звезд, когда они были «еще» или стали «уже» холодными. Довольно полно рисует БСТ-1М и картину самых верхних слоев атмосферы Земли. «Просвечивая» атмосферу Земли ультрафиолетовым источником с длиною волны около 0,25 мкм, с помощью БСТ-1М замеряют поглощения озонного слоя Земли. Для этого используют моменты захода звезд за земной горизонт. В таких экспериментах орбитальный комплекс поддерживает ориентацию и, несмотря на орбитальное движение, сохраняет свое угловое положение в пространстве.

Космонавты продолжили работу с гамма-телескопом «Елена», еще одним прибором, специально созданным для работы в космосе. Но в проводившихся на борту измерениях только нащупываются направления широкой программы гамма-исследований. В настоящее время телескоп «Елена» исследует влияние гамма-фона. Дело в том, что гамма-излучение, возникающее в отдаленных районах Вселенной, чрезвычайно слабо, и принимать его приходится на фоне шумов, возникающих под действием космических лучей в конструкции комплекса и создаваемых атмосферой Земли.

В ходе полета пятой основной экспедиции с помощью гамма-телескопа «Елена» исследовалось широтное распределение околоземного гамма-фона и наблюдались космические источники. Одним из любопытнейших астрофизических феноменов являются гамма-всплески в нашей Галактике, во время которых выделяется колоссальная энергия. Продолжительностью от нескольких долей до нескольких десятков секунд, они, вероятно, свидетельствуют о гигантских взрывных явлениях. Разгадка природы всплесков — одна из задач гамма-астрономии.

7 мая «Фотоны» выполнили коррекцию орбиты для встречи с очередным транспортным кораблем.

«Союз-40» стартовал 14 мая в 21 ч 16 мин 38 с по московскому времени. Это был последний корабль из серии «Союзов», завершая пилотируемые полеты по программе «Интеркосмос». В нем находились «Днепры» — командир корабля Леонид Попов и космонавт-исследователь гражданин СРР Думитру Прунариу. Стыковка «Союза-40» с орбитальным комплексом «Салют-6» — «Союз Т-4» была осуществлена 15 мая в 22 ч 50 мин по московскому времени.

Опыт Леонида Попова, который вместе с Валерием Рюминым проработал в космосе 185 сут в предыдущей долговременной экспедиции, помогал ему и в этом полете.

Ряд экспериментов советско-румынского экипажа был вариацией общего направления, начатого в предыдущих полетах. Так, в эксперименте «Астро», разработанном советскими и румынскими специалистами, исследовался состав атомных ядер, входящих в космические лучи. Один блок детекторов из диэлектрика — нитрата целлюлозы — устанавливался в шлюзовой камере и экспонировался в открытом космосе. Другой помещался внутри «Салюта-6» и позволял регистрировать частицы с привязкой к широте их детектирования. Аппаратура этого эксперимента, созданная румынскими специалистами, отличалась большой площадью поверхности детектора и его высокой чувствительностью.

В другом бортовом эксперименте — «Нановесы» изучалось воздействие условий космического пространства на материалы и покрытия. Эксперимент выполнялся в шлюзовой камере «Салюта-6». Конкретно в этом эксперименте выяснялось, как долго может сохраниться защитный слой из двуокиси кремния, нанесенный на открытые космосу оптические элементы или плоскости солнечных батарей. В полете такой слой частично испаряется — на него действуют вакуум и космическое излучение.

Изменение этой защитной оболочки — явление трудноуловимое, однако используемая аппаратура, в которую входит чувствительный кварцевый резонатор, очень точна. Она способна замерить миллиардную часть грамма, и это сделало возможным оценить изменение защитного слоя. Конечно, подобный конкретный эффект все-

го лишь одно из возможных применений высокоточного прибора.

При помощи румынского прибора «Минидоза» измерялось космическое излучение в разных точках орбиты. Особый интерес вызвало прохождение орбитального комплекса над районами магнитных аномалий, в местах прогиба радиационных поясов к Земле.

Большинство космических исследований требует особых условий космического труда и жизни космонавтов в невесомости: работоспособности, физического и психического состояния. Поэтому вызывают интерес эксперименты по выявлению таких характеристик. Причем в эксперименте «Оператор» использовался прибор «Средец», созданный в Болгарии, в эксперименте «Работоспособность» — венгерский прибор «Балатон», в эксперименте «Минидоза» наряду с румынским прибором — венгерский прибор «Пилле».

Интересен эксперимент «Звук». Космонавты раньше неоднократно отмечали световые эффекты в виде вспышек, когда через глаз космонавта проходили заряженные частицы. Для изучения этого явления ставились специальные эксперименты, продолжением которых и стал эксперимент «Звук». Но теперь в нем фиксировались звуковые эффекты, вызываемые прохождением космических частиц.

В полете советско-румынского экипажа также изучалась работа различных анализаторов человека: зрительного, вестибулярного, слухового. Продолжались опыты, начатые советско-монгольским экипажем: «Анкета», «Нептун», «Воротник». В последнем опробовалось одно из возможных средств борьбы с нежелательными явлениями при привыкании к невесомости. Профилактические шейные амортизаторы, создавая давление на верхнюю часть позвоночника, способствовали ликвидации неприятных ощущений острого периода адаптации.

«Наблюдали интересное явление, — сообщали космонавты. — Выше первого (голубого) эмиссионного слоя наблюдали, по-видимому, след ракеты. Солнце еще не зашло, и стал виден инверсионный след — как от самолета. Он поднимался на фоне черного космоса. След серебристый».

Квартет космонавтов участвовал в комплексном эксперименте, в котором выполнялась высокоточная

ориентация орбитального комплекса с использованием ручного управления при визуальном наблюдении солнечного диска. При этом светило, заходящее за горизонт, фотографировалось с помощью многозонального фотоаппарата и кинокамерой.

В процессе этой работы увеличенный диск Солнца проецировался на экран, расположенный внутри станции. Наблюдая этот диск, космонавты поддерживали ориентацию с точностью до нескольких угловых секунд. Заход Солнца и возникающая при этом рефракционная картина наблюдались в течение около 5 мин. «По Солнцу широкая черная полоса идет, — сообщали космонавты, — одна, две, три полосы. Появились ступеньки».

Технологические эксперименты, выполняемые «Днепрами», отличались от проводившихся ранее. Для создания полупроводниковых монокристаллов заданного профиля румынские специалисты предложили использовать явление капиллярности. В расплав вещества (германия) погружалась специальная форма — матрица с капиллярными каналами. Расплавленное вещество, смачивая их, перемещалось по каналам и создавало профильный образец. Метод капиллярных отливок, разработанный румынскими специалистами, может использоваться для создания разнообразных профилей кристаллов. Кроме того, капиллярное вытягивание способствует распределению примесей, определяющих свойства полупроводника.

«Союз-40» доставил на борт станции новый прибор, способный выявлять особенности движения многофазных составов в технологических установках. «Пион», так называется этот прибор, состоит из теневой камеры со светильниками и кинорегистратором, а также из блока управления и сменных экспонируемых кювет. Теневой метод делает оптически видимыми неоднородности потоков вещества внутри кювет в процессах тепло- и массапереноса. Кроме того, в экспериментах, проводимых с помощью прибора «Пион», ведется замер температур исследуемых процессов (используя встроенные термопары) и ускорений орбитального комплекса (используя чувствительные датчики-акселерометры).

«Днепры» успешно выполнили программу совместных исследований на борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз Т-4» — «Союз-40» и, завершив ее,

22 мая вернулись на Землю. Их полетом завершилась работа космических пилотируемых полетов социалистических стран на советских кораблях и станциях, определенная соглашением 1976 г. Кроме того, 40-й «Союз» окончательно передал свои транспортные функции усовершенствованному кораблю «Союз Т».

Объем работ, выполненных в первые дни на станции, был достаточно велик. Затем прибыла экспедиция посещения, и «Фотоны» заставили поволноваться врачей службы медицинского обеспечения полета — они начали заниматься физкультурой только на 20-й день пребывания в космосе. Однако «Фотоны» активно принялись за приобретение утраченной формы. Так, для восстановления чувствительности стопы Виктор Савиных предложил бег босиком на бегущей дорожке. Вначале это казалось очень трудным, ведь даже при ходьбе покалывало по всей стопе. Но затем космонавты начали бегать активно, и иногда отключали привод дорожки и ходили и бегали на ее холостом ходу. Это давало значительную нагрузку.

Кроме того, «Фотоны» использовали резиновые тяжи, имитируя ими различные нагрузки. Медицинские обследования не нашли особых отклонений в их состоянии. Правда, было заметно — подустали, а у командира даже были периоды сбоя сна. Однако отклонений в работе сердечно-сосудистой системы и системы дыхания не наблюдалось, физиологические показатели были в пределах нормальных колебаний.

Увидеть распустившиеся в космосе цветы совсем недавно было только желанием космонавтов и ученых. В третьей основной экспедиции удалось вырастить бортовой «букет». Но это не получилось с орхидеями, доставленными на орбиту «Фотонами», — цветы опали в первые же дни полета. Зато зацвел арабидопсис, растение, которое на Земле любит прогретые участки с песчаным или каменистым грунтом. Он неприхотлив и растет на дорожных насыпях, отвалах, вырубках, а на станции он рос в установке «Светоблок» — круглой камере из органического стекла с прикрепленным к ней светильником. Арабидопсис зацвел, хотя рядом в «Светоблоке» и «Оазисе» засыхал горох.

Космонавты наблюдали за мелкими светло-желтыми цветами арабидопсиса. Часть растений отправилась на Землю вместе с «Днепрами», и хотя цветение было на-

лицо, обследование показало, что у растений не развились органы, способные принести потомство. В завязях находились недоразвитые семяпочки. Однако отличия, обнаруженные в растениях, выросших в космосе (более тонкие, чем на Земле, листья, удлиненные стебли, измененные форма и размер клеток), могли и не быть следствием дегенерации. Они, скорее, толкали ученых к поиску новых методов и к совершенствованию космической биотехники с тем, чтобы замкнуть растительные циклы и получить продукцию с космического огорода.

Облачность нередко затрудняла фотосъемку и визуальные наблюдения, но иногда она сама становилась объектом наблюдений. «Прошли над Индийским океаном, над грозовой облачностью, — передавали космонавты. — Что там делается. Прямо днем видны молнии — слева и справа на трассе примерно на 300 километров. Буйствует Индийский океан: молнии в районе экватора как тараканы бегают».

Или в другой раз: «Сегодня видели перламутровые облака. Была серая облачность и высоко над ней такие прозрачные...»

«Фотоны» описывали формирование циклонов, их маршруты, положение атмосферных фронтов — границ теплого и холодного воздуха. Как правило, за фронтальной полосой облака расположены хаотично. Но порою встречается и ячеистое строение. В этом случае происходит вторжение холодного воздуха в акваторию нагретой воды, и вертикальные воздушные потоки создают такую сетчатую облачность.

Фотокадры, доставленные на Землю экспедициями посещения, сразу же поступают в обработку. Они несут в себе важную информацию для каждой заинтересованной отрасли народного хозяйства. По влажности почв, например, можно судить о пожаробезопасности, по трещинам и особенностям структуры земной коры — о сейсмичности, по виду растений — о питающей их земле. Общность и многоплановость информации, поступающей обильным потоком из космоса, в свою очередь требуют совершенствования автоматической межведомственной системы ее обработки.

Сегодняшнее математическое обеспечение анализа многозональных снимков, сделанных с помощью фотокамеры МКФ-6М, предусматривает высокоскоростное прецизионное считывание фотоизображения. При этом

интенсивность каждого элемента вместе с его координатами кодируется и хранится в памяти ЭВМ. Машина проводит сопоставление, опознавание природных образований, их классификацию. Опорная библиотека тестовых изображений помогает делать конкретные выводы, давать оценку отснятой территории, обеспечивать прогноз.

В настоящее время в практику внедряются более совершенные системы автоматизированной обработки космических фотоизображений, которые позволят оперативно использовать преимущества обзорного космического видения в различных областях народного хозяйства. Образцом и примером в этом плане может служить работа Центра управления полетом.

Ежедневно 16 раз в сутки с борта орбитального комплекса в Центр поступает телеметрическая информация о работе систем и результаты научных измерений. Объем сеанса телеметрической связи превышает 100 миллионов двоичных единиц. Причем вся информация о работе жизненно важных и других ответственных систем орбитального комплекса обрабатывается вычислительным центром в темпе полета.

На борту орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз» несколько тысяч телеметрических датчиков. Частота опроса их достигает 100 раз в 1 с, и информация, принятая наземными и корабельными станциями слежения, передается нередко по длинной цепочке в Центр управления полетом. В звеньях цепи и океанские корабли слежения, и спутники связи, и наземные пункты — протяженность канала связи зачастую превышает диаметр планеты. И тем не менее каждые полтора часа на дисплеях залов Центра управления полетом появляется текущая телеметрическая информация в трансформированном, удобном для анализа виде, характеризующая состояние орбитального комплекса на данный момент.

«Фотоны» завершали последние бортовые эксперименты, работали с установкой «Пион», вели визуальные наблюдения. Они отметили наступление лета: «Летали над страной в ночное время, а теперь видим: снег уже сошел». Готовясь к встрече с Землей, все чаще проводили пробы с костюмом «Чибис», выполнили тесты системы ориентации и управления движением. Одну за другой переводили в консервационный режим системы, ис-

пользуемые только в пилотируемом полете, и укладывали возвращаемые материалы и оборудование.

В их числе отснятые кино- и фотопленки, ленты магнитных записей спектральных характеристик Земли и атмосферы, астрофизических и технологических приборов, выплавленные и напыленные образцы. Особенно бережно упаковывались биологические укладки с цветущими растениями. Вместе с «Фотонами» возвращались и приборы, отработавшие «свое» на станции. Они должны были теперь стать предметом исследования для создателей космической техники.

26 мая космонавты попрощались со станцией. «Убрали станцию, — сообщали они. — Сейчас она чистенькая, аккуратная... Сняли блокировку. Есть разрешение расстыковки».

На 21 056-м витке полета станции от нее отошел «Союз Т-4». Теперь после разделения «Фотоны» видели свой звездный дом со стороны. Он был красив. В 16 ч 38 мин по московскому времени спускаемый аппарат «Союза Т-4» приземлился в 125 км восточнее Джезказгана.

На пресс-конференции, посвященной завершению пятой основной экспедиции «Салюта-6», руководитель полета Алексей Елисеев сказал: «Почти четырехгодичная эксплуатация «Салюта-6» дает основание считать, что выбранный нами путь исследования космоса с помощью долговременных орбитальных станций в сочетании с пилотируемыми и грузовыми кораблями представляется весьма рациональным. Он позволяет гибко менять научную программу исследований, а наличие на станции двух стыковочных узлов существенно повысило безопасность космических полетов».

19 июня 1981 г. с «Салютом-6» состыковался «Космос-1267». Работа с орбитальной станцией была продолжена.

НОВОСТИ ЗАРУБЕЖНОЙ КОСМОНАВТИКИ

Космические аппараты исследуют Сатурн

К. Я. КОНДРАТЬЕВ,
член-корреспондент АН СССР

В 1979-м, 1980-м и 1981 гг. около Сатурна совершили пролет соответственно «Пионер-Сатурн», «Вояжер-1» и «Вояжер-2». О некоторых результатах, полученных с помощью этих космических аппаратов, и рассказывается дальше.

Пролет «Пионера-Сатурна». 2 декабря 1974 г. автоматическая межпланетная станция (АМС) «Пионер-11», запущенная 5 апреля 1973 г., достигла окрестностей Юпитера. Пройдя на расстоянии 46 760 км от верхней границы облачного покрова ближайшей к нам планеты-гиганта, она впервые обеспечила получение изображений полярных районов Юпитера.

Ряд коррекций траектории полета АМС и использование гравитационного поля Юпитера для пертурбационного маневра позволили ей 1 сентября 1979 г. достичь окрестностей Сатурна. Переименованная в «Пионер-Сатурн» АМС пересекла плоскость колец Сатурна под углом 5° и прошла на расстоянии 21 400 км от верхней границы облачного покрова этой второй планеты-гиганта.

В период наибольшего сближения АМС с Сатурном пространственное разрешение в полученных изображениях планеты в 20—30 раз превышало возможное при наземных наблюдениях. Анализ данных, полученных с помощью АМС, привел к открытию новых колец Сатурна. Одно из них, обозначенное буквой F, располагается на расстоянии 4000 км за внешней границей кольца А (табл. 1) и имеет ширину всего 500 км. Промежуток между этими кольцами назвали разделом «Пионера». Еще одно кольцо (G) обнаружилось на расстоянии 540 000—840 000 км от верхней границы облачного покрова, которая находится примерно на расстоянии 60 000 км от центра Сатурна.

Д. Бурке и его коллеги провели анализ серии изоб-

Таблица 1

Система колец Сатурна согласно данным до полета АМС «Пионер-Сатурн»

Кольца и разделы	Толщина, км	Расстояние нижней границы кольца от центра планеты, км	Период обращения вблизи нижней границы кольца, сут
Кольцо D	8 600	60 000	0,43
Раздел Гэрэна	4 000		
Кольцо C	19 200	72 600	0,23
Кольцо B	15 200	91 800	0,33
Раздел Кассини	4 800		
Кольцо A	15 600	121 800	0,50

ражений колец Сатурна, полученной в течение 17,5 мин с помощью фотополяриметра «Пионера-Сатурна», начиная с того момента, когда прошло примерно 15 мин после прохождения АМС через плоскость колец на пути к максимальному сближению с планетой. В этот промежуток времени, когда фотополяриметр регистрировал яркость, поляризацию и цвет освещенной Солнцем стороны колец, расстояние АМС от центра Сатурна изменялось от 153 000 до 138 000 км. Оказалось, что через кольца, слабо отражающие солнечный свет, отчетливо просматривается яркий край диска планеты.

Степень поляризации в голубых лучах варьировалась от 41% на самом краю диска планеты до 2% в наиболее темной части кольца B (в красных лучах соответственно изменялась от 16% до 1,5%). Более высокая поляризация лимба (края диска) вызвана, скорее всего, рэлеевским механизмом рассеяния, т. е. молекулярным рассеянием[1]. Были выявлены и неоднородности в распределении яркости и поляризации изображений кольца A.

В результате обработки данных АМС «Пионер-Са-

[1] О различных механизмах рассеяния, их характеристиках, в том числе и о индикатрисе рассеяния, см.: Дивари Н. Б. Зодиакальный свет и межпланетная пыль. М., Знание, 1981.

турн» удалось получить сведения о массе, структуре и других характеристиках колец Сатурна. Анализ изображений колец Сатурна, полученных в точке максимального сближения АМС с планетой, впервые позволил изучить неосвещенную часть колец, а также их тени, отбрасываемые на облачный покров Сатурна, и свет, отраженный планетой и прошедший через кольца. Такое разнообразие условий наблюдений открыло возможность рассчитать оптическую толщину колец в зависимости от расстояния до планеты и оценить размеры частиц, основываясь на результатах измерений яркости в различных участках колец (в разных длинах волн).

Расчеты, проделанные Ч. Эспозито и его коллегами, указывают на наличие неоднородностей в радиальном распределении величины оптической толщины для колец А и В. Статистические оценки показали, что участки с малой оптической толщиной (меньше 0,08) занимают от 0,5 до 4% площади кольца В, а наиболее прозрачные участки кольца А — около 7% его площади. Подобные «тонкие» участки колец можно заметить при наблюдении с Земли лишь в исключительных случаях.

Эти же оценки позволяют сделать заключение, что кольцо С составляют наиболее крупные частицы с радиусом более 15 мкм (по другим данным, их радиус может достигать 15 м), что сильно отличается от случаев колец А и В. Данные о кольце С можно интерпретировать двояко: либо оно характеризуется однородным альбедо однократного рассеяния[2] (0,75 в красной части спектра и вытянутой вперед индикатрисой рассеяния), либо имеется перепад альбедо однократного рассеяния в радиальном направлении при небольшой вытянутости индикатрисы рассеяния (как вперед, так и назад). В последнем случае альбедо однократного рассеяния должно изменяться от 0,3 для внутренней границы кольца до 0,65 для внешней.

Данные поляриметрических измерений позволили оценить лишь верхний предел степени поляризации света кольцом В, равный менее 15%, что согласуется с оценками, полученными из наземных наблюдений. По-

[2] Эта величина характеризует отношение коэффициента рассеяния к сумме коэффициентов рассеяния и поглощения, будучи равной единице, если поглощение отсутствует.

ляризация света для внешней части кольца А отрицательна: —7±2% в голубых лучах и —1±2% в красных лучах. В неосвещенных участках кольца А обнаружены азимутальные вариации поляризации с величиной отношения максимальных значений к минимальным порядка 1,25 (подобные вариации отсутствуют в пределах колец В и С). Характер изменения цвета колец указывает на то, что они могут характеризоваться существенным многократным рассеянием, т. е. представлять собой слой, состоящий из многих частиц.

Измерения, проведенные с помощью аппаратуры АМС «Пионер-Сатурн», дали обширную информацию о магнитном поле и радиационных поясах Сатурна, о массе этой планеты и некоторых ее спутников, позволили сделать определенные выводы о внутреннем строении Сатурна, который во многих отношениях оказался планетой, промежуточной по своим свойствам между Юпитером и Землей.

Внутренняя структура Сатурна в основном сходна со структурой Юпитера, если не учитывать различие в размерах и протяженности внутренних слоев. Однако центральная часть ядра Сатурна, по-видимому, состоит из расплавленных тяжелых элементов (главным образом, вероятно, железа) и по размеру близка к Земле, хотя и обладает в 3 раз большей плотностью. Эта часть ядра окружена оболочкой из летучих компонентов, сильно сжатых при высокой температуре, таких, как метан, аммиак и вода, находящихся там в жидком состоянии. Масса этой внешней части ядра примерно в 9 раз превышает массу Земли.

Обе части ядра представляют собой, однако, лишь малую часть планеты, состоящей преимущественно из легких газов (водорода и гелия), суммарная масса которых в 100 раз превышает земную. Высокое давление, характерное для внутренней части Сатурна, обусловливает то, что водород там находится в жидкометаллическом состоянии. Над оболочкой из металлического водорода располагается жидкий молекулярный водород, а затем уж и газообразная атмосфера и облака.

Исследования, выполненные с помощью АМС «Пионер-Сатурн», позволили уточнить значение радиуса Сатурна и период вращения планеты, а также получить более надежные сведения о характере распределения силы тяжести на Сатурне и верхнем пределе массы его

колец (в качестве последнего можно принять, что она составляет $3 \cdot 10^{-6}$ массы Сатурна). Результаты космических исследований заставили также пересмотреть имеющиеся модели внутреннего строения Сатурна.

У. Хаббард и его коллеги рассмотрели несколько моделей внутренней структуры Юпитера и Сатурна в рамках теории гравитационного поля вращающихся планет в предположении о наличии трех основных слоев: центральное ядро, «ледяная» мантия из воды, метана и аммиака и, наконец, водородно-гелиевая оболочка с изменяющимся в ней соотношением He/H. Предполагалось, что массы Юпитера и Сатурна соответственно равны 318,05 и 95,147 $M_З$ (где $M_З$ масса Земли). Как обычно, за радиус этих планет принималось расстояние от центра планеты до слоя атмосферы, характеризующегося величиной давления 1000 гПа. В этом смысле радиус Юпитера на экваторе равнялся $71\,398 \pm 100$ км, а радиус Сатурна — $60\,220 \pm 200$ км. Температура на поверхности планет (согласно такому определению радиуса) составляла 165 К для Юпитера и 140 К для Сатурна.

Варьирование различных характеристик показало, что наиболее достоверной моделью можно считать ту, в которой газообразная среда из водорода и гелия характеризуется отношением He/H, равным $0{,}190 \pm 0{,}015$ для Сатурна и $0{,}203 \pm 0{,}006$ для Юпитера, а соответствующие значения массы ядер (горные породы + льды) равны $18{,}6 \pm 0{,}9$ $M_З$ для Сатурна и $20{,}0 \pm 0{,}9$ $M_З$ для Юпитера. Таким образом, соотношение между содержаниями водорода и гелия на обеих планетах примерно одинаковое. Правда, полученный результат определяется приблизительным нашим знанием о физическом состоянии вещества при плотностях 0,3—1,4 г/см^3, когда происходит переход от молекулярного к металлическому водороду.

Электрические токи, возникающие в оболочке из металлического жидкого водорода, обусловливают наличие магнитного поля у Сатурна. Несмотря на большие размеры Сатурна, его магнитное поле на поверхности планеты, которая близка к верхней границе облачного покрова, лишь несколько слабее, чем магнитное поле на поверхности Земли. По сравнению с другими планетами пространственная структура магнитного поля Сатурна гораздо более регулярна, а размер магнитосферы Сатурна и концентрация в ней частиц высоких энергий

промежуточны между соответствующими значениями для Земли и Юпитера.

Магнитосфера Сатурна содержит захваченные электроны и протоны высоких энергий, а также более тяжелые атомные ядра. Аппаратура АМС «Пионер-Сатурн» почти не обнаружила частиц радиационного пояса Сатурна вблизи внешней границы колец. Простая и компактная форма магнитосферы этой планеты делает ее более похожей на земную, чем на юпитерианскую.

Наличие у Сатурна магнитосферы относительно малых размеров можно объяснить влиянием динамического давления, создаваемого здесь солнечным ветром, и слабым магнитным полем на поверхности (верхней границе облаков), которое на экваторе составляет около 0,22 гаммы (а не 1 гамму, как предполагали ранее). Магнитное поле Сатурна в отличие от юпитерианского является в значительной степени дипольным, причем ось диполя совпадает с направлением оси вращения планеты, что представляет собой весьма уникальный случай в Солнечной системе. Полярность поля такая же, как и у юпитерианского, т. е. противоположна полярности магнитного поля Земли. Пространственное распределение частиц высоких энергий более сходно с характерным для Земли, чем для Юпитера. Очень сильное влияние на потоки частиц оказывают кольца и спутники Сатурна.

Инфракрасные измерения выявили в облачном покрове Сатурна зоны и полосы температурных контрастов (например, одна из теплых ярких полос находится около 9° ю. ш.). Температура для Сатурна в целом оказалась примерно на 5 К выше ожидавшейся, немного превосходя 100 К. Отсюда следует, что тепловое излучение, покидающее планету, в 2,0—2,5 раза больше, чем поглощаемое ею солнечное излучение.

Температура освещенной части кольца оказалась равной 70 К, а затемненной — 63 К. Такие контрасты температуры освещенных и неосвещенных частей колец требуют, чтобы диаметр частиц в кольцах был не менее нескольких сантиметров, а толщина колец во много раз превышала диаметр частиц. Очень незначительное возмущение траектории полета АМС «Пионер-Сатурн» при пересечении им колец позволяет предположить, что кольца могут представлять собой частицы льда различного состава.

У. Синтон и его коллеги в свое время провели анализ данных наземных наблюдений об угловом распределении инфракрасного излучения Сатурна на длинах волн 7,9 мкм (здесь расположена полоса поглощения метана) и 12 мкм (полоса этана) и выявили усиление инфракрасной эмиссии в направлении южного полюса Сатурна. Кроме того, результаты измерений на длине волны 20 мкм указывали на то, что кольцо С является относительно более теплым.

В 1977—1978 гг. при помощи 2,24-метрового телескопа обсерватории в Мауна-Кеа (Гавайские острова) были осуществлены новые болометрические наблюдения Сатурна на длинах волн 7,8, 12,7, 16,9, 18,1 и 25 мкм (ширина полос пропускания фильтров варьировалась в пределах 0,6—14 мкм). В результате были получены новые данные об угловом распределении инфракрасной эмиссии вдоль меридиана планеты (с востока на запад параллельно экватору).

Усиление инфракрасной эмиссии в направлении южного полюса Сатурна оказалось более сильным в 1977 г., чем в 1978 г., что объясняется значительным наклоном полярной оси планеты в 1977 г. Измерения на длинах волн 7,8 и 12,7 мкм обнаружили наличие своеобразного плато в южном полушарии планеты в диапазоне широт 30°—60° ю. ш. Кроме того, оказалось, что радиационная температура[3] колец понижается по мере приближения Сатурна к точке равноденствия. Как правило, наиболее интенсивным инфракрасным излучением обладало кольцо С (по сравнению с кольцом В). Не исключается, что существует спектральная зависимость радиационной температуры колец.

Когда АМС «Пионер-Сатурн» максимально сблизились с планетой, обнаружилось воздействие ионосферы Сатурна на распространение радиосигналов от АМС. По-видимому, Сатурн обладает мощной ионосферой, состоящей из ионизованных атомов водорода при температуре среды около 1250 К во внешней части ионосферы. Столь высокая температура предполагает наличие дополнительного мощного источника энергии помимо Солнца (подобное явление характерно и для Юпитера).

[3] Радиационной называют температуру, эквивалентную по величине температуре чернотельного излучения, определяемой из закона Стефана — Больцмана.

До полета АМС «Пионер-Сатурн» Д. Уэйт и его коллеги предложили модель ионосферы Сатурна, основанную на современных представлениях о процессах, ответственных за формирование ионосферы, и использующую некоторую аналогию с ионосферой Юпитера. Полученные к этому времени данные «Вояжеров» свидетельствовали о том, что ионосфера и нейтральная верхняя атмосфера Юпитера характеризуются относительно высокой температурой экзосферы и сравнительно низким коэффициентом турбулентного перемешивания, причем обе эти характеристики весьма изменчивы.

Можно было ожидать, что и для атмосферы Сатурна типичны физико-химические характеристики, сходные с наблюдаемыми на Юпитере. В соответствии с этим Д. Уэйт и его коллеги предположили, что основными компонентами атмосферы Сатурна являются молекулярный водород, гелий и атомарный водород, а также метан. В гомосфере (т. е. в той части атмосферы, где она является полностью перемешанной) отношение концентраций гелия и водорода принималось равным 0,11, а отношение концентраций метана и молекулярного водорода — $7 \cdot 10^{-4}$. Температура экзосферы предполагалась равной 1360 К, а коэффициент перемешивания (с учетом молекулярной диффузии) — $1{,}3 \cdot 10^6$ см^2/с.

Как оказалось, такая ионосфера Сатурна, формирование которой обусловлено фотохимическими процессами, должна полностью исчезать ночью, поскольку характерное время удаления из нее доминирующих ионов (молекулярного водорода, этана и метана) составляет около 1 ч. Если же в верхней ионосфере Сатурна преобладают ионы атомарного водорода, а температура экзосферы не превышает 1000 К, то никакого суточного изменения в концентрации электронов существовать не должно. Однако при температурах экзосферы, значительно превышающих 1000 К, и в этом случае может происходить сильное разрушение дневной ионосферы ночью.

Численные расчеты и модели указывают на то, что нижняя ионосфера Сатурна контролируется фотохимическими процессами, которые аналогичны наблюдаемым на Юпитере. Верхняя атмосфера характеризуется большой протяженностью (около 3350 км). Если значение коэффициента перемешивания на уровне гомопаузы (верхней границе гомосферы) равно $1{,}3 \cdot 10^6$ см^2/с, а тем-

пература экзосферы — 1300 К, то максимальная концентрация электронов должна приходиться на высоту 2250 км.

По аналогии с Юпитером на Сатурне помимо ионов фотохимического происхождения (обусловленных фотохимическими реакциями) могут существовать и долгоживущие «металлические» ионы. Подобные ионы могут появляться в результате электромагнитного взаимодействия между планетой и ее спутниками или под влиянием микрометеоритов. Теория планетарного динамо предсказывает для Сатурна сравнительно сильное магнитное поле, но этот вывод еще не получил подтверждения из наблюдений.

В присутствии магнитного поля вероятен обмен ионами и атомами между Титаном и Сатурном, хотя электромагнитное взаимодействие должно быть относительно слабым по сравнению с таким же взаимодействием между Ио и Юпитером, так как Титан достаточно удален от Сатурна. Ионы металлов, имеющие метеоритное происхождение или возникающие в результате ионизации космическими лучами, могут обусловливать формирование спорадических слоев в нижней части ионосферы (типа слоя Е в земной ионосфре).

Наличие высокой температуры экзосферы Сатурна должно определяться сочетанием распространяющихся вверх инерционных гравитационных волн и магнитосферных процессов (например, высыпание электронов низких энергий в экзосферу). Следует отметить, что рассмотренные расчеты не учитывают неравенства температур плазмы и нейтрального газа.

Во время пролета АМС «Пионер-Сатурн» около планеты А. Клиоре и его коллеги осуществили радиорефракционные измерения, чтобы найти высотное распределение концентрации электронов в ионосфере, а также температуру и давление в верхних слоях нейтральной атмосферы вблизи широт 9,7° и 11,6° ю. ш. Использование радиосигналов линии связи с АМС, функционирующей только на одной частоте (2,293 ГГц), затруднило обработку данных, особенно при учете влияния флуктуаций межпланетной плазмы в условиях близости Солнца к линии Земля—Сатурн: угловое расстояние между Сатурном и Солнцем составляло всего 8°.

Однако все же удалось получить первые и достаточно надежные результаты радиопросвечивания атмосфе-

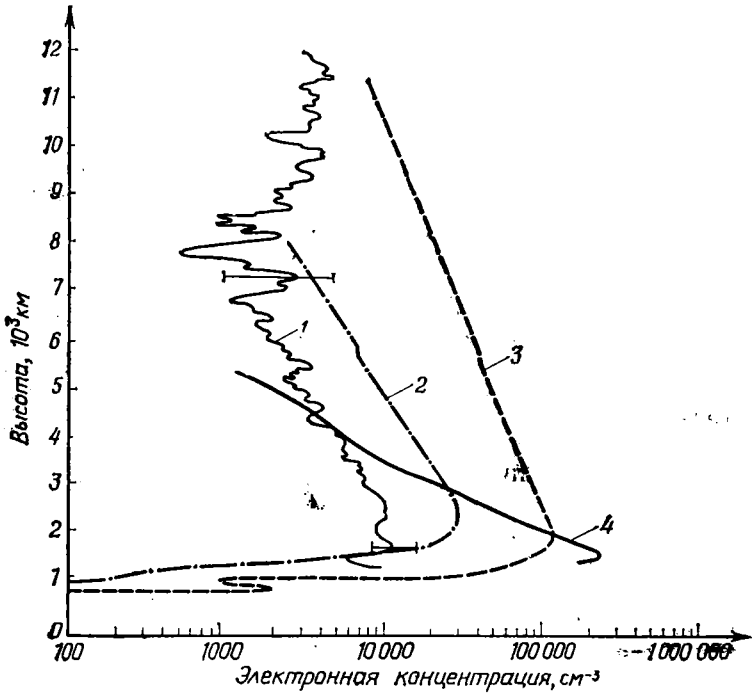


Рис. 1. Высотное распределение электронной концентрации в ионосфере Сатурна вблизи терминатора по сравнению с аналогичным распределением для Юпитера (по данным АМС «Вояжер-1») и с двумя теоретическими кривыми: *1*—распределение для Сатурна, *2*, *3* — теоретические кривые, *4* — распределение для Юпитера. Нулевой уровень высоты соответствует атмосферному уровню с концентрацией молекул 10^{19} $см^{-3}$.

ры Сатурна, хотя данные, касающиеся выхода АМС из зоны «радиозатмения», допускают лишь качественную интерпретацию. В точке захода АМС в зону «радиозатмения» она находилась на расстоянии около 54 100 км от лимба, а в точке выхода — на расстоянии 118 300 км, что обеспечивало разрешение по высоте соответственно 2,6 и 3,9 км для каждой из этих точек.

Высотное распределение концентрации электронов (рис. 1) характерно наличием главного максимума (11 400 $см^{-3}$) на высоте около 1800 км относительно уровня, где плотность (счетная концентрация — число атомов и молекул в 1 $см^3$) атмосферы составляет 10^{19}

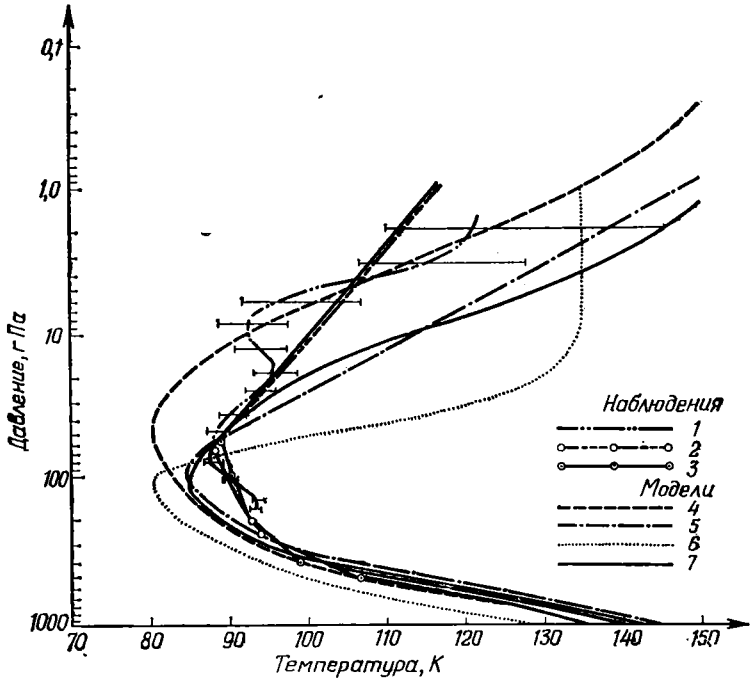


Рис. 2. Высотные распределения температуры в атмосфере Сатурна: *1* — радиорефракционные измерения, *2* — инфракрасные измерения, *3* — согласно данным АМС «Пионер-Сатурн», полученным А. Ингерсоллом, *4* — расчеты Уоллеса, *5* — расчеты Готье и др., *6* — расчеты Колдуэлла, *7* — расчеты Токунага и Сесса

см$^{-3}$ (экваториальный радиус планеты равен примерно 60 328 км). Ниже главного максимума (примерно на 600 км) располагается вторичный максимум концентрации электронов (9 000 см$^{-3}$). Шкала высот, соответствующая слою атмосферы над главным максимумом, дает температуру экзосферы около 1150 К, если ионосфера состоит главным образом из ионов водорода.

Учет данных АМС «Вояжер» и модельных расчетов выявляет сильную изменчивость ионосферы Сатурна по ряду параметров. Интересной особенностью атмосферы Сатурна является ее большая вертикальная протяженность: концентрация электронов больше 10^2 см$^{-3}$ наблюдается на высотах до 30 000 км при наличии широкого максимума (7000 см$^{-3}$) на высоте около 14 500 км,

соответствующего внутреннему краю кольца С, что, по-видимому, связано с взаимодействием между ионосферой и кольцами. Малая концентрация электронов в нижней части ионосферы может быть объяснена затемнением планеты кольцами. Более сложную природу имеет относительно большая концентрация электронов на высотах около 30 000 км.

Результаты расчета высотного распределения температуры в электрически нейтральной части атмосферы, относящейся к атмосферному слою с величиной давления 1,85—182,2 гПа (рис. 2), выявляют сложную структуру с тройным минимумом. Основному минимуму (на расстоянии 60 344 км от центра планеты: давление 74 гПа) соответствует температура 88±4 К, а выше него (примерно на 80 км) расположен второй четкий минимум (92,7 К). На 50 км ниже основного расположен, по-видимому, третий минимум. Не исключено, однако, что многократность минимума в распределении температуры по высоте является следствием ошибок измерений.

Сравнение с результатами расчета высотного распределения температуры по данным измерений инфракрасного излучения привело к значению относительного содержания гелия 0,10±0,04 (радиационные данные очень чувствительны к концентрации гелия, тогда как радиометрические данные как раз, наоборот, совсем не зависят от этой концентрации), что хорошо согласуется с результатами, полученными с помощью АМС «Вояжер».

Согласно данным АМС «Пионер-Сатурн», обнаружилось наличие ультрафиолетового свечения в системе Сатурна, обусловленного рассеянием солнечной радиации атомарным водородом. Особенно интересны наблюдения ультрафиолетовой эмиссии от протяженного облака водорода, окружающего кольца Сатурна. Сами кольца, видимо, и являются источником этого водорода. Ультрафиолетовое свечение диска планеты значительно изменяется по широте, что свидетельствует о возможных полярных сияниях в высокоширотных районах.

Анализ результатов наземных наблюдений, осуществленных в последние годы и касающихся излучения Сатурна в ультрафиолетовом, видимом и ближнем инфракрасном диапазонах спектра, позволяет построить модель вертикально неоднородной трехслойной надоблачной атмосферы, состоящей из газового слоя, под кото-

Рис. 3. Схематическая структура атмосферы Сатурна

рым располагаются слои частиц, ответственных за поглощение, и аммиачной дымки (рис. 3). С использованием данных наблюдений в ультрафиолетовом диапазоне и в интервалах полос поглощения водорода, аммиака и метана, расположенных в видимом и ближнем инфракрасном диапазонах, У. Мэси предложил уточненную модель атмосферы Сатурна с учетом не рассматривавшихся ранее особенностей спектра поглощения.

Фотографии Сатурна свидетельствуют о том, что на этой планете целесообразно выделить пояса экваториальных, умеренных и полярных широт. Обсуждаемые здесь модели атмосферы относятся к экваториальному и умеренному поясам южного полушария этой планеты (полярные районы не рассматривались из-за фрагментарности результатов наблюдений). Возможно, что полученные результаты справедливы и для пояса умеренных широт северного полушария, но это требует своего подтверждения (последние несколько лет северное полушарие Сатурна было закрыто его кольцами).

Наличие верхнего слоя газа обосновывается тем, что наблюдается потемнение излучения (на длине волны 350 нм) к краю диска и возрастание альбедо планеты при длинах волн меньше 350 нм. В ультрафиолетовом диапазоне рэлеевское рассеяние света слоем газа должно маскировать поглощение солнечной радиации расположенными ниже аэрозольными (облачными) слоями. Поглощающие частицы этих слоев обусловливают уменьшение альбедо планеты для более коротких длин волн в интервале 700—350 нм. Анализ зависимости параметров рассеяния от длины волны показывает, что верхний предел радиуса рассеивающих частиц должен составлять около 0,2 мкм, а их счетная концентрация — 10^3 $см^{-3}$.

Ранее предполагалось, что возможными компонентами атмосферы, поглощающими ультрафиолетовую радиацию, являются красный фосфор, продукты фоторас-

щепления сероводорода и NH_4SH, гидразин и продукты фоторасщепления метана. Причем У. Мэси привел аргументы в пользу красного фосфора и соединений серы как наиболее вероятных поглощающих компонентов. Под слоем поглощающих частиц находится слой дымки, состоящий из частиц твердого аммиака, образующихся вблизи уровня сублимации аммиака и переносящихся вверх конвективными потоками.

О том, что такой слой дымки существует, свидетельствуют данные измерений в линии поглощения молекулярного водорода и поведение ширин полос поглощения аммиака — они обнаруживают постоянство при переходе от центра к краю диска планеты. Слой дымки должен распространяться почти до уровня сублимации аммиака. Вблизи этого уровня концентрация частиц настолько значительна, что дымку можно рассматривать как плотное облако.

Данные измерений в полосе аммиака (длина волны 645 нм) указывают на то, что свет проникает здесь почти до уровня сублимации аммиака (давление 1,1 атм, температура около 146 К). Сравнение наблюдательных и расчетных значений эквивалентных ширин некоторых линий водорода приводит к выводу, что оптическая толщина слоя дымки над уровнем сублимации должна составлять около 10. Расчетные значения ширин для полосы метана наилучшим образом согласуются с наблюдаемыми, если принять, что отношение содержаний CH_4/CH_2 в 4,5 раза выше, чем отношение C/H на Солнце.

Д. Ортон и А. Ингерсолл проанализировали результаты измерений теплового излучения (на длинах волн 20 и 45 мкм) Сатурна в диапазоне широт от 30° ю. ш. до 10° с. ш. с целью расчета высотного распределения температуры в атмосферном слое 60—600 гПа, а также чтобы оценить тепловой баланс Сатурна и соотношение между содержаниями водорода и гелия в атмосфере планеты.

Температурное распределение было рассчитано на четырех уровнях, соответствующих значениям давления 501, 251, 126 и 63 гПа, с точностью 3—4 К (иногда до 6 К). Предполагается, что в более глубоких слоях атмосферы (больше 501 гПа) имеется адиабатический вертикальный перепад температур, соответствующий условиям интенсивного перемешивания атмосферы. Нали-

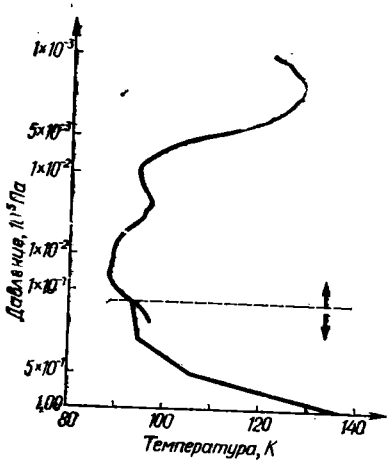


Рис. 4. Рассчитанный профиль температуры для полосы широт 8,1°—11,1° ю. ш. Данные для уровня меньше 126 гПа получены путем радиорефракционного зондирования

чие данных радиорефракционного эксперимента позволяет располагать независимыми сведениями о вертикальном распределении температуры на уровнях с давлением, превышающим 125 гПа. Они относятся к широте 9,6° ю. ш., для которой существуют также и результаты радиометрических измерений.

Сопоставление радиорефракционных и радиометрических данных (рис. 4) приводит к заключению, что наиболее достоверным значением относительного содержания молекулярного водорода является $0{,}90 \pm 0{,}03$ (соответствующее содержание гелия равно $0{,}10 \pm 0{,}03$). Это значение принято при расчете распределения температуры для трех случаев задания вертикального перепада температур в инверсионном слое (где температура растет с высотой) выше уровня с давлением 63 гПа: 1) перепад 21 К при изменении давления в 10 раз в условиях безоблачной атмосферы, 2) перепад в 36 К при изменении давления в 10 раз для ясного неба и 3) пе-

репад в 21 К при изменении давления в 10 раз с наличием верхней границы слоя сплошной облачности вблизи уровня с давлением 600 гПа.

Полоса широт 13,5°—6,5° ю. ш., визуально воспринимаемая в отраженном свете как темная (по своим характеристикам она похожа на юпитерианский пояс), оказалась самой теплой, а полоса 1,5° с. ш.—1,5° ю. ш.— наиболее холодной (эта визуально яркая полоса схожа с юпитерианской зоной). Высотное распределение температуры в атмосферном слое с интервалом давлений 251—501 гПа почти адиабатическое и, следовательно, не противоречит предположению о адиабатическом распределении температуры в глубоких слоях атмосферы.

Сравнение данных, полученных для Сатурна и Юпитера, обнаруживает не только более низкие температуры в атмосфере Сатурна (например, 105 К вместо 143 К на уровне с давлением 500 гПа), но и гораздо более слабый вертикальный перепад температур вблизи минимума в ее высотном распределении (в случае 1 этот слой на достаточном протяжении практически изотермичен). Поскольку в широтном поясе 10° с. ш.—10° ю. ш. температура верхней границы облаков (случай 3) равна 124 К, то если облака состоят из аммиака (как на Юпитере) и им соответствует температура фазового перехода аммиака 148 К, то они должны быть значительно мощнее юпитерианских с температурой у верхней границы 148 К.

По-видимому, конвекция в атмосфере Сатурна обеспечивает перенос частиц облаков (вероятно, частиц аммиачного льда) до таких высот, где температура намного ниже уровня насыщения паров аммиака. Радиационная температура Сатурна, определенная по данным измерений для полосы широт 30° ю. ш.—10° с. ш., равняется $96{,}5 \pm 2{,}5$ К. Такой температуре соответствует поток уходящего в космос излучения $4{,}9 \pm 0{,}5$ Вт/м^2, а при сферическом альбедо планеты $0{,}5 \pm 0{,}15$ это приводит к значению внутреннего потока тепла $3{,}2 \pm 1{,}0$ Вт/м^2. Для сравнения укажем, что у Юпитера эффективная температура равна 125 ± 3 К, альбедо — 0,35, а внутренний поток тепла — 5,6 Вт/м^2.

Большая величина внутреннего потока тепла для Сатурна заставляет предположить, что и у этой планеты, как и у Юпитера, существует какой-то дополнительный источник энергии (помимо Солнца). В качестве та-

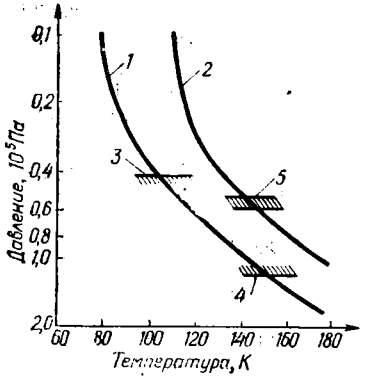


Рис. 5. Высотные распределения температуры в атмосферах Юпитера (*1*) и Сатурна (*2*). *3* и *4*—верхняя и нижняя границы облачного покрова на Юпитере, *5* — на Сатурне.

кого источника может быть конденсация гелия на уровне верхней границы зоны металлического жидкого водорода. Если подобная конденсация действительно происходит, то особенно важное значение приобретают более надежные сведения о соотношении содержаний водорода и гелия.

Как уже отмечалось, наличие на борту АМС «Пионер-Сатурн» сканирующего (за счет вращения АМС) двухканального фотополяриметра позволило получить в период пролета около Сатурна серию изображений планеты и ее колец с различных расстояний. Приближаясь к Сатурну, АМС «Пионер-Сатурн» находилась сначала над освещаемой Солнцем снизу плоскостью колец, т. е. измеряла свет, пропускаемый кольцами. Лишь в течение короткого интервала (около 4 ч) при максимальном сближении с планетой АМС двигалась над освещенной стороной колец.

Фотополяриметр «Пионера-Сатурна» принимал свет в голубых и красных лучах, т. е. в двух каналах, характеризуемых эффективной длиной волны соответственно 440 и 640 нм. «Мгновенное» поле зрения поляриметра составляло 0,5 мрад, градация значений яркости достигала 64 уровней. Вследствие красноватого оттенка Сатурна его изображения для «красного» канала были значительно более четкими. Изображения полярных зон (широта более 70°) и экваториальной зоны (широта меньше 14°) имели недостаточное качество для уверенного анализа.

Таблица 2

Характерные широты для поясов Сатурна

Данные «Пионера-Сатурна»		Данные Э. Риза (для южного полушария)	
Северное полушарие	Южное полушарие	Южная граница	Северная граница
73,4°		83,7°	75,1°
66,2°	63,8°	67,6°	—
53,0°	52,1°	56,9°	52,2°
44,0°	42,5°	47,2°	42,7°
34,5°	36,6°	37,7°	—
28,x°	28,3°		
22,3°	20,5°		
15,2°	16,5°	26,9°	14,0°

Высотные распределения температур и давлений (рис. 5) указывают на возможное формирование на Сатурне облаков из кристаллов аммиака в широком диапазоне высот. Может быть, как раз поэтому на лишенных значительных контрастов изображениях наблюдается протяженная по высоте аммиачная дымка, охватывающая всю планету. Однако не исключено, что основным компонентом облаков является фосфен, и в таком случае легко объясняется красноватый оттенок Сатурна.

Благодаря применению техники усиления контрастов изображения, удается легко различать на поверхности Сатурна пояса и зоны (соответственно темные и яркие полосы). В табл. 2, составленной Д. Бурке и его коллегами, указаны положения этих полос, а также полос, выявленных Э. Ризом из результатов наземных наблюдений.

Согласие является достаточно хорошим, хотя данные АМС, например, свидетельствуют об очетливом разделении северного экваториального пояса на северный и южный компоненты. Эти субпояса разделены яркой зоной. В обоих полушариях наблюдаются также дополнительные пояса между Тропическим и Экваториальными

поясами. Для северного и южного краев зоны, расположенной вблизи 60° с. ш., характерны неровности, напоминающие тот рельеф северного края Экваториальной зоны Юпитера, идентифицированный впоследствии, при достижении более высокого разрешения, с множеством удивительных вихрей. Возможно, что эти неровности на краях зоны Сатурна также обусловлены наличием струйного течения.

Фотометрия и поляриметрия Сатурна, осуществленная при помощи АМС «Пионер-Сатурн», обладает по сравнению с аналогичными наземными наблюдениями такими преимуществами, как обеспечение более высокого пространственного разрешения и, что еще более важно, достижение значительного расширения фазовых углов[4]. Данные о потемнении изображений планеты от центра к краю диска при сильно изменяющихся условиях визирования и наличии двух каналов (с длинами волн 440 и 640 нм) открывают гораздо более надежные возможности разделения вкладов в формировании поля яркости со стороны высотного распределения концентрации аэрозоля (облаков) и альбедо однократного рассеяния.

М. Томаско и его коллеги рассмотрели эти данные, относящиеся к яркой зоне (6°—11° ю. ш.) и темному поясу (15°—17° ю. ш.) и полученные для 12 значений фазового угла в интервале 13°—151°. При этом определялась индикатриса однократного рассеяния аэрозоля, хотя и существенный вклад в формирование поля яркости вносит на Сатурне многократное рассеяние. Однако такая методика вполне оправдана тем, что зависимость яркости от фазового угла в подсолнечной точке сохраняет основные черты углового распределения однократного рассеяния света.

Анализ полученных данных показал, что индикатриса рассеяния атмосферы Сатурна характеризуется вытянутостью вперед, которая примерно в 3 раза меньше, чем на Юпитере. Яркость пояса в голубых лучах всего лишь на 5% слабее яркости зоны (в случае Юпитера эти яркости различаются в 2 раза). При этом данные наблюдений сравнивались с результатами расчетов для модели вертикально неоднородной многослойной атмо-

[4] Фазовым называют угол между направлением визирования планеты и линией планета — Солнце.

сферы (см. рис. 3). Как оказалось, поглощение в голубых лучах не может быть сконцентрировано под слоем аэрозоля, а происходит внутри него. Надо отметить важность данных о яркости в красных лучах, поскольку такая яркость практически не зависит от высотного распределения концентрации аэрозоля.

Если рассеивающиеся частицы имеют сферическую форму, то на основании асимметрии индикатрисы в красных лучах можно получить ограничение на значение среднего радиуса частиц (не больше 0,13), рассеивающих свет, а это значение в 4 раза меньше аэрозольных («облачных») частиц на Юпитере. Аэрозоль на Сатурне сходен с тонкой дымкой, которая наблюдалась на Юпитере на больших высотах (в слое с давлением 100—200 гПа) и, по-видимому, генерируется в результате фотохимических процессов. Таким образом, возможно, что аэрозоль на Сатурне не состоит из кристаллов аммиака (как облака на Юпитере), а образуется в результате фотохимических реакций.

Пролет «Вояжера-1». АМС «Вояжер» была запущена с Земли 5 сентября 1977 г. и 5 марта 1979 г. совершила пролет около Юпитера. Хотя эта АМС не была первым космическим аппаратом, достигшим Юпитера, более богатая ее оснащенность научной аппаратурой по сравнению с АМС «Пионер-10» и «Пионер-11» позволила сделать ряд новых открытий, касающихся природы Юпитера и его спутниковой системы [5]. То же можно сказать и о результатах пролета АМС около Сатурна.

В табл. 3 дана краткая характеристика программы научных исследований, которые предполагалось провести с помощью АМС «Вояжер-1».

22 августа 1980 г., когда расстояние АМС «Вояжер-1» до Сатурна составляло 109 млн. км, были получены первые изображения планеты, которые уже были лучше когда-либо сделанных при наземных наблюдениях. Непрерывные наблюдения Сатурна, его колец и спутников продолжались в течение длительного периода времени вплоть до 19 декабря 1980 г., и за этот период получено более 17 500 изображений. Это потребовало очень точной навигации АМС для корректной обработ-

---

[5] Более подробно об этих результатах см.: Кондратьев К. Я. «Вояжеры» исследуют Юпитер. — В сб.: Современные достижения космонавтики. М., Знание, 1979.

Таблица 3

Оснащенность научной аппаратурой АМС «Вояжер-1»

Эксперимент (руководитель)	Основные задачи
Интерпретация изображений (Б. А. Смит)	Анализ изображений высокого разрешения при больших фазовых углах, динамика атмосферы, геологические структуры спутников
Инфракрасные измерения (Р. Л. Ханел)	Распределение температуры, состав и динамика атмосферы, тепловые свойства и состав поверхностей спутников
Фотополяриметрия (К. Ф. Лилли)	Атмосферный аэрозоль, тектоническая структура поверхностей спутников
Радиоизмерения (У. Р. Эшлеман)	Структура, состав и динамика атмосферы
Ультрафиолетовая спектроскопия (А. Л. Бродфут)	Структура и состав верхней атмосферы, аэрозольные процессы, распределение ионов и нейтральных атомов
Магнитное поле (Н. Ф. Несс)	Магнитные измерения, структура магнитосферы, электрические токи
Частицы плазмы (Х. С. Бридж)	Распределение электронов и ионов в магнитосфере, взаимодействие солнечного ветра с планетой, ионы от спутников
Плазменные волны (Ф. Л. Скарф)	Электронная плотность плазмы, взаимодействие волн и частиц, низкочастотные волны
Планетарная радиоастрономия (Д. У. Уорвик)	Поляризация и спектры радиоизлучения, плотность плазмы
Заряженные частицы низких энергий (С. М. Кримигис)	Распределение, состав и поток ионов и электронов низких энергий, взаимодействие этих частиц со спутниками
Космические лучи (Р. Э. Фогт)	Распределение, состав и поток атомных ядер высоких энергий, спектры электронов высоких энергий

ки данных радиорефракционных измерений, наблюдений колец и пролета Титана на расстоянии 4000 км (11 ноября 1980 г.), а также радиозатменных наблюдений атмосферы этого спутника. В ходе непрерывных наблюдений системы Сатурна были осуществлены две коррекции

траектории полета АМС (11 октября и 6 ноября 1980 г.).

К 24 октября 1980 г., когда «Вояжер-1» сблизился с Сатурном примерно на расстояние 30 млн. км, телевизионная камера АМС с узким полем обзора уже не могла обеспечить получение единичных изображений целиком всей планеты, и потребовалось составлять изображения Сатурна в виде монтажа изображений его отдельных частей. К 2 ноября 1980 г. для перекрытия всего диска Сатурна уже не хватало четырех отдельных изображений.

11 ноября, пройдя Титан, АМС «Вояжер-1» пересекла плоскость колец, пройдя над ними со стороны, противоположной Солнцу, и отправилась в точку наибольшего сближения с Сатурном. 12 ноября расстояние от АМС до верхней границы облачного покрова в южном полушарии Сатурна составило всего 124 000 км. В этот момент воздействие поля тяготения Сатурна вызвало обратное пересечение плоскости колец и АМС оказалась вновь над освещенной Солнцем стороной колец.

Полученные с помощью АМС «Вояжер-1» данные о Сатурне до сих пор продолжают обрабатываться. В некоторых случаях они требуют согласования с данными АМС «Вояжер-2». В основном внимание ученых было направлено на получение информации о кольцах Сатурна, и именно здесь были получены удивительные результаты. Однако прежде кратко рассмотрим, что дал анализ данных о самой планете.

Как уже упоминалось при анализе данных АМС «Пионер-Сатурн», на этой планете, как и на Юпитере, наблюдаются темные пояса и яркие зоны, районы крупномасштабных вихрей, темные и светлые участки облачного покрова. Система поясов и зон на Сатурне распространяется до более высоких широт, чем на Юпитере, а все неоднородности яркости облачного покрова оказываются «размытыми» под влиянием расположенной над облаками плотной атмосферной дымки, толщина слоя которой, возможно, достигает 70 км.

Анализ изображений облачного покрова в частично условных цветах обнаружил вблизи 55° ю. ш. необычное овальное красное образование, подобное Большому Красному Пятну на Юпитере, но меньшее по размерам (длина овала составляет около 6000 км). Контраст между красным цветом овала и окружающими его голубоватыми облаками указывает на то, что вещество в пре-

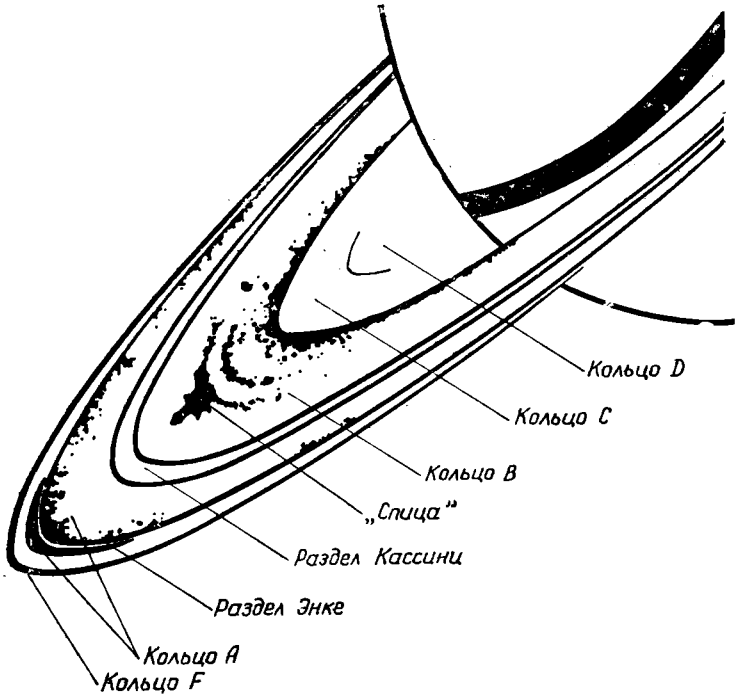


Рис. 6. Схема колец Сатурна

делах овала сильнее поглощает в синих и фиолетовых лучах, чем голубоватые облака. С момента обнаружения овала (в августе 1980 г.) он сохранился неизменным.

В окрестностях широт 40° и 60° с. ш. зарегистрированы два коричневых овала. Один из них, расположенный севернее, сходен с овалом, выявленным в южном полушарии.

На фотографиях облачного покрова в высоких широтах южного полушария отчетливо видно, как крупномасштабные светлые и темные полосы расщепляются на мелкомасштабные неоднородности, проявляющиеся там в виде волн и вихрей. На некоторых изображениях заметны волнообразные структуры облачного покрова, которые, по-видимому, связаны с наличием струйных тече-

ний. Однако восточно-западные потоки, вероятно, наблюдаются на Сатурне реже, чем на Юпитере.

Скорости ветра, зарегистрированные вблизи экватора по движению облачности, достигают 1500 км/ч, что в 4—5 раз больше наблюдаемых на Юпитере. Диапазон изменчивости температуры на уровне верхней границы облаков составляет 86—92 К, что почти на 60 К ниже, чем на Юпитере. Самая низкая температура зарегистрирована в центре Экваториальной зоны. В среднем для всей планеты уходящее тепловое излучение в 2,8 раза превосходит поглощенную Сатурном солнечную радиацию.

В районах полюсов Сатурна наблюдаются авроральные эмиссии, а в ультрафиолетовом диапазоне зарегистрированы полярные сияния вблизи освещенного лимба планеты. На Сатурне не было замечено молниевых разрядов, как на Юпитере, но наблюдалась радиоэмиссия, типичная для подобных разрядов. По-видимому, источником таких разрядов являются кольца, но не атмосфера Сатурна.

Данные АМС «Вояжер-1» о кольцах Сатурна дают наибольшее впечатление. Анализ изображений выявил помимо рассмотренной выше классической системы колец Сатурна с учетом данных АМС «Пионер-Сатурн» (рис. 6) несколько тысяч «колечек» (некоторые из них имеют эллиптическую форму), представляющих собой тонкую структуру колец (см. последнюю страницу обложки). Было подтверждено наличие кольца D между кольцом C и верхней границей облачного покрова планеты. Наблюдалось также слабое кольцо E, открытое в результате наземных наблюдений. Открыто по крайней мере одно кольцо между кольцами E и F.

Обнаружены похожие на спицы длинные радиальные образования в кольце B, которые были видны как темные при сближении АМС с Сатурном, но стали светлыми при ее удалении (когда наблюдения проводились по направлению планеты и Солнца). Появление таких «спиц» может быть обусловлено влиянием магнитных и электростатических сил.

Толщина колец, простирающихся на расстояния более 65 000 км над облачным покровом планеты, по-видимому, не превышает нескольких километров, а размер составляющих их частиц варьирует от нескольких микрометров до 1 м. Вероятно, эти частицы представляют

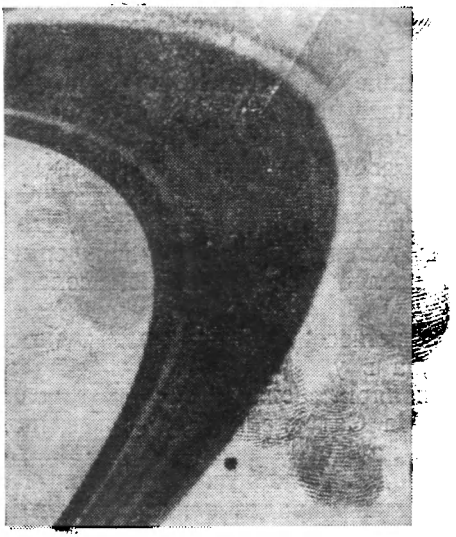


Рис. 7. Изображение раздела Кассини, полученное АМС «Вояжер-1»

собой ледяные сферические частицы или состоят из горных пород, покрытых слоем льда.

На рис. 7 дана фотография раздела Кассини, находящегося между кольцами A и B, который также оказался заполненным многочисленными «колечками». Интересен вид колец Сатурна со стороны Солнца после кратчайшего сближения АМС с планетой. Уникальные условия освещения акцентируют сложность тонкой структуры колец, включающей в себя сотни «колечек». Относительно темное кольцо C (темно-серая зона) сливается с более светлым кольцом B.

Совершенно неожиданным было обнаружение двух шнурообразных «колечек» в кольце F (рис. 8) и рядом с ними одной несколько более диффузной структуры шириной около 35 км. Наблюдаемые на «колечках» «узлы» могут представлять собой локальные скопления вещества или малые спутники. Образование подобных особенностей обусловлено, вероятно, влиянием не только гравитационного, но и электростатического воздействия на частицы. Вблизи Сатурна его кольца действуют как эффективные барьеры для заряженных частиц.

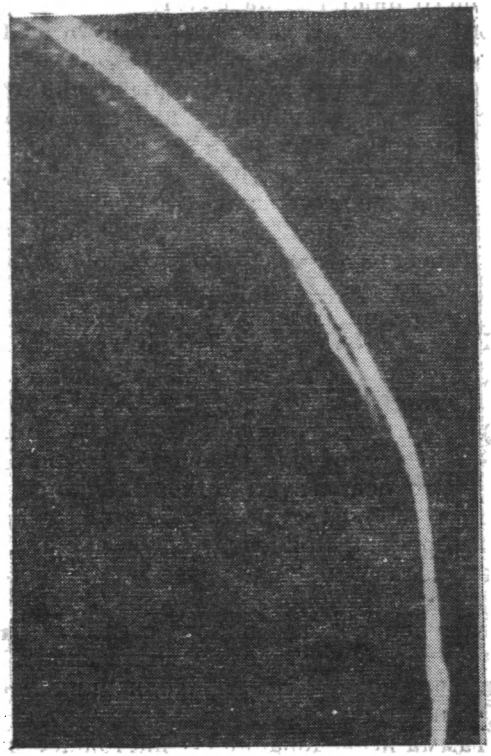


Рис. 8. Два шнурообразных «колечка» в кольце F

В начале XX в. было известно всего девять спутников Сатурна (табл. 4). В 1966 г. был обнаружен еще спутник (выяснилось потом, что их два). В 1980 г. в результате наземных наблюдений в период с марта по апрель 1980 г. было обнаружено по крайней мере три спутника (их наличие подтвердили данные АМС «Вояжер-1»). Два из них как бы образуют единую систему, а еще один движется по орбите Дионы, но несколько впереди ее. Титан, Гиперон, Япет и Феба называются внешними спутниками, а остальные — внутренними. По данным АМС «Вояжер-1» обнаружено по крайней мере еще три внутренних спутника (№ 13, 14 и 15).

Особое внимание ученых всегда привлекал Титан—

Таблица 4

Некоторые сведения о спутниках Сатурна

Обозначение	Среднее расстояние до Сатурна, в единицах радиуса Сатурна	Сидерический период, сут	Диаметр, км	Масса, в единицах массы Титана
1980 1	2,52	0,694	200	0,00003
1980 3	2,52	0.694	135×70	0,00001
Мимас (I)	3,09	0,942	390	0,0004
Энцелад (II)	3,97	1,37	500	0,0006
Тефия (III)	4,91	1,89	1050	0,005
Диона (IV)	6,29	2,74	1120	0,008
1980 2	6,29	2,74		0,000001
Рея (V)	8,79	4,52	1530	0,02
Титан (VI)	20,4	15,9	5120	1
Гиперон (VII)	24,7	21,3	310	0,0001
Япет (VIII)	59,3	79,3	1440	0,01
Феба (IX)	216	550		0,000001

самый крупный спутник Сатурна, обладающий к тому же мощной атмосферой (что представляет уникальный случай для спутников планет). Сделанные в свое время С. Атрейя и его коллегами расчеты в рамках фотохимической теории заставляют предположить, что, если на начальной стадии формирования атмосферы Титана происходила дегазация аммиака из твердой оболочки этого спутника, то в течение всего периода эволюции Титана аммиак превратился бы в азот. Это должно вызвать к настоящему времени образование азотной атмосферы при давлении около $(14—19) \cdot 10^5$ Па.

Предполагаемая последовательность эволюции Титана состоит в том, что после его охлаждения, образования твердой поверхности и начала процесса дегазации его атмосфера могла состоять из таких газов, как метан и аммиак. В результате фоторасщепления этих газов аммиак должен превратиться в другие азотсодержащие соединения, тогда как накопление метана в атмо-

сфере продолжалось достаточное количество времени (оценки показывают, что до 60% метана может регенерировать).

В процессе фотолиза метана и аммиака происходит образование молекулярного водорода. Как только парциальное давление смеси метана с молекулярным водородом у поверхности Титана достигло 10^4 Па, должен был стать существенным парниковый эффект, обусловленный этими компонентами, и начаться бы повышение температуры атмосферы Титана выше 86 К. Согласно расчетам Д. Поллака, при парциальном давлении смеси метана с молекулярным водородом $4{,}5 \cdot 10^4$ Па температура могла возрасти до 150 К.

Однако современные спектроскопические наблюдения приводят к верхнему пределу содержания метана, значительно меньше необходимого для повышения температуры атмосферы Титана до 150 К за счет парникового эффекта. Правда, эти данные относятся к слою атмосферы над облачным покровом Титана и, следовательно, не исключают возможности гораздо большего содержания метана во всей толще атмосферы Титана.

Появление азотной атмосферы при давлении около $2 \cdot 10^6$ Па может усилить парниковый эффект за счет поглощения азота, индуцированного давлением, и повысить температуру поверхности Титана до 200 К, что и соответствует результатам современных наблюдений. В отличие от процессов, происходящих в атмосфере Юпитера, на Титане не осуществляется регенерация аммиака посредством реакций с участием молекулярного азота и гидразина. Это может объяснить неудачную попытку обнаружить аммиак в верхней атмосфере Титана.

Усилившийся в последние годы интерес к исследованиям Титана стимулировал проведение целой программы наземных наблюдений этого спутника Сатурна, которые привели к обнаружению нескольких новых явлений. В частности, наблюдения в интервале длин волн 8—13 мкм дали яркостную температуру Титана около 160 К, тогда как температура чернотельного излучения тела сферической формы, расположенного на таком же расстоянии от Солнца, как и Титан, должна составлять лишь 91 К.

Для объяснения этого наблюдательного факта было предположено, что в атмосфере Титана находятся равномерно перемешанные по высоте мелкие частицы, ко-

торые сильно поглощают солнечную радиацию, но из-за своих малых размеров обладают низкой излучательной способностью. Такая модель хорошо согласуется с данными наблюдений в интервале длин волн 8—13 мкм. Наличие этих поглощающих частиц может объяснить и низкое альбедо Титана в ультрафиолетовом диапазоне.

Однако эта модель приводит к сильно заниженным значениям альбедо в сильных полосах метана в ближнем инфракрасном диапазоне. Так, например, расчеты дают в центре полосы с длиной волны 850 нм значение альбедо 0,028, тогда как наблюдаемая величина составляет 0,07. Анализ спектра излучения Титана в диапазоне длин волн 480—1100 нм обнаружил большое число полос метана с интенсивностями, изменяющимися в пределах нескольких порядков величины.

Сравнение результатов теоретических расчетов спектра Титана с данными наблюдений привело к выводу, что значительная часть рассеивающих частиц действительно должна располагаться над основной толщей атмосферы с содержанием метана не менее 2 км. атм. Столь большое количество метана необходимо предположить для объяснения недавно обнаруженной особенности спектра Титана на длине волны 642 нм. Однако согласие с наблюдениями является неполным — расчеты не согласуются с данными измерений на длине волны 486 нм. Следовательно, необходимо предположить, что мелкие пылинки, продуцируемые фотохимическими процессами, располагаются на больших высотах, тогда как наиболее крупные частицы преобладают в более низких слоях атмосферы Титана. Таким образом, микроструктура аэрозоля должна в атмосфере Титана меняться с высотой.

Необходимо дальнейшее численное моделирование атмосферы Титана с целью найти соответствующий наблюдениям компромисс между моделями однородного и неоднородного распределений аэрозоля по высоте. Возможно, что крупные частицы пыли, падая в атмосфере Титана, достигают его поверхности. Была, в частности, предложена модель поверхности Титана, состоящей из метанового льда и пыли, но возможно, что в действительности это всего лишь верхняя граница метановых облаков, расположенных над толщей атмосферы, обусловливающей значительный парниковый эффект.

Вопросы о вертикальной протяженности атмосферы

Титана, давлении и температуре у его поверхности остаются, однако, пока неясными. Наблюдения Титана в далеком инфракрасном диапазоне обнаружили значения температуры около 160 К, что свидетельствует о наличии относительно теплого слоя в атмосфере этого спутника Сатурна. Данные для видимого и ближнего инфракрасного диапазонов выявили многочисленные спектроскопические признаки метана.

Теоретические исследования указывают на то, что высокую яркостную температуру Титана можно объяснить как следствие формирования температурной инверсии (роста температуры с высотой) на больших высотах под влиянием поглощения солнечной радиации поглощающим аэрозолем, находящимся в атмосфере Титана. Присутствию аэрозоля можно также приписать и низкое альбедо Титана в ультрафиолетовом диапазоне, и наличие многих особенностей спектра.

Естественно предположить, что аэрозоль состоит из углеводородных соединений, поскольку в результате фоторасщепления метана могут образовываться ацетилен и этилен, а затем происходить их полимеризация под влиянием ультрафиолетовой солнечной радиации и облучения протонами. В связи с тем что до сих пор не предпринималось попыток проверить гипотезу фотохимического образования углеводородного аэрозоля, А. Бар-Нун и М. Подолак выполнили лабораторные исследования ультрафиолетового фотолиза метана при низком давлении (порядка 133,3 Па) и облучении метана радиацией (в интервале длин волн 100—165 нм). Метан в смеси с аргоном (при относительной концентрации метана 10^{-3}) находился при температурах 300 и 200 К.

Измерения показали, что образующийся в результате фоторасщепления этилен достигал равновесной концентрации (сильно зависящей от температуры), тогда как содержание этана и пропана пропорционально возрастало со временем (зависимость же от температуры оказалась сравнительно слабой). Экстраполяция полученных результатов на условия Титана приводит к выводу о том, что нижний предел высоты верхней границы его аэрозольного слоя (ниже которой этилен защищен от фоторасщепления) соответствует средним значениям температур в слое фотолиза, соответственно равным 130 и 160 К.

Оценка общего содержания этилена над нижней границей инверсионного слоя при температуре 130 К согласуется с оценкой по данным наблюдений теплового излучения в интервале длин волн 8—13 мкм (верхняя граница аэрозольного облака совпадает с нижней границей инверсионного слоя). Для обеспечения переноса этана к холодной (78 К) «поверхности», достаточного для установления баланса скоростей конденсации и образования этана, необходимо, чтобы коэффициент турбулентной диффузии у «поверхности» был 10^2 см^2/с.

Экспериментальные данные приводят к оценке содержания ацетилена в атмосфере Титана при условии фотохимического равновесия над аэрозольным облаком, оказывающейся примерно на два порядка величины меньше теоретических. Поскольку одним из основных продуктов фотолиза является пропан, предполагается возможность его спектроскопического обнаружения по данным измерений теплового излучения Титана на длине волны 13,4 мкм.

Совершенно новые горизонты в изучении спутников Сатурна открылись с получением результатов их наблюдений с помощью АМС «Вояжер-1». При этом наиболее подробно исследовались Мимас, Энцелад, Тефия, Диона, Рея и, естественно, Титан. Как уже говорилось, было подтверждено существование трех спутников из открытых в 1980 г. в результате наземных наблюдений. Однако анализ изображений колец Сатурна позволил выявить и еще по крайней мере три спутника. Спутник № 13 движется по орбите, близкой к внешнему краю кольца F, а спутник № 14 — по орбите, близкой к внутреннему краю этого кольца. Орбита спутника № 15 располагается сразу же за внешним краем кольца А.

Все крупные внутренние спутники Сатурна — Мимас, Энцелад, Тефия, Диона и Рея — состоят, по-видимому, главным образом из водяного льда. За исключением Энцелада поверхности всех этих спутников сильно покрыты кратерами, что делает их сходными с поверхностями Луны и Меркурия (рис. 9). На Мимасе обнаружен уникально крупный кратер, который в своих размерах лишь в 4 раза меньше самого спутника (рис. 10). Характерной чертой Тефии является долина на ее поверхности шириной 70 км и протянувшаяся в длину на 800 км (вероятно, это разлом, порожденный сейсмической активностью).

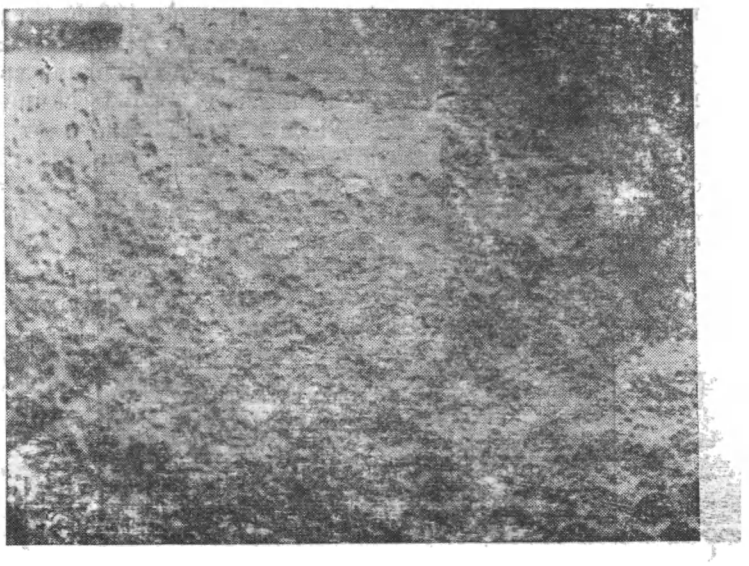


Рис. 9. Изображение поверхности спутника Рея

Несколько волнообразных долин, часть которых ответвляется, заметны на поверхности Дионы. На Дионе и Рее наблюдаются также струеобразные яркие неоднородности на фоне яркой поверхности этих спутников, что обусловлено, вероятно, выбросами льда, происшедшими при образовании кратеров под воздействием ударов метеоритов. Из этих внутренних спутников Энцелад выглядит наиболее гладким. Поскольку максимум концентрации частиц кольца Е расположен вблизи орбиты Энцелада, следует предположить, что этот спутник является источником частиц для данного кольца.

Как уже отмечалось, большое внимание привлекал спутник Сатурна Титан, второй в Солнечной системе по размерам после спутника Юпитера Ганимеда. Его плотность оказалась вдвое большей плотности водяного льда. Плотная атмосфера, наблюдавшаяся на этом спутнике, простирается по высоте по крайней мере на 400 км. Такая атмосфера исключает возможность наблюдения поверхности Титана в оптическом диапазоне.

Подобно Земле, Титан имеет атмосферу, состоящую главным образом из азота, в состав которой входят так-

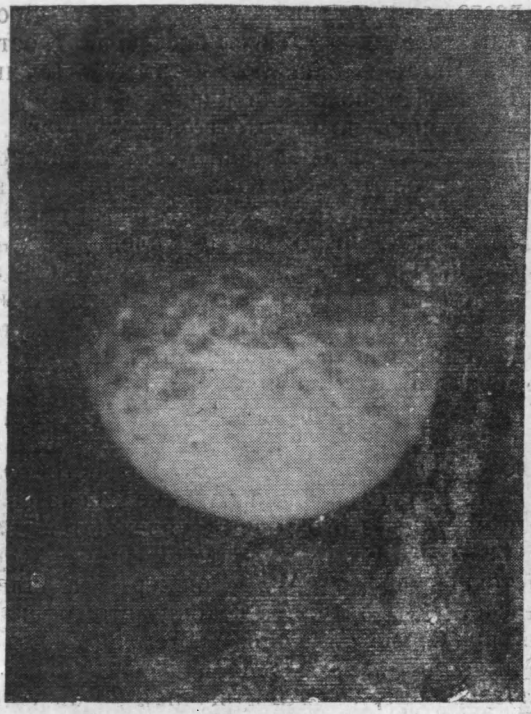


Рис. 10. Изображение спутника Мимас

же различные углеводородные соединения: метан, этан, ацетилен, этилен и цианид водорода. Слои дымки сливаются с темным «колпаком» над северным полюсом Титана. На обоих полюсах этого спутника вполне могут образоваться озера из жидкого азота: средняя температура поверхности Титана составляет около 100 К, т. е. лишь немного превышает точку кипения жидкого азота.

У Титана нет заметного магнитного поля, и, видимо, он лишен большого жидкого проводящего ядра. Однако Титан обеспечивает поступление небольшого числа заряженных частиц в магнитосферу Сатурна. Южное полушарие Титана несколько ярче северного, что, вероятно, является следствием сезонных эффектов.

Из остальных внешних спутников Сатурна АМС «Вояжер-1» исследовала только два — Гиперон и Япет.

Скорее всего, эти спутники состоят из водяного льда, но надежных сведений об их массе и плотности не получено. На Япете наблюдаются яркие и темные полушария. Темная сторона, обращенная вперед по ходу движения спутника по орбите вокруг Сатурна, имеет в 5 раз более низкое альбедо, чем светлая сторона.

Хотя магнитосфера Сатурна в 3 раза меньше, чем юпитерианская, она все же остается гигантской, простираясь почти на 2 млн. км в направлении Солнца. Размеры магнитосферы претерпевают ритмические флуктуации, зависящие от вариаций потока заряженных застиц солнечного ветра. Заряженные частицы движутся вдоль силовых линий магнитного поля, обращаясь вокруг Сатурна с периодом 10 ч 39 мин.

От орбиты Титана по направлению во внутрь к орбите Реи простирается огромное облако незаряженных атомов водорода в форме пончикообразного тора, излучающего ультрафиолетовое излучение. Из-за своей нейтральности частицы этого тора не увлекаются магнитным полем.

В настоящее время АМС «Вояжер-1» вышла за пределы плоскости эклиптики и к концу этого века должна покинуть пределы Солнечной системы, двигаясь в направлении звезды α Змееносца.

Пролет «Вояжера-2». Запущенная 20 августа 1977 г. АМС «Вояжер-2» достигла Юпитера 9 июля 1979 г. Съемка Сатурна началась с помощью этой АМС 5 июня 1981 г. Если «Вояжер-1», двигаясь в окрестностях Сатурна, совершал вначале пролеты около внутренних спутников, то АМС «Вояжер-2» начала обследовать систему Сатурна с внешних спутников и, в частности, впервые были получены изображения самого внешнего спутника Сатурна — Фебы.

26 августа 1981 г. АМС «Вояжер-2» сблизилась с Сатурном на ближайшее расстояние 101 000 км. В настоящее время полученные ею данные о Сатурне, его кольцах и спутниках еще только начинают обрабатываться. Но предварительные результаты следующие.

Обнаружилась еще более сложная структура колец Сатурна, чем это представлялось по данным АМС «Вояжер-1». Количество «колечек» оказалось значительным, а их структура определяется неким волновым процессом (распространением волн плотности) с учетом возмущающего воздействия со стороны спутников. Хотя траек-

тория полета АМС «Вояжер-2» рассчитывалась так, чтобы на пути к максимальному сближению к планете станция обогнула бы кольца Сатурна, однако регистрация многих столкновений АМС с частицами предполагает, что кольцевая структура Сатурна простирается на гораздо большее расстояние, чем это предполагалось ранее.

Неожиданной стала регистрация электрических разрядов мощностью 100—1000 МВт в районе кольца В. Кроме того, обнаружилось низкочастотное излучение вблизи Дионы и Тефии. Вытянутое вдоль орбит Дионы и Тефии тороидальное ионизованное облако, выявленное АМС «Вояжер-2», напоминает тороидальное облако вдоль орбиты Ио около Юпитера и, по-видимому, также образовалось частицами, выброшенными из спутников.

Поразительные результаты получены при наблюдении спутников Сатурна, число которых увеличилось по крайней мере до 17. Оказалось, что Гиперон имеет вытянутую форму (350×200 км), причем большая полуось направлена не к Сатурну (видимо, вследствие столкновения спутника с крупным небесным телом). Кратер с громадными размерами (450 км), обнаруженный на поверхности Тефии, указывает на то, что небесное тело, столкнувшееся в прошлом с этим спутником, могло еще немного и расколоть его надвое. После уточнения плотности Япета (1,1 г/см^3) стало ясно, что этот спутник на 80% должен состоять из льда.

Если по данным АМС «Вояжер-1» поверхность Энцелада представлялась самой гладкой по сравнению с другими внутренними спутниками Сатурна, то «Вояжер-2» выявил, что поверхность этого спутника также испещрена многочисленными кратерами и долинами, но покрытыми слоем льда, «замаскировавшим» их от АМС «Вояжер-1». И наконец, что касается Титана, который наиболее привлекал ученых, то, к их удивлению, у него, как оказалось, практически нет ионосферы.

Пролетом около Сатурна миссия АМС «Вояжер-2» не ограничивается. В январе 1981 г. было окончательно принято решение направить «Вояжер-2» после пролета Сатурна к следующей планете-гиганту — Урану. Благодаря проведенным коррекциям траектории полета этой АМС она должна достичь окрестностей Урана 24 января 1986 г. При этом планируется исследование таких спутников Урана, как Миранда, Ариэль, Умбриэль,

Титания и Оберон. Не исключено, что после этого АМС «Вояжер-2» будет направлена к Нептуну.

Некоторые сведения об Уране и Нептуне. По данным наблюдений покрытия Ураном звезды АО 158687 10 марта 1977 г., Д. Эллиот и Э. Данхем рассчитали высотное распределение температуры для двух участков этой планеты (4,5° с. ш. и 18,1° ю. ш.), что впервые позволило получить сведения о температуре слоя ее атмосферы, характеризуемого интервалом давлений 10^{-4}—10^{-2} гПа и расположенного намного выше общей толщи атмосферы, для которой ранее была получена информация о температуре по результатам инфракрасных измерений.

Наблюдения этого покрытия Ураном звезды проводились в нескольких обсерваториях. Однако лишь данные Койперовой обсерватории с использованием самолета (КОС) и обсерватории в Кейптауне содержали сведения, непосредственно касающиеся атмосферы Урана.

Д. Эллиот и Э. Данхем проанализировали результаты наблюдений, проведенных с помощью 91-сантиметрового телескопа КОС, снабженного тремя фильтрами в длинах волн 619, 728 и 852 нм, соответствующих различным полосам метана. Результаты расчета высотного профиля температуры указывают на амплитуду изменения температуры с высотой, равную 45 К при начале покрытия и 35 К в конце покрытия (причем данные для всех трех каналов приводят к согласующимся результатам). Таким образом, можно заключить, что рассматриваемый слой атмосферы Урана не является изотермичным. Вертикальный перепад температуры соответствует почти адиабатическому везде, за исключением атмосферного уровня с давлением 10^{-3} гПа.

Средние значения температур зондируемого слоя составляют 109 К (в начале покрытия) и 96 К (в конце покрытия), превышая примерно на 40 К температуру, определенную по данным инфракрасных измерений, что свидетельствует о наличии инверсии в атмосферном слое с интервалом давлений 10^{-2}—10^{-3} гПа. Подобная инверсия может быть обусловлена либо нагревом верхней атмосферы за счет поглощения радиации метаном, либо диссипацией энергии в результате динамических процессов. Последние могут быть также и причиной изменения температуры с высотой в верхней атмосфере Урана.

Табл. 5 отражает некоторые температурные особенности Урана и Нептуна. Примерное равенство эффек-

Таблица 5

Температурные характеристики Урана и Нептуна

Характеристики	Уран	Нептун
Среднее расстояние от Солнца, а. е.	19,2	30,1
Эффективная температура для уровня 100 гПа (инфракрасные измерения)	58,5±2	59,7±4
Температура для уровня 10^{-3} гПа (данные покрытия)	100	140
Амплитуда изменения температуры с высотой	35—45	5—25

тивных температур планет можно считать результатом различия в мощности внутренних источников энергии: уходящее излучение Урана и Нептуна превосходит поглощенную солнечную радиацию соответственно в 1,2 и 2,8 раза. Отметим, что Нептун характеризуется наличием значительно более сильной температурной инверсии.

Измерения яркостной температуры Урана и Нептуна привели к значениям, которые оказались более высокими для длины волны 22 мкм, чем для длины волны 34 мкм. Этот результат можно объяснить, если допустить существование инверсионного слоя в атмосферах этих планет.

С целью дальнейшего изучения инверсионного слоя У. Мэси и У. Синтон в марте 1977 г. с помощью 2,24-метрового телескопа обсерватории Мауна-Кеа предприняли новые измерения яркостных температур Нептуна и Урана в полосе метана (длина волны 7,7 мкм) и полосе этана (12,2 мкм). В результате обнаружились значительно более высокие яркостные температуры, чем характерные для более длинных волн. В случае Нептуна яркостные температуры в полосах метана и этана равны соответственно 130 и 93 К. Измерения в полосе этана не обнаружили эмиссии на Уране.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о существовании на Нептуне неожиданно теплого инверсионного слоя. По-видимому, этот слой приходится на интервал атмосферного давления 100—1 гПа. Причины существования более высоких яркостных температур

Нептуна по сравнению с Ураном остались невыясненными до сих пор.

У. Хаббард составил обзор всех имеющихся данных наблюдений и теоретических исследований, касающихся природы и мощности внутренних источников энергии планет-гигантов. Результаты широкополосных измерений теплового инфракрасного излучения указывают на то, что на Юпитере и Сатурне существуют внутренние потоки тепла, которые соответственно в 150 и 50 раз превосходят земные. Хотя на Нептуне наблюдается умеренный уровень внутреннего потока тепла (примерно в 5 раз превышающий земной), он также отчетливо обнаруживается по данным наземных наблюдений. Из всех планет-гигантов, по-видимому, лишь на Уране отсутствует обнаруживаемый внутренний поток тепла.

Расчеты указывают на то, что на ранних этапах эволюции Юпитер и Сатурн могли характеризоваться более однородным распределением водорода и гелия и излучали энергию за счет выхолаживания. На более позднем этапе эволюции, который, однако, еще только предстоит, будет происходить разделение водорода и гелия, которое обеспечит поступление гравитационной энергии. Менее ясна ситуация для Урана и Нептуна, где относительное содержание водорода и гелия мало и главными компонентами являются, с одной стороны, льды воды, метана и аммиака, а с другой — железосиликатные и другие соединения.

У Урана обнаружено по крайней мере пять колец, четыре из них имеют ширину всего около 14 км, а ширина пятого изменчива и в среднем составляет около 100 км. У. Ситон предпринял измерение альбедо этих колец. Оказалось, что ослабление света звезд кольцом с меняющейся шириной достигает 60—90%, тогда как для остальных колец не превышает 20—40%. Если принять альбедо Урана равным 0,56, то альбедо его колец не превосходит 0,05. Верхний предел альбедо частиц, составляющих кольца Урана, равняется 0,08. Такой результат находится в сильном противоречии с данными о кольцах Сатурна, альбедо частиц которых больше 0,9. Поскольку последнее может быть связано с наличием оболочки из водяного льда у частиц в кольцах Сатурна, то частицы в кольцах Урана такой оболочкой обладать не могут.

ХРОНИКА КОСМОНАВТИКИ *

9 ЯНВАРЯ запущен очередной (14-й) советский ИСЗ связи типа «Молния-3». Выводимые на высокоэллиптические орбиты, как и советские ИСЗ типа «Молния-1», они являются составными элементами системы спутниковой связи (ССС), используемой, в частности, для передачи телевизионных программ в системе «Орбита».

30 ЯНВАРЯ в СССР осуществлен запуск очередного (50-го) ИСЗ связи типа «Молния-1». Именно с запуском первых этих ИСЗ в 1965 г. в нашей стране впервые начала действовать спутниковая система дальней связи.

6 ФЕВРАЛЯ в рамках международной программы «Интеркосмос» в СССР запущен ИСЗ «Интеркосмос-21», предназначенный для отработки методов комплексного изучения Мирового океана и земной поверхности. Установленные на борту ИСЗ научная аппаратура и телеметрическая система сбора и передачи научной информации созданы специалистами ВНР, ГДР, СРР, СССР и ЧССР.

11 ФЕВРАЛЯ в Японии осуществлен первый запуск ракеты-носителя (РН) «Н-2», в результате которого на высокоэллиптическую орбиту выведен ИСЗ «Кику-3» («ЕТС-4»), снабженный аппаратурой для отработки бортового оборудования.

21 ФЕВРАЛЯ в Японии запущен еще один ИСЗ «Хинотори» («АСТРО-А»), предназначенный для исследований рентгеновского излучения Солнца. Кроме того, он снабжен аппаратурой для изучения солнечного гамма-излучения, галактического рентгеновского излучения, частиц высоких энергий, а также для измерения температуры и концентрации электронов в околоземном пространстве.

21 ФЕВРАЛЯ в США осуществлен четвертый запуск ИСЗ «Комстар-1» для национальной коммерческой ССС фирмы «ГТЕ Сателлит». Это одна из трех подобных ССС, действующих в США ко времени запуска данного ИСЗ, который, как и ИСЗ других коммерческих ССС США, выведен на стационарную орбиту.

1 МАРТА осуществлен пуск одноступенчатой ракеты акционерного общества ОТРАТ в рамках программы создания собственной РН, с помощью которой первый ИСЗ планируется вывести на орбиту в 1982 г. Это четвертый пуск ракет ОТРАТ и первый с территории Ливии после того, как Заир отказал ОТРАТ в аренде своего полигона.

18 МАРТА в СССР запущен очередной (8-й) ИСЗ связи «Радуга». Выведенный на стационарную орбиту в точке «стояния» 35° в. д. он получил международный регистрационный индекс «Стационар-2». Наряду со стационарными ИСЗ типа «Горизонт» и «Экран», а также ИСЗ типа «Молния-1» и «Молния-3» они широко используются в системе телевизионного вещания, действующей в нашей стране.

* Приводятся данные о запусках некоторых искусственных спутников Земли (ИСЗ), начиная с января 1981 г. О полетах советских и американских космонавтов, а также о запусках космических аппаратов в рамках программы полета орбитальной станции «Салют-6» см. «Хронику пилотируемых полетов» в № 8 за этот год и статью В. А. Иванова из данного сборника. О запусках ИСЗ серии «Космос» регулярно сообщается, например, на страницах журнала «Природа», куда и отсылаем интересующихся.

24 МАРТА запущен очередной (15-й) ИСЗ связи «Молния-3».

15 МАЯ запущен очередной (7-й) советский метеорологический ИСЗ «Метеор-2». На его борту установлена комплексная аппаратура для получения глобальных изображений облачности и подстилающей поверхности в видимом и инфракрасном диапазонах, а также радиометрическая аппаратура. Последняя может работать как в режиме запоминания, так и в режиме непосредственной передачи информации в Государственный научно-исследовательский центр изучения природных ресурсов и Гидрометцентр СССР.

22 МАЯ в США осуществлен запуск на стационарную орбиту ИСЗ «ГОЕС-5». ИСЗ этой серии, помимо метеорологических наблюдений, ретранслируют информацию от автоматических метеостанций и обработанную спутниковую информацию из центров обработки потребителям.

23 МАЯ на стационарную орбиту выведен второй ИСЗ типа «Интелсат-5» глобальной коммерческой ССС международного консорциума ИТСО. После запуска трех ИСЗ «Интелсат-5» в этом году и четырех в 1982 г. они полностью заменят систему ИСЗ «Интелсат-4А», использующихся в данной ССС в настоящее время.

31 МАЯ Индия осуществила третий запуск собственной РН «СЛВ-3», в результате которого выведен ИСЗ «Рохини-2» для контроля бортовых систем РН и траекторных измерений.

9 ИЮНЯ запущен очередной (16-й) ИСЗ типа «Молния-3».

19 ИЮНЯ осуществлен успешный запуск РН «Ариан» организации западноевропейских стран ЕСА, в результате которого на стационарные орбиты выведены метеорологический ИСЗ «Метеосат-2» организации ЕСА и экспериментальный индийский ИСЗ связи «ЭППЛ».

29 ИЮНЯ в США осуществлен третий запуск метеорологического ИСЗ «НОАА» «второго поколения». С этим запуском введена в эксплуатацию спутниковая метеорологическая система с использованием двух таких ИСЗ на околополярных орбитах (второй запуск аналогичного ИСЗ был неудачным).

24 ИЮНЯ выведен на орбиту очередной (51-й) ИСЗ «Молния-1».

26 ИЮНЯ в СССР осуществлен запуск очередного (7-го) ИСЗ телевизионного вещания «Экран». Выводимые на стационарную орбиту в точке «стояния» 99° в. д. (международный регистрационный индекс «Стационар-Т») эти ИСЗ используются для передачи телевизионных программ в районы Приуралья и Сибири на абонентские приемные устройства упрощенного типа в труднодоступных и малонаселенных районах нашей страны.

10 ИЮЛЯ в СССР одной РН выведены метеорологический ИСЗ «Метеор-Природа» и созданный студенческим КБ МАИ им. С. Орджоникидзе ИСЗ «Искра», предназначенный для научно-технических экспериментов. Основной задачей ИСЗ «Метеор-Природа» является получение информации, необходимой для продолжения исследований природных ресурсов Земли из космоса, отработки методов дистанционного измерения параметров подстилающей поверхности и атмосферы. Кроме того, на ИСЗ также установлена комплексная научная аппаратура, разработанная и изготовленная специалистами НРБ по программе «Болгария 1300».

31 ИЮЛЯ запущен очередной (9-й) ИСЗ связи «Радуга», получивший после вывода на стационарную орбиту в точке «стоя-

ния» 35° в. д. международный регистрационный индекс «Стационар-2».

3 АВГУСТА в США выведены на копланарные полярные орбиты ИСЗ «ДЭ-1» и «ДЭ-2». Эти ИСЗ серии «Эксплорер» предназначены для комплексного изучения динамических процессов, происходящих в атмосфере, ионосфере и магнитосфере Земли.

7 АВГУСТА в СССР для проведения советско-болгарской программы исследований осуществлен запуск ИСЗ «Интеркосмос—Болгария 1300». Основной задачей ИСЗ является изучение процессов, происходящих в ионосфере и магнитосфере Земли. Научная аппаратура этого ИСЗ разработана и изготовлена учеными и специалистами НРБ при содействии советских ученых. Помимо научной аппаратуры на борту ИСЗ установлены система постоянной ориентации на Земле и система солнечных батарей с автономной ориентацией.

10 АВГУСТА в Японии в результате второго запуска РН «Н-2» на стационарную орбиту выведен метеорологический ИСЗ «Химавари-2» («ГМС-2»). Это второй ИСЗ данной серии, который, как и предыдущий, создан американской фирмой на базе ИСЗ «ГОЕС». В результате этого запуска Япония стала третьей страной (после СССР и США), выведшей стационарный ИСЗ с помощью собственной РН.

28 АВГУСТА в СССР в рамках программы «Интеркосмос» на высоту 500 км осуществлен запуск геофизической ракеты «Вертикаль-9». В специальном астрофизическом зонде размещалась научная аппаратура, разработанная специалистами ПНР, СССР и ЧССР для продолжения исследований коротковолнового солнечного излучения.

20 СЕНТЯБРЯ в КНР с помощью одной РН осуществлен запуск трех ИСЗ, предназначенных для астрофизических исследований.

21 СЕНТЯБРЯ в СССР в рамках комплексного советско-французского эксперимента «Аркад-3» для исследования физических процессов, протекающих в магнитосфере и ионосфере Земли, и изучения полярных сияний осуществлен запуск ИСЗ «Ореол-3». Как и в предыдущих подобных комплексных экспериментах, одновременно с измерениями, проводимыми с помощью ИСЗ «Ореол-3», осуществляется обширная программа координированных геофизических исследований наземными геофизическими экспедициями и стационарными исследовательскими комплексами в Арктике и Антарктиде.

25 СЕНТЯБРЯ в США осуществлен второй запуск ИСЗ «СБС» для национальной коммерческой ССС фирмы СБС. С запуском этого ИСЗ введена в строй четвертая коммерческая ССС США.

СОВРЕМЕННЫЕ ДОСТИЖЕНИЯ КОСМОНАВТИКИ

Сборник статей. Составитель — В. И. Прищепа

Гл. отраслевой редактор *Л. А. Ерлыкин.* Редактор *Е. Ю. Ермаков.* Мл. редактор *Г. И. Родкина.* Обложка художника *А. А. Астрецова.* Худож. редактор *М. А. Гусева.* Техн. редактор *Н. В. Лбова.* Корректор *В. Е. Калинина*

ИБ № 4212

Сдано в набор 18.09.81. Подписано к печати 05.11.81. Т 27032. Формат бумаги 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 1. Гарнитура литературная. Печать высокая. Усл. печ. л. 3,36. Усл. кр.-отт. 3,57. Уч.-изд. л. 3,47. Тираж 28 570 экз. Заказ 1377. Цена 11 коп. Издательство «Знание». 101835, ГСП, Москва, Центр, проезд Серова, д. 4. Индекс заказа 814211.

Типография Всесоюзного общества «Знание», Москва, Центр, Новая пл., д. 3/4.

11 коп.

Индекс 70101