

ISSN 0044-3948



4 1979

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·
· ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·

Сердцевиной идеологической, политико-воспитательной работы было и остается формирование у советских людей научного мировоззрения, беззаветной преданности делу партии, коммунистическим идеалам, любви к социалистической Отчизне, пролетарского интернационализма.

Из постановления ЦК КПСС
«О дальнейшем улучшении идеологической,
политико-воспитательной работы»
от 26 апреля 1979 года



**Научно-популярный
журнал**
Академии наук СССР
Основан в 1965 году
Выходит 6 раз в год
Издательство «Наука»
Москва

4 ИЮЛЬ
АВГУСТ
1979

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

| | |
|--|----|
| Л. В. Ксанфомалити — Новые исследования Венеры | 5 |
| С. Ф. Морозов — Межпланетные станции «Венера-11» и «Венера-12» | 15 |
| Д. Ю. Гольдовский — Межпланетные станции «Пионер — Венера» | 18 |
| Г. М. Москаленко — Аппараты для полетов в атмосфере Венеры | 21 |
| | |
| М. А. Сорочинский — Прогноз опасных явлений погоды | 27 |
| | |
| С. Н. Вернов — Радиационные пояса Земли | 33 |
| Б. А. Тверской — Взаимодействие магнитосферы с ионосферой | 37 |
| В. Ю. Трахтенгерц — Магнитосфера как альвеновский мазер | 42 |
| В. В. Мигулин — Международные исследования магнитосферы | 46 |
| | |
| Ф. В. Егер — Башня Эйнштейна в прошлом и настоящем | 50 |

ЛЮДИ НАУКИ

| | |
|--|----|
| Н. Н. Парийский, Л. П. Пеллинен, М. И. Юркина — Михаил Сергеевич Молоденский | 56 |
|--|----|

ОБСЕРВАТОРИИ И ИНСТИТУТЫ

| | |
|---|----|
| О. Е. Старовойт — Центральная сейсмологическая обсерватория | 59 |
|---|----|

ЭКСПЕДИЦИИ

| | |
|--|----|
| В. Г. Корт — Эксперимент ПОЛИМОДЕ завершен | 63 |
|--|----|

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

| | |
|--|----|
| В. Ф. Карташов, Е. П. Левитан — Проблемное обучение астрономии | 68 |
|--|----|

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

| | |
|--|----|
| Ю. Ю. Палко — Юбилейный слет | 71 |
|--|----|

ЛЕГЕНДЫ О ЗВЕЗДНОМ НЕБЕ

| | |
|------------------------------------|----|
| И. И. Неяченко — Дельфин | 72 |
|------------------------------------|----|

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

| | |
|---|----|
| Ю. С. Владимиров — «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» | 74 |
|---|----|

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

На орбите «Салют-6» [2]; «Земля и Вселенная» поздравляет астрономов, геофизиков и исследователей космического пространства — новых членов Академии наук СССР [4]; Наземные исследования Венеры [14]; Полярные вихри на Венере [20]; Природа карликовых новых [26]; Сколько в Галактике пульсаров! [26]; Тунгусский метеорит — осколок кометы Энке! [49]; Электроника в астрономических наблюдениях [53]; НЕАО-А: первые наблюдения [54]; Новый тип рентгеновских источников [54]; Запуск НЕАО-В [55]; Оптическая периодичность Лебеда X-1 [55]; Плазменные облака в магнитосфере [55]; 62-й и 63-й рейсы «Гломара Челленджера» [66]; Автоматические станции «Гелиос» [73]; «Успехи физических наук» к юбилею Эйнштейна [76]; «Вестник АН СССР» к юбилею Эйнштейна [77]; Новые книги [78, 79, 80]; Статьи и заметки о магнитосфере Земли, опубликованные в «Земле и Вселенной» в 1965—1978 годах [79].

Оформление обложки В. И. Кнопа (к статье Л. В. Ксанфомалити).



На орбите «Салют-6»

15 марта В. А. Ляхов и В. В. Рюмин приступили к разгрузке корабля «Прогресс-5». Одновременно они начали ремонтно-профилактические операции с топливной системой объединенной двигательной установки станции и подготовку ее к дозаправке топливом, доставленным грузовым кораблем. К концу работы были отмечены некоторые отклонения контрольных параметров в пневмомагистралях системы наддува двигательной установки. Причина отклонений — повреждение подвижной мембраны, разделяющей жидкое горючее и газообразный азот внутри одного из трех баков горючего. Было принято решение не использовать этот бак в дальнейшем, а находящееся в нем горючее перелить в два других исправных бака.

16 марта экипаж осуществил закрутку комплекса «Салют-6» — «Союз-32» — «Прогресс-5» вокруг поперечной оси для разделения горючего и азота в неисправном баке. Затем большую часть топлива перелили в другой бак, а остаток с газовыми включениями — в свободную емкость корабля «Прогресс-5». После этого открыли клапан в космическое пространство для окончательного освобождения бака и связанных с ним трубопроводов от остатков горючего.

17—18 марта у космонавтов были дни отдыха.

19 марта В. А. Ляхов и В. В. Рюмин переносили и устанавливали на станции контейнеры с продуктами питания, водой, регенераторы системы жизнеобеспечения. Параллельно с разгрузкой космонавты проводили ремонтно-восстановительные работы. Они демонтировали старую электронагревательную печь «Кристалл», а на ее место поставили усовершенствованную установку «Кристалл». На пульте управления станции экипаж укрепил новое командно-сигнальное устройство и бортовые часы. Для восстановления параметров системы электропитания В. А. Ляхов и В. В. Рюмин подключили дополнительный блок химических батарей, доставленный кораблем «Прогресс-5». В рабочем отсеке космонавты разместили дополнительные чувствительные датчики системы «Сигнал», предназначенные для повышения безопасности экипажей станции.

20 марта В. А. Ляхов и В. В. Рюмин настраивали пере-

носную цветную телекамеру, после чего показали телезрителям интерьер станции и внешние элементы комплекса.

21 марта космонавты полностью завершили разгрузку транспортного корабля «Прогресс-5». Во время визуальных наблюдений окружающей среды экипаж передавал в Центр управления полетом панорамы отдельных участков суши и моря, сообщал о метеорологических процессах в земной атмосфере.

22 марта экипаж научно-исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз-32» — «Прогресс-5» выполнил первый технологический эксперимент на новой электронагревательной установке «Кристалл», а также эксперименты для дальнейшей отработки датчиков перспективных систем космической навигации.

23 марта после недельного вакуумирования была проведена продувка магистралей и бака горючего сжатым азотом для удаления возможных остатков горючего. В тот же день космонавты посеяли семена арабидопсиса в доставленном грузовым кораблем приборе «Фитон». Часть растений, которые выращивают на станции, — петрушку, лук, укроп космонавты употребляют в пищу.

24 марта были проведены испытания системы космической связи, обеспечивающей передачу телевизионного изображения с Земли на орбитальную станцию. **Такой эксперимент выполнен впервые в истории космонавтики.**

25 марта на установке «Кристалл» космонавты провели эксперимент с целью получения кристаллов полупроводниковых материалов в условиях микрогравитации.

26 марта — день медицинских обследований. Изучалось влияние дозированной физической нагрузки на кровообращение космонавтов, кислородный режим в тканях человека, находящегося в невесомости.

27 марта В. А. Ляхов и В. В. Рюмин закончили ремонтно-профилактические мероприятия с объединенной двигательной установкой станции. После очередной продувки и вакуумирования бак горючего был заполнен сжатым азотом и выключен из топливной системы. В дальнейшем двигательная установка будет полностью обеспечиваться горючим из двух других баков. В тот же день экипаж провел на установке «Кристалл» очередную технологический эксперимент.

Продолжение. Начало в № 1, 2, 3, 5, 6, 1978 и № 1, 3, 1979.

28 марта на борту научно-исследовательского комплекса были начаты биологические эксперименты по изучению развития высших растений в условиях искусственной гравитации. Космонавты устанавливали и испытывали автономную радиотехническую систему «Кольцо», предназначенную для переговоров космонавтов между собой и с операторами Центра управления полетом.

29 марта после выполнения подготовительных операций (откачка газа, проверка заправочных магистралей и оборудования) провели дозаправку двигательной установки станции окислителем. Процесс дозаправки контролировали космонавты и специалисты Центра управления полетом.

30 марта с помощью двигательной установки корабля «Прогресс-5» была осуществлена коррекция траектории движения орбитального комплекса. В. А. Ляхов и В. В. Рюмин проводили эксперименты с малогабаритным гамма-телескопом «Елена», контролировали работу аппаратуры, предназначенной для биологических экспериментов, наблюдали за развитием растений, занимались физическими упражнениями.

31 марта — 1 апреля космонавты проводили санитарно-гигиенические мероприятия, занимались физическими упражнениями, осуществляли визуальные наблюдения отдельных районов земной поверхности и акватории Мирового океана.

2 апреля В. А. Ляхов и В. В. Рюмин измерили массу тела и объем мышц, нагрузку на которые в условиях полета незначительна.

3 апреля в 19 часов 10 минут московского времени после завершения программы совместного полета произведено отделение автоматического грузового транспортного корабля «Прогресс-5» от орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз-32». Процесс расстыковки контролировали специалисты Центра управления полетом и космонавты В. А. Ляхов и В. В. Рюмин.

4 апреля экипаж комплекса работал с бортовым субмиллиметровым телескопом БСТ-1М. Проводил измерение излучения некоторых звезд в ультрафиолетовом диапазоне с целью определения их относительной яркости. Для определения параметров озонового слоя земной атмосферы измерялось ультрафиолетовое излучение β Центавра во время захода ее за горизонт Земли.

5 апреля завершил полет автоматический грузовый транспортный корабль «Прогресс-5». По командам с Земли корабль сначала был сориентирован в пространстве, затем была включена его двигательная установка. В результате торможения «Прогресс-5» перешел на траекторию снижения, вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом Тихого океана и прекратил существование. В тот же день В. А. Ляхов и В. В. Рюмин проводили проверку системы управления станции в режимах ручной и автоматической ориентации и стабилизации, вели визуальные наблюдения и фотографировали поверхность Земли и акватории Мирового океана, занимались физическими упражнениями.

6 апреля в соответствии с программой сотрудничества

между СССР и Францией завершен еще один эксперимент по космическому материаловедению на установке «Кристалл». Изучались процессы диффузии при плавлении и последующем охлаждении металлических соединений: олово — свинец и алюминий — медь. По заданию Гидрометеоцентра СССР экипаж проводил визуальные наблюдения и фотографировал различные атмосферные образования и морские течения.

7—8 апреля на установке «Кристалл» выполнены еще два технологических эксперимента по космическому материаловедению.

9 апреля большая часть дня была отведена медицинскому обследованию экипажа. Исследовались динамика кровообращения в условиях полного покоя, биологическая активность сердца, параметры внешнего дыхания и тонуса сосудов.

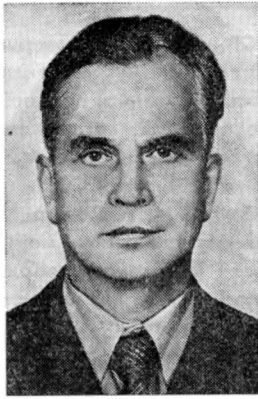
10 апреля 1979 года в 20 часов 34 минуты московского времени был осуществлен запуск космического корабля «Союз-33». Корабль пилотировал международный экипаж: командир корабля дважды Герой Советского Союза, летчик-космонавт СССР **Н. Н. Рукавишников** и космонавт-исследователь, гражданин Народной Республики Болгарии **Г. И. Иванов**.

Николай Николаевич Рукавишников родился 18 сентября 1932 года в городе Томске. В 1957 году он окончил Московский инженерно-физический институт. Работал в конструкторском бюро, занимался проектированием, разработкой и изготовлением автоматических и ручных систем управления летательных аппаратов. В 1967 году Н. Н. Рукавишников зачислен в отряд космонавтов, прошел полный курс подготовки на пилотируемых космических аппаратах. Свой первый космический полет он совершил в апреле 1971 года на корабле «Союз-10». В декабре 1974 года в качестве бортинженера корабля «Союз-16» выполнил второй космический полет.

Георгий Иванов Иванов родился 2 июля 1940 года в городе Ловеч (Болгария). В 1958 году он окончил среднюю школу, а в 1964 — Высшее народное военно-воздушное училище имени Георгия Бенковского. Получил диплом летчика-инженера. После окончания училища служил в авиационных частях Болгарской народной армии. С марта 1978 года он приступил к подготовке к пилотируемому космическому полету по программе «Интеркосмос» в Центре подготовки космонавтов имени Ю. А. Гагарина. Г. И. Иванов прошел полный курс обучения по программе пилотируемого корабля «Союз» и орбитальной станции «Салют».

11 апреля в соответствии с программой полета международного экипажа в 21 час 54 минуты московского времени было начато сближение корабля «Союз-33» с орбитальным комплексом «Салют-6» — «Союз-32». Поскольку возникли отклонения от штатного режима в работе сближающе-корректирующей двигательной установки корабля «Союз-33», стыковка корабля со станцией «Салют-6» была отменена.

(Продолжение на 3-й стр. обложки)



**«ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ»
ПОЗДРАВЛЯЕТ
АСТРОНОМОВ,
ГЕОФИЗИКОВ
И ИССЛЕДОВАТЕЛЕЙ
КОСМИЧЕСКОГО
ПРОСТРАНСТВА —
НОВЫХ ЧЛЕНОВ
АКАДЕМИИ НАУК СССР**

Академик **Всeвoлoд Сeргeeвич Aвдyевский** (механика)

Академик **Олeг Микхайлович Белoцepкoвский** (аэродинамика и вычислительная техника)

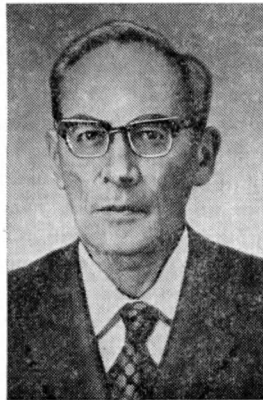


Академик **Евгeний Микхайлович Лифшиц** (теоретическая физика)

Академик **Владимир Александрович Магницкий** (геофизика твердой оболочки)

Член-корреспондент АН СССР **Артем Арамович Геoдeкян** (геология нефти и газа)

Член-корреспондент АН СССР **Геoргий Сeргeeвич Голицын** (физика атмосферы и океана)



Член-корреспондент АН СССР **Владимир Григорьевич Корт** (физическая океанология)

Член-корреспондент АН СССР **Сeргей Лeонидович Мaндельштам** (спектроскопия, рентгеновское излучение Солнца)

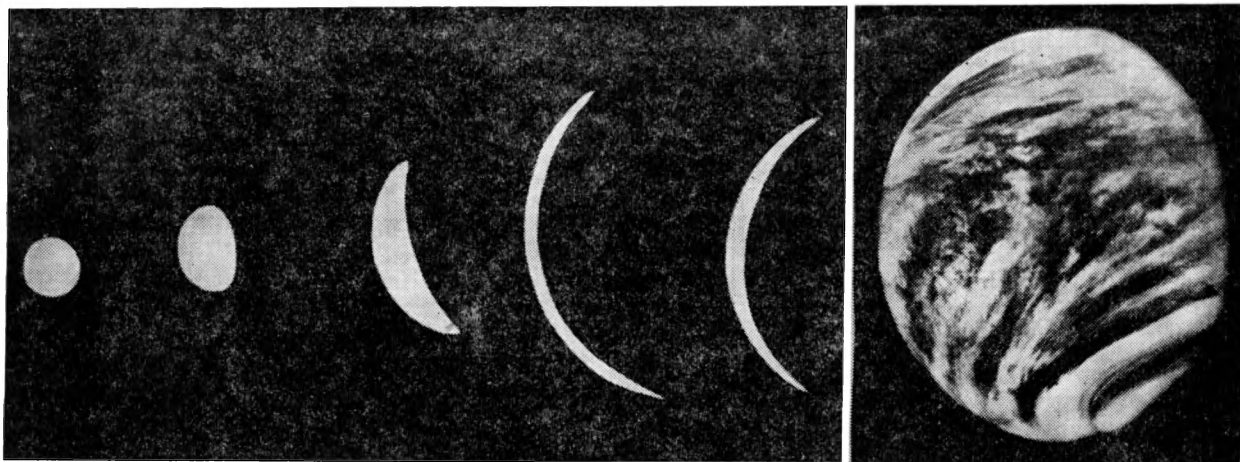
Член-корреспондент АН СССР **Юрий Николаевич Парийский** (радиоастрономия)

Член-корреспондент АН СССР **Евгeний Кириллович Харадзе** (звездная астрономия)



Доктор физико-математических наук
Л. В. КСАНФОМАЛИТИ

Новые исследования Венеры



НОВЫЕ ЭКСПЕДИЦИИ

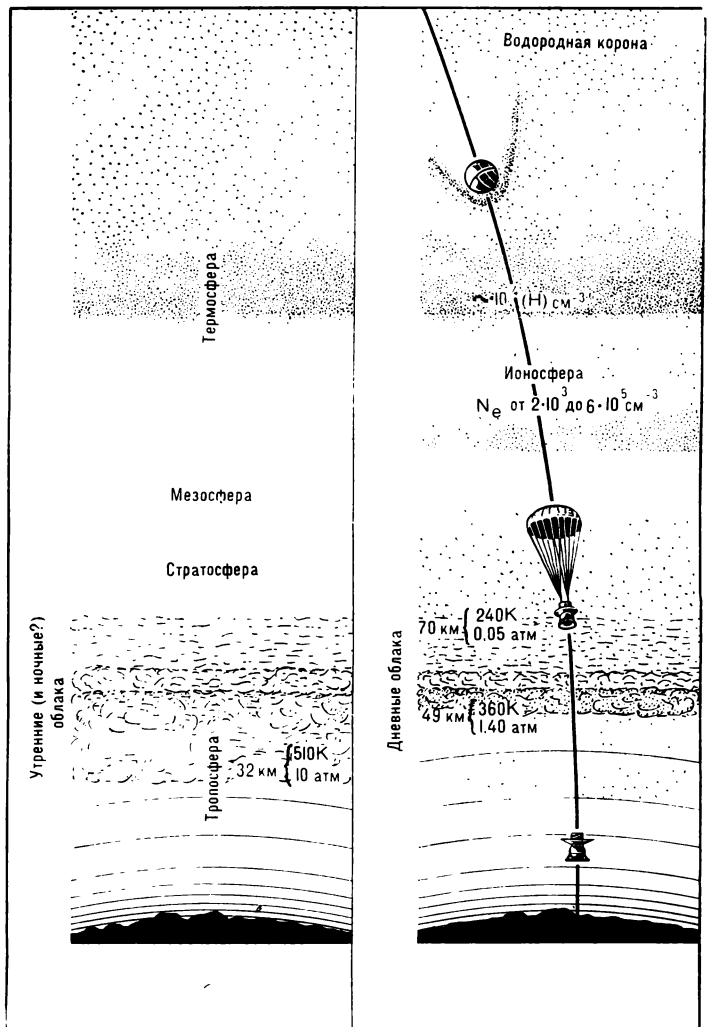
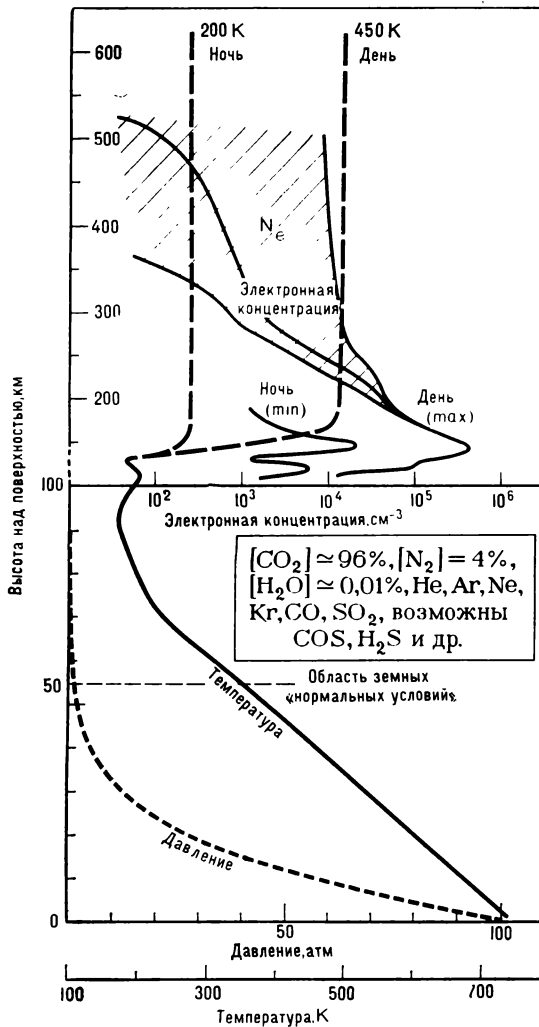
Подготовка экспериментов на советских и американских аппаратах шла независимо. Однако научные цели, которые стояли перед исследователями Венеры, диктовали проведение сходных экспериментов. Приборами для химического анализа атмосферы — масс-спектрометрами и газовыми хроматографами — были оборудованы как советские, так и американские аппараты. Задача эта решалась большими коллективами исследователей. Их возглавляли у нас В. Г. Истомин и Л. М. Мухин, у американцев — Дж. Хофман с коллегами и В. Ояма с коллегами. Химический анализ частиц облаков выполнялся только на «Венерах» рентгеновским флуоресцентным методом. Руководил экспериментом Ю. А. Сурков. Структура облачного слоя и физические свойства частиц облаков анализировались нефелометрами —

В 1978 году два советских космических аппарата «Венера-11 и -12» вновь исследовали Венеру. До них семь советских аппаратов зондировали атмосферу этой планеты. В 1978 году был осуществлен и первый американский эксперимент по прямому зондированию атмосферы Венеры с аппаратов «Пионер — Венера».

устройствами, измеряющими мутность среды. Советским экспериментом руководил М. Я. Маров, американским — Б. Рэдгент (США) и Ж. Бламон (Франция). На «Пионер — Венере» был установлен специальный прибор для исследований спектра размеров аэрозольных частиц. Руководители эксперимента — Р. Нолленберг и Д. Хантен. Во время спуска зонды «Пионер — Венеры» измеряли солнечную радиацию, рассеянное и собственное излучение атмосферы и

поверхности; руководил этой работой М. Томаско. Подобные приборы использовались на аппаратах серии «Венера» в 1972 и 1975 годах, но в 1978 году советские ученые применили гораздо более сложный сканирующий спектрофотометр диапазона 4000—12 000 Å. Руководил экспериментом В. И. Мороз. Только «Венера-11 и -12» были оборудованы приборами для регистрации возможных гроз на Венере и анализа электрической активности ее атмосферы; руководил исследованиями автор статьи. Научные эксперименты велись и на орбитальных отсеках аппаратов. Таким образом, арсенал науки, которым располагали советские и амери-

■
Фазы Венеры, наблюдаемые в телескоп, и изображение планеты в ультрафиолетовых лучах, полученное «Маринером-10» в 1974 году



канские зонды, был намного богаче, чем на предыдущих «Венерах», получивших тем не менее важную информацию («Земля и Вселенная», № 1, 1969, с. 10—19; № 3, 1971, с. 42—47; № 1, 1974, с. 33—37; № 3, 1976, с. 3—15.—Ред.).

Все аппараты от «Венеры-4» до «Венеры-10» показывали, что температура и давление у поверхности планеты (на уровне радиуса 6052 км) очень высокие — около 750 К и 93 кг/см². Если аппарат опускался на

возвышенность, давление и температура оказывались более низкими. Так, «Венера-11» зарегистрировала в момент посадки температуру 727 К и давление 87 кг/см².

Масса атмосферы Венеры велика — она в 100 раз массивнее земной атмосферы и составляет около 10⁻⁴ всей массы планеты. (Напомним, что общая масса атмосферы Земли около 5,3 · 10²¹ г, то есть равна примерно 10⁻⁸ массы Земли.) Еще недавно Венеру и Землю считали, если не близнецами, то планетами-сестрами. В самом деле, масса Венеры равна 0,815 массы Земли, их средние плотности — 5,24 и 5,52 г/см³, соответственно, поэтому предполагалось, что и состав недр обеих планет должен

быть сходным. Количество поглощаемой планетами солнечной энергии почти одинаково; хотя Венера и ближе к Солнцу, ее облака отражают большую долю солнечной радиации.

Вместе с тем, исследования показали, что Венера отличается от Земли не только высоким давлением и температурой у поверхности, составом и массой атмосферы (все эти характеристики взаимосвязаны). Недавно методом наземной радиолокации удалось измерить действительную

Высотные профили температуры, давления и электронной концентрации в атмосфере Венеры. Указан химический состав атмосферы

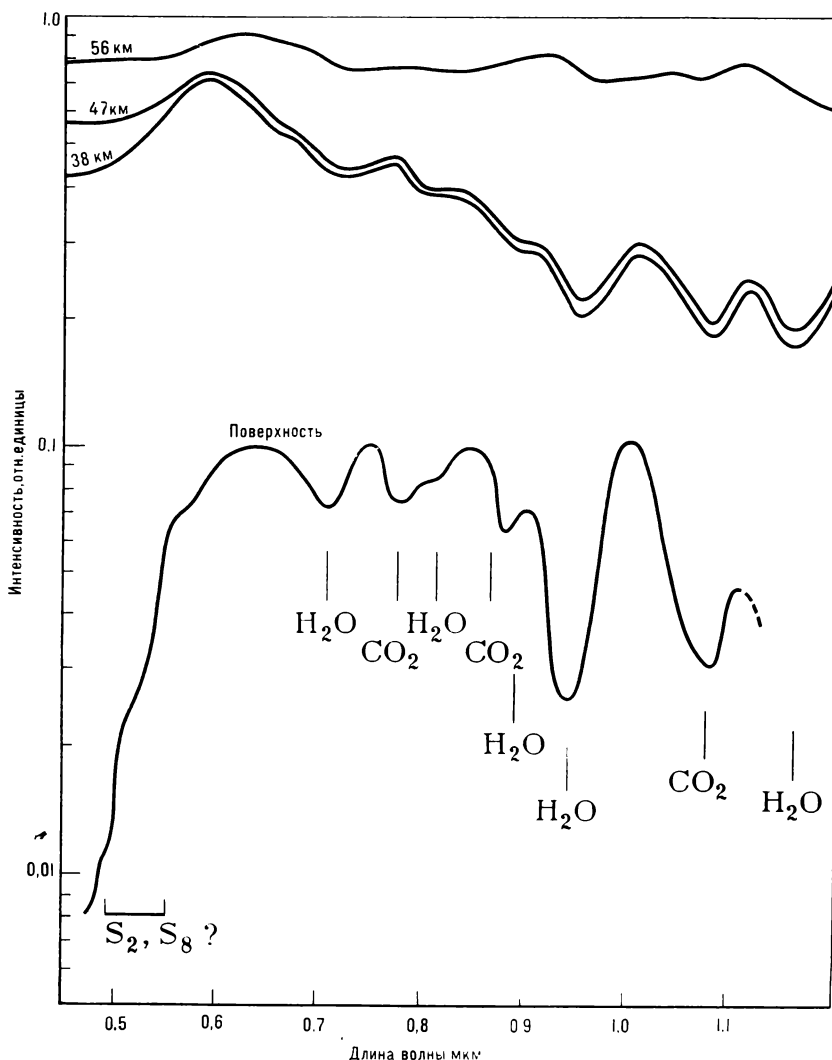
Структура атмосферы Венеры ночью (слева) и днем. Изображен спуск космического аппарата в атмосфере

продолжительность венерианских суток. День и ночь на Венере длятся по 59 земных суток, период вращения (его направление противоположно вращению Земли) составляет 243 земных суток и превышает венерианский год (225 суток).

ПАРНИКОВЫЙ ЭФФЕКТ

В океанах нашей планеты очень много воды — $1,35 \cdot 10^{24}$ г. Если бы температура Земли повысилась настолько, что океаны испарились бы, давление в земной атмосфере возросло бы за счет водяного пара до 760 кг/см^2 . На Венере, конечно, не может быть никаких океанов. Ведь температура ее поверхности настолько высока, что в глубоких долинах в темноте можно даже видеть темно-красное свечение раскаленной поверхности. Но как это ни удивительно, в атмосфере Венеры тоже почти нет паров воды: по данным В. И. Мороза, полученным «Венерой-9 и -10» в 1975 году, их относительное объемное содержание близко к 10^{-4} . Еще меньшее значение дали измерения «Венеры-11 и -12»: около $3 \cdot 10^{-5}$. **Дефицит воды на Венере** (или обилие воды на Земле) — одна из наиболее трудных загадок планеты, если допустить, что протопланетный материал, из которого формировались Венера и Земля, имел одинаковый состав.

Разогрев атмосферы Венеры ученые объясняют **парниковым эффектом**. Солнечные лучи проникают довольно глубоко в атмосферу планеты, отчасти поглощаясь облаками и газовой средой. Несколько процентов излучения достигают поверхности и поглощаются. Если планета не становится горячее день ото дня, значит, в космос излучается столько же энергии, сколько поглощается. Как известно, планета излучает в длинноволновом тепловом диапазоне. Здесь, в инфракрасной области, углекислый газ с примесью небольшого количества паров воды мало прозрачен. Чтобы достаточная часть излучения прошла сквозь малопрозрачную среду, источник должен быть очень ярким. Именно поэтому

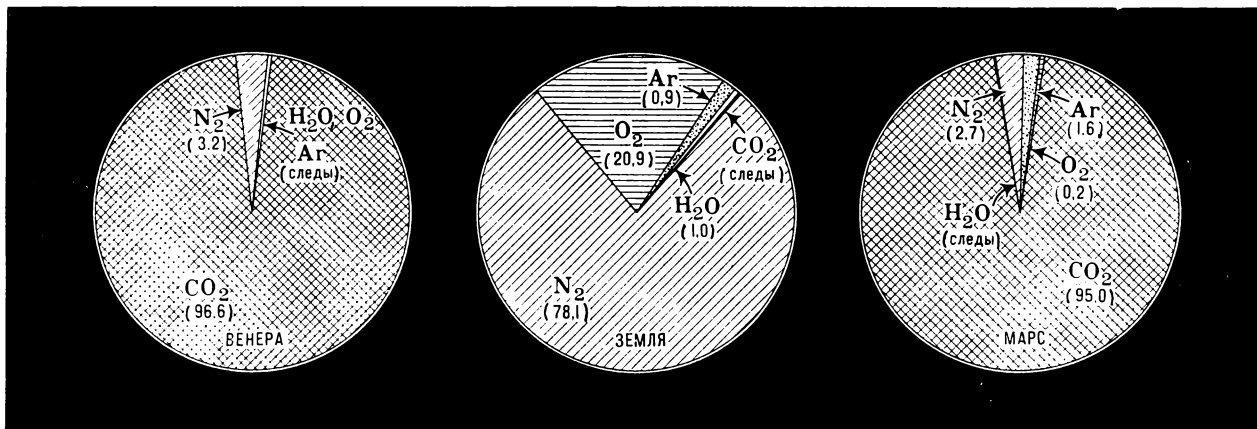


температура поверхности и нижних слоев атмосферы так высока. Если бы водяного пара было больше, температура поднялась бы еще выше.

Подробный анализ парникового эффекта требует тщательных спектральных измерений по всей высоте атмосферы. Кроме того, необходимо знать угловые характеристики рассеяния — яркость рассеивающей и поглощающей среды во всех направлениях. Именно такой эксперимент был поставлен советскими учеными. Получена ценнейшая информация о структуре атмосферы. Нижняя граница облачного слоя лежит на высоте 48—50 км. Сами облака ослабляют свет всего в 2 раза. Ниже уровня 48 км из-за высокой плотности атмо-

сферы свет, достигающий поверхности, ослабляется еще в 10 раз. Есть основания полагать, что протяженность облаков изменяется в течение венерианских суток.

■ *Спектры рассеянного солнечного излучения, полученные на различных высотах при спуске аппаратов «Венера-11 и -12» и с поверхности Венеры (нижняя кривая). В точке посадки «Венеры-11» температура достигала 727 К, а давление 87 кг/см². Большинство полос в спектре принадлежит углекислому газу и парам воды, слабые полосы были отождествлены с парами серы. Сера в атмосфере Венеры обнаружена впервые*



Спектры рассеянного солнечного света, полученные с поверхности Венеры, имеют много характерных полос, которые принадлежат в основном углекислому газу и парам воды. Нескольким полос в сине-зеленой части спектра В. И. Морозу удалось путем лабораторных измерений отождествить с парами серы.

Еще в 1967 году приборы «Венеры-4» обнаружили, что в атмосфере Венеры не менее 90% углекислого газа. Дальнейшие измерения увеличили эту оценку до 95%. Анализ малых составляющих атмосферы как на советских, так и на американских аппаратах должен был разъяснить, что представляют собой оставшиеся 4—5% венерианской атмосферы. Все аппараты показали, что в атмосфере содержится азот (3,5—4%), инертные газы, из которых на первом месте аргон (около 0,01%), в 10 раз меньше неона, в 200 раз меньше криптона (его обнаружили только «Венеры»). Найден гелий, его в несколько тысяч раз больше в венерианской ат-

мосфере, чем в земной. Обнаружены также хлор, сера, сернистый газ и ряд других соединений.

Изотопный состав аргона на Венере стал научной сенсацией. В земной атмосфере аргон составляет 1%. Из этого процента 0,996 приходится на аргон-40 (он образуется при радиоактивном распаде содержащегося в земной коре калия-40), 0,003 — на аргон-36 и 0,0006 — на аргон-38. Последние два изотопа достались Земле, вероятно, с протопланетным веществом на стадии формирования планеты. Если условия образования Земли и Венеры были сходными, то удивительно, что в венерианской атмосфере изотопный состав аргона оказался другим: аргона-40 там примерно столько же, сколько в сумме аргона-36 и аргона-38. Не связано ли это, как и дефицит воды, с неизвестными нам особенностями в формировании планет?

ОБЛАКА ИЗ ТУМАНА

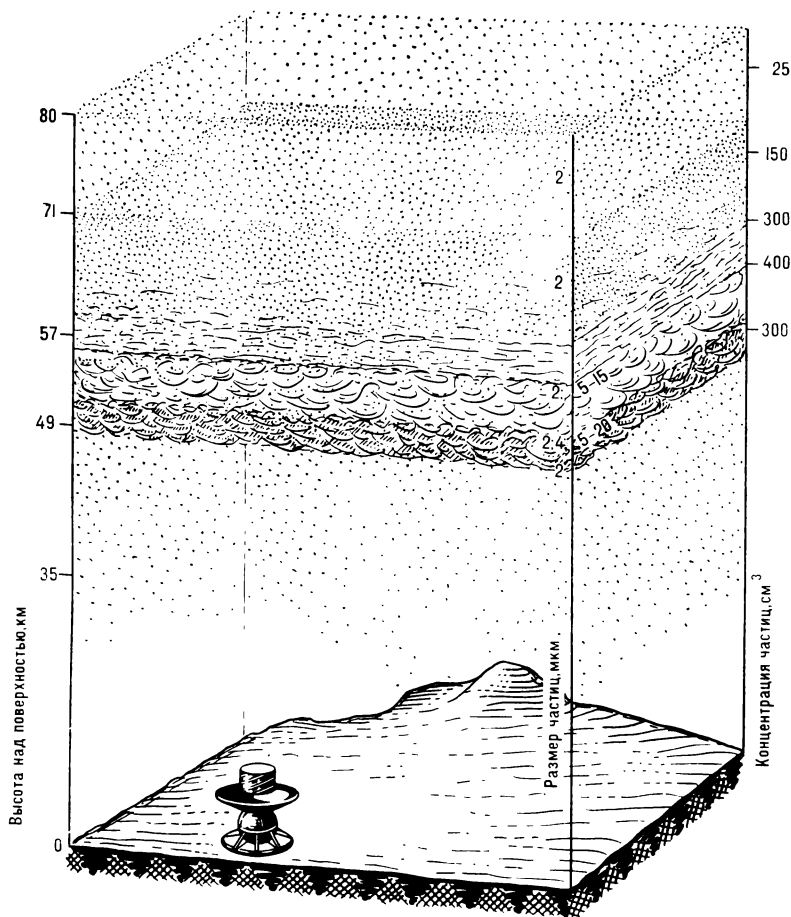
Облака Венеры располагаются в интервале высот 48—72 км. По существу, это не облака, а средней плотности туман, в котором полностью видности (есть такое метеорологическое понятие) составляет несколько километров.

Предложенная в 1972 году Г. Силлом и в 1973 году супругами Л. и Э. Янг (США) гипотеза о серно-кислотном составе облаков быстро завоевала популярность («Земля и Вселенная», № 3, 1976, с. 3—15.—

Ред.). Коэффициент преломления частиц, близкий к 1,44, и их жидкое состояние при температуре 233 К были известны из наземных поляризметрических и радиометрических наблюдений. Эти особенности частиц легко объяснялись в рамках следующей модели: частицы представляют собой мельчайшие капли 75-процентной H₂SO₄, размер их около 2 мкм, причем все капли, концентрация которых в среднем около 300 см⁻³, имеют примерно одни и те же размеры. Стоит обратить внимание на эту странную особенность. Ведь капли в облаках Земли постепенно укрупняются, а спектр их размеров расширяется. Происходит это под действием конденсации и в результате слияний — коагуляции и коалесценции. Коагуляция приводит к слиянию в результате теплового (броуновского) движения частиц, коалесценция — в результате падения частиц с разными скоростями в гравитационном поле Земли. Было ясно, что примерно одинаковые размеры частиц в верхнем слое облаков Венеры указывают на что-то важное.

В дальнейшем оказалось, что состав облаков Венеры сложнее, чем предполагали. По-видимому, там есть более крупные, но малочисленные твердые частицы, вероятно, частицы серы. Нефелометрические измерения, выполненные на станциях «Венера-9, -10, -11, -12» и аппаратах «Пионер — Венера», а также изучение спектра размеров частиц приборами «Пионер — Венеры» показа-

■
 Диаграмма, демонстрирующая содержание основных газов в нижней атмосфере Венеры, Земли и Марса. (Рисунок из журнала «Sky and Telescope», 57, 2, 1979.) По мнению советских ученых, присутствие кислорода в тропосфере Венеры сомнительно. Указанное на схеме содержание азота несколько ниже результатов масс-спектрометрических измерений на «Венере-11 и -12» (4%)



ли, что на высотах 51—55 км, наряду с мелкими каплями, появляются твердые аэрозоли размером 5—15 мкм. На высотах 48—51 км состав размеров частиц еще усложняется.

Здесь встречаются капли размером 2, 4 и 5—15 мкм. Ниже уровня 48 км дном отмечены очень тонкие (50—300 м) полосы облаков, состоящие только из самых мелких частиц. Предполагается, что крупные частицы на высоте 48 км уже растаяли и испарились. Температура в этой области атмосферы близка к 370 К, а давление около 1,5 кг/см². Еще ниже, до 32 км, в атмосфере присутствуют в малом количестве мелкие частицы.

На высоте 32 км в атмосфере Вене-

ры проходит загадочная граница, ниже которой встречаются такие соединения серы, как COS и H₂S и аллотропы серы, а выше — SO₂. Высказано предположение, что здесь окислительные процессы сменяются восстановительными. Интересно, что рано утром (по венерианскому местному времени) «Венера-8» обнаружила нижнюю границу облаков именно на высоте 32 км.

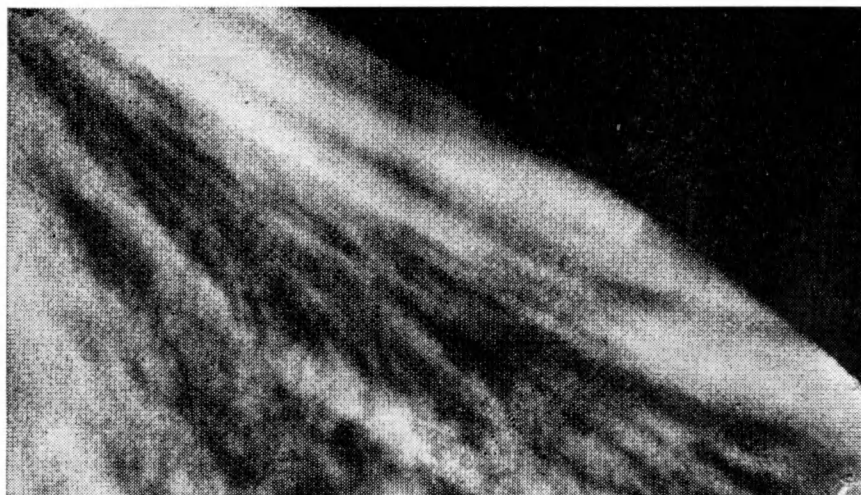
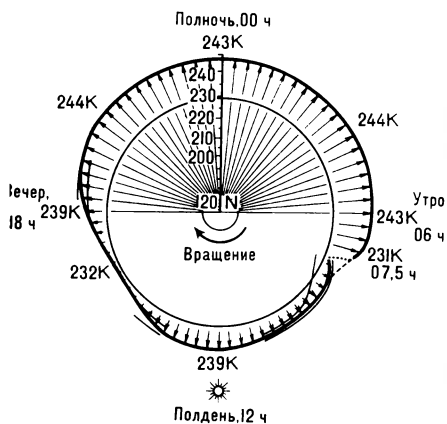
Как образуется сернокислотный аэрозоль из газообразных компонентов, пока до конца не ясно. Некоторые сведения о происхождении аэрозольной среды удалось получить из радиометрического эксперимента, проведенного на «Венере-9 и -10» в 1975—1976 годах. Все тепловое излучение Венеры, уходящее в космос, формируется в верхней части ее облачного слоя, температура которой

близка к 240 К. Было установлено, что ночная сторона Венеры имела яркостную температуру* на 12° выше вечерней и на 6° выше температуры дневной стороны планеты. Минимальная температура 232 К наблюдалась в 16 часов. В полдень температура выше, 239 К, ночью она достигает 244 К. Расчеты показали, что одним перемещением границы верхней части облачного слоя объяснить такой странный ход яркостной температуры не удается. Вероятнее всего, эти изменения связаны с фотохимическими процессами образования сернокислотных частиц в стратосфере Венеры — надоблачной части атмосферы, расположенной на высотах 70—90 км. Не вызывает сомнений, что рождение и разрушение аэрозольных частиц облаков находится в динамическом равновесии с окружающей средой. Как уже отмечалось, размеры частиц в венерианских облаках удивительно однородны в отличие от земных облаков. Это значит, что мы видим слой из недавно образовавшихся частиц, иначе их однородность была бы нарушена в процессе слияний частиц. Так как мы наблюдаем самую внешнюю часть облачного покрова, напрашивается вывод, что эти частицы падают откуда-то сверху, где они и возникают. Из чего же рождается этот сернокислотный «дождь»?

Недавно было показано, что под действием ультрафиолетовых лучей Солнца фотохимические превращения газообразных соединений серы в надоблачной атмосфере, где остается небольшое количество паров воды, должны привести в конечном счете к появлению сернокислотных капель. Процесс образования такого «дождя», падающего на облака, очень медленный. За весь венерианский день в 1 см³ атмосферы формируется всего 25 капель диаметром 1,5 мкм, но это число капель уже хо-

* Яркостной температурой объекта называют температуру абсолютно черного тела, имеющего в данном спектральном интервале такую же яркость, как исследуемый объект.

Схема строения дневного облачного слоя Венеры



рошо объясняет наблюдаемые изменения яркостной температуры.

Такой ход рассуждений привел автора к гипотезе, которую можно упрощенно изложить следующим образом. Утром стратосфера Венеры прозрачна, но к полудню в результате фотохимических процессов в ней появляется уже довольно много частиц. Так как температура стратосферы ниже, чем в излучающем слое облаков, идущее снизу тепловое излучение заметно ослабляется этой средой. Наибольшая концентрация частиц достигается к 16 часам местного времени, чем и объясняется вечерний минимум яркостных температур. Ночью, когда фотохимические процессы не действуют, небо снова становится прозрачным и яркостная температура поднимается до максимальной величины. Таким образом, измеряемые температуры связаны с рождением и составом аэрозольных частиц. Разумеется, могут наблюдаться местные неоднородности и даже, возможно, многолетние колебания в интенсивности таких процессов. Орбитальный аппарат «Пионер — Венера» зарегистрировал обширную холодную область с температурой 215 К у Северного полюса планеты, в то

■ *Распределение яркостных температур в экваториальном поясе Венеры по данным «Венеры-9 и -10». Излучение исходит от верхней части облаков, расположенных на высоте 65—70 км. Интенсивность теплового излучения соответствует длине стрелок. Ночная сторона планеты теплее дневной*

время как яркостная температура окружающего района была 240 К. В 1975—1976 годах «Венера-9 и -10» дали среднюю по планете температуру 240,3 К, на основе которой было рассчитано радиометрическое альbedo планеты 0,79.

Интересно, что многие характеристики Венеры, например распределение теплового излучения планеты, кажутся не вполне постоянными. Заметна изменчивость контрастности темных полос на диске Венеры, наблюдаемых в ультрафиолетовых лучах. Иногда полосы видны очень четко, как на телевизионных снимках «Венеры-9» и «Маринера-10», но порой никакие детали различить нельзя, как было в самом начале работы аппарата «Пионер — Венера». Происхождение контрастных полос и их способность сохраняться в течение 10 земных суток и более не вполне понятны. Не исключено, что и темные, и светлые детали расположены на одних высотах и связаны с местным выносом из тропосферы каких-то газообразных компонентов, например SO_2 .

Несколько слов о небе Венеры. Как оно выглядит с поверхности планеты? Днем небо яркое, красно-оранжевого оттенка. По данным аппаратов серии «Венера», Солнце сквозь облачный слой неразличимо. Есть некоторые основания предполагать, что вблизи полудня оптическая толща

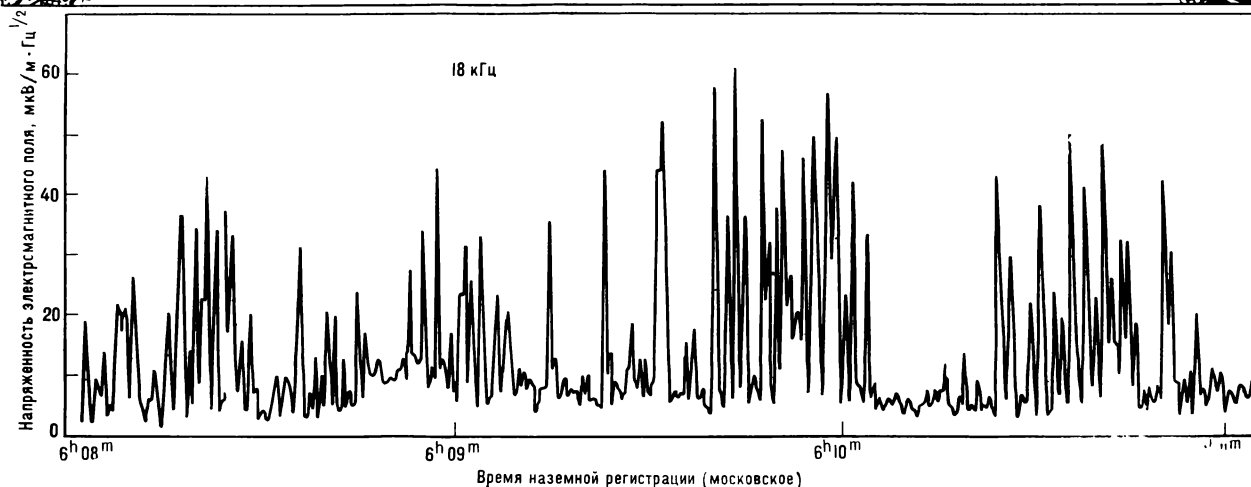
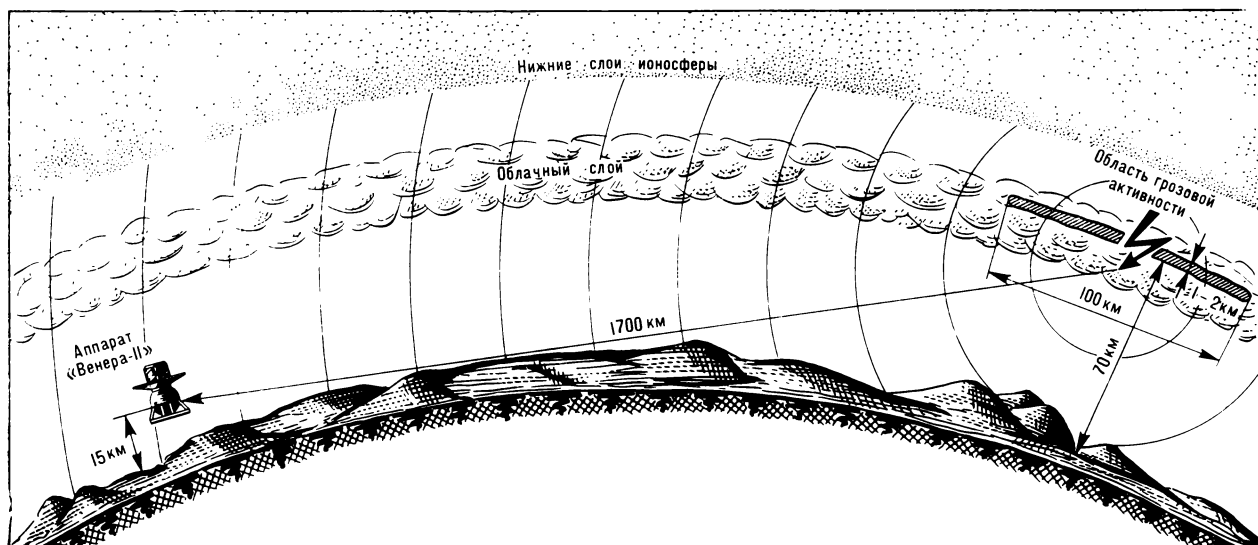
облаков становится меньше. Но такие прояснения, когда солнечный диск можно было бы видеть с поверхности планеты, маловероятны.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ РАЗРЯДЫ НАД ВЕНЕРОЙ

До сих пор отсутствовали сведения о существовании гроз на других планетах, хотя такие предположения высказывались. Например, была попытка объяснить всплески радиоизлучения Юпитера чудовищными молниями в его атмосфере. Но энергия этих разрядов должна быть неправдоподобно большой, чтобы радиоволны от них достигали Земли и создавали ощутимый сигнал.

Радиоизлучение Венеры открыто около 25 лет назад. Оно исходит от сильно нагретых атмосферы и поверхности планеты («Земля и Вселенная», № 2, 1966, с. 14—19.—Ред.) и к электрическим разрядам отношения не имеет. По мере углубления знаний о составе атмосферы возник вопрос: как образуются некоторые ее малые составляющие? Можно предположить, например, что их происхождение обусловлено электрическими разрядами. Напомним, что под действием молний в земной тро-

■ *Контрастные ультрафиолетовые детали облачного слоя Венеры. Телевизионный снимок «Венеры-9»*



посфере образуются озон, окислы азота и ряд других соединений.

Известно странное явление, о котором с давних пор сообщали астрономы: иногда ночная сторона Венеры слегка светится. Естественных спутников у планеты нет, поэтому свечение можно связывать только с самой планетой. В 1954 году Н. А. Козырев сумел даже получить спектрограмму свечения. А в 1975 году приборы «Венеры-9 и -10» в эксперименте, проводившемся В. А. Краснопольским, обнаружили еще один вид свечения ночной стороны планеты. Но оно оказалось слишком слабым, чтобы его можно было увидеть с Земли. Тогда же было высказано полуфантастическое предположение: нерегулярное свечение объясняется

вспышками молний в атмосфере планеты. Но, чтобы видеть такое свечение с Земли, молний, согласно расчетам, должно быть очень много. Кстати, энергия, которая освобождается при вспышке молнии над Землей, в среднем составляет 10^{15} — 10^{16} эрг. Над всей Землей наблюдается около 100 молний в секунду. Если на Венере их в тысячи раз больше, свечение, действительно, можно увидеть с Земли. Но бывают ли молнии на Венере?

Схема регистрации аппаратом «Венера» радиошумов от грозовой облака в венерианской атмосфере. Внизу — запись радиошумов на частоте 18 кГц

Для регистрации электрических разрядов на «Венере-11 и -12» был установлен миниатюрный радиоприемник-спектроанализатор длинных и сверхдлинных волн. Он обладал высокой чувствительностью и широким динамическим диапазоном, ведь эксперимент готовился вслепую, без каких-либо исходных данных. Ранним утром 21 декабря 1978 года «Венера-12» опускалась в атмосферу планеты. Через 9 минут после включения прибора появился первый пакет импульсов примерно из сотни разрядов, еще через 8 минут — второй. Если бы не слишком частые импульсы, можно было бы сказать, что сигнал схож на разряды далекой земной грозы. По мере приближения аппарата к поверхности амплитуда

регистрируемых радиозумов стала падать, а после посадки снизилась до уровня шумов приемника. Поскольку слабые разряды могли образоваться и в результате электризации аппарата при его движении в атмосфере со скоростью до 10 м/с, обнаруженное явление могло быть, как говорили в старину, артефактом. Но на 32-й минуте после посадки была зарегистрирована большая группа импульсов — единственная за все 110 минут работы прибора на огнедышащей поверхности Венеры.

Утром 25 декабря по такой же точной трассе, практически в тот же район планеты опускалась «Венера-11». Но насколько непохожими оказались регистрируемые явления! В этот день наблюдалась сильнейшая электрическая буря, каждую секунду происходило 20—30 мощных разрядов. Через несколько минут буря утихла, но на очереди была уже следующая. Частота разрядов намного превышала типичное для земных гроз значение. Если можно сравнивать характеристики напряженности электромагнитного поля разрядов на Венере и на Земле, то источник радиозумов должен быть удален от «Венеры-11» на тысячи километров.

Вскоре удалось показать, что низкочастотные радиозумы связаны с происходящими в атмосфере электрическими процессами. Атмосферные помехи, которые были первыми радиосигналами, зарегистрированными радиоприемником А. С. Попова на Земле, существуют и на Венере!

Поскольку эксперимент «Гроза» (так назывался поиск электрических разрядов с борта «Венеры-11 и -12») выполнялся впервые, большие трудности представляла обработка его результатов. В самом деле, зарегистрировано несколько тысяч коротких импульсов от разрядов, сгруппированных в отдельные всплески радиозумов в диапазоне 10—100 кГц. Как же, располагая этими записями, добраться до природы самого явления? Ключевой оказалась группа всплесков, повторявшихся с периодами 50—60 секунд. Так как аппарат медленно вращался при спуске, а приемная антенна была направленной, периодичность можно объяс-

нить возникающей при этом модуляцией радиозумов от источника малых угловых размеров. Сопоставление периода всплесков со скоростью вращения аппарата подтвердило такое предположение, что позволило найти угловые размеры источника (всего 5°).

Затем была вычислена энергия разрядов по измеренной напряженности электромагнитного поля. Расчеты делались для разных вариантов расположения источника. Наблюдаемая напряженность электромагнитного поля лучше всего соответствует условию, когда источник с энергией, типичной для земной молнии (10^{15} эрг), удален на 1700 км от аппарата. Но возможен ли на Венере прием радиосигналов от столь удаленного источника? Наземная радиотехника искусно использует волноводный канал ионосфера — поверхность для приема сигналов дальних радиостанций. Достаточно плотная ионосфера на дневной стороне Венеры, казалось бы, также должна способствовать дальнейшему распространению радиоволн сверхдлинного диапазона. Вместе с тем, и «Венера-11», и «Венера-12» регистрировали глубокое падение напряженности электромагнитного поля у поверхности планеты, что может быть вызвано каким-то механизмом поглощения радиоволн. Поэтому рассматривалась только прямая волна, когда прием излучения зависит лишь от высоты приемника и источника излучения. Так как в момент регистрации радиозумов аппарат находился на высоте 15 км, источник, расположенный на расстоянии 1600 км, мог быть виден, если его высота составляла 70 км (облачный слой!). Этот источник вскоре должен был исчезнуть за радиогоризонтом, поскольку аппарат опускался со скоростью 1 км/мин. Регистраграмма это подтвердила. Источником радиозумов оказалась область с горизонтальной протяженностью около 100 км и толщиной всего 1—2 км, расположенная на высоте 60—70 км. Таким образом, и на Венере грозы имеют локальный характер (во всяком случае, так было 21 и 25 декабря 1978 года).

А как же со свечением ночной сто-

роны планеты? Частота разрядов в наблюдавшемся на Венере грозовом фронте в сотни раз выше, чем на Земле. Поэтому в периоды повышенной грозовой активности на Венере, когда грозами охвачена большая площадь, ночное свечение, по мнению автора, может объясняться молниями!

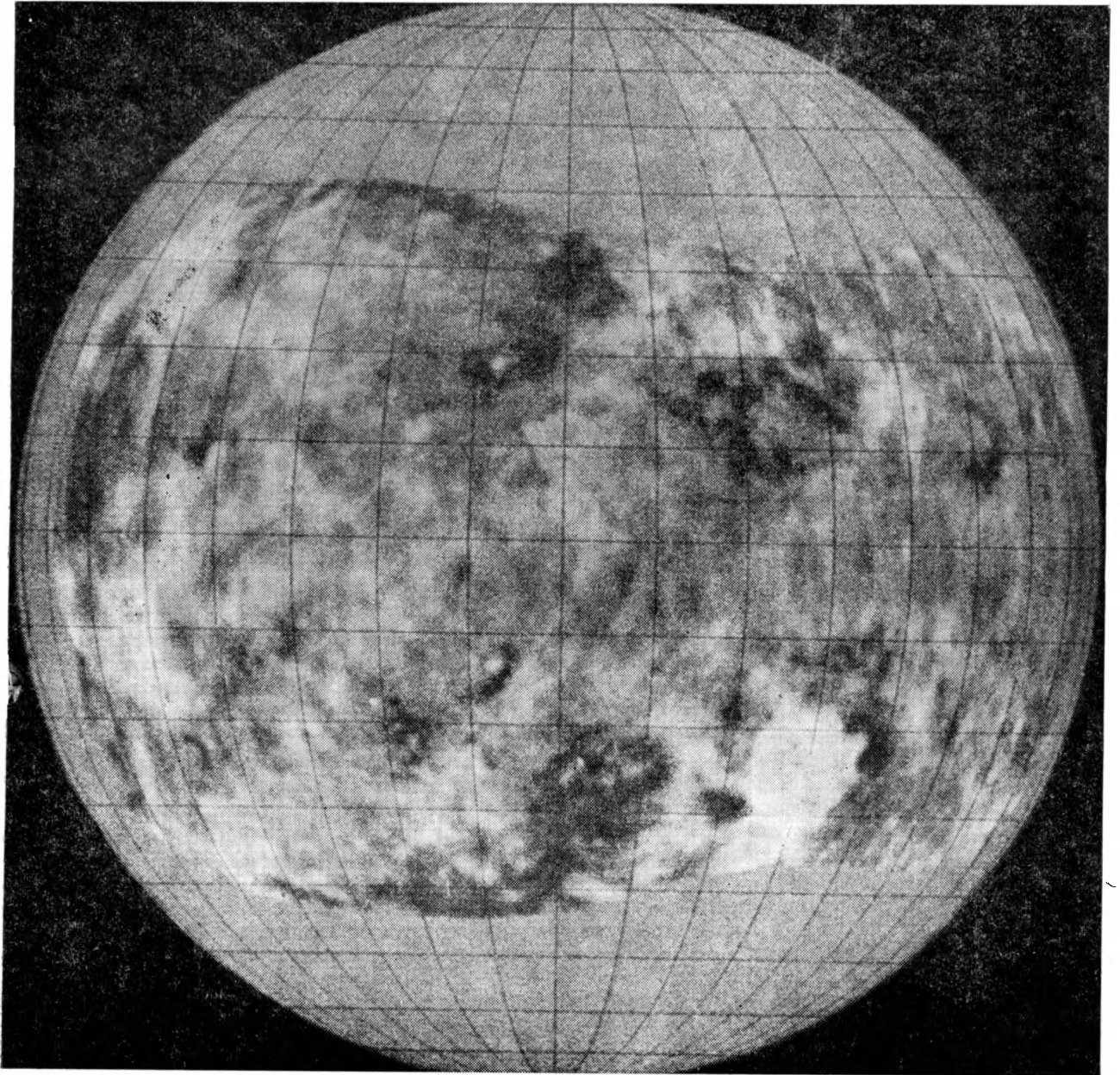
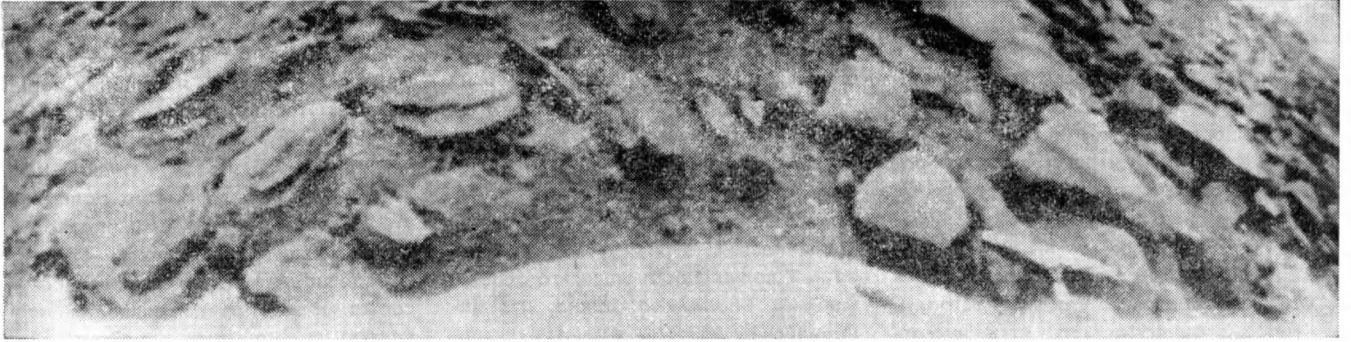
ПОВЕРХНОСТЬ ПЛАНЕТЫ

По данным радиолокации, на поверхности Венеры не менее трех протяженных горных хребтов. Напомним, что в 1975 году «Венера-9» опустилась на горный склон, покрытый крупными камнями. Панорама с видом этой осыпи позволила ученым сделать заключение о тектонической активности коры планеты, ведь эти камни не могут быть очень старыми образованиями. Несмотря на постоянство физических условий у поверхности планеты, где в течение суток температура изменяется не больше, чем на градус, а осадков вовсе не бывает (какие дожди могут идти при 460 °С!), за длительное время рельеф все же разрушается. Пыль, темная как сажа, покрывает поверхность планеты. В момент посадки «Венеры-9» было отмечено помутнение атмосферы на несколько минут: потревоженная пыль поднялась в «воздух». В 1978 году такое же явление наблюдалось при посадке зонда «Пионер — Венеры». Состав грунта, по данным «Венер», более или менее характерен для базальта.

Благодаря успехам радиолокационной техники и применению очад: сложной машинной обработки результатов радиолокации Венеры, ученым США удалось получить радиокарту значительной части одного полушария планеты. На карте представ-

Осыпь больших камней, разбросанных по склону венерианской горы. Сюда 22 октября 1975 года опустился аппарат «Венера-9»

Радиокарта полушария Венеры, к которой она обращена к Земле во время нижних соединений. Карта получена группой Р. Голдстейна (США) путем математической обработки сигналов наземной радиолокации



лено распределение коэффициента радиотражения поверхности планеты, величина которого связана как с неровностями поверхности, так и с различиями в диэлектрической проницаемости и проводимости грунта («Земля и Вселенная», № 1, 1977, с. 24—27.— Ред.). Тот же радиолокационный метод можно видоизменить таким образом, чтобы построить гипсометрические, то есть высотные карты. Разрешение по высоте на таких картах достигает сотни метров.

В некоторых районах Венеры обнаружены кратеры сравнительно правильной формы, похожие на метеоритные. Существование кратеров на поверхности Венеры рождает массу вопросов. Прежде всего, в плотной атмосфере метеорное тело должно тормозиться и испаряться. Недавно было показано, что метеорные тела с массой $2 \cdot 10^{11}$ г способны пробить атмосферу Венеры. А таких крупных тел очень мало. Большинство метеоритных кратеров могло образоваться на Венере в очень отдаленную эпоху, когда масса ее атмосферы была значительно меньше. Как известно, на Луне и Меркурии кратеры почти не разрушаются, на Марсе, с его разре-

женной атмосферой, процесс разрушения идет очень медленно. Зато на Земле метеоритные кратеры приходится искать, как говорится, днем с огнем: они быстро разрушаются под действием воды, ветра и изменений температуры. Чтобы рельеф Венеры сохранился с очень давних времен, на ней должны быть какие-то особые условия. Вполне возможно, что венерианские кратеры имеют вулканическое происхождение.

Радиоастрономы нашли на Венере узкую глубокую долину между двумя возвышенностями и обширную область, напоминающую лунные «моря». По-видимому, это — низменность, окантованная неровным гористым валом. Подобное образование, как полагают Д. Кэмпбелл и его коллеги (США), свидетельствует о **молодости рельефа Венеры** и ее тектонической активности. Напомним, что, согласно данным локаций поверхности планеты радиолучом основного радиопередатчика станций «Венера-9 и -10», перепады высот достигают 6 км.

Вероятно, на Венере, как на Земле, Марсе, Луне (и, наверное, Меркурии), существуют материковые обла-

сти и морские. Последние имеют меньшую плотность и толщину коры. Геологи утверждают, что уже на основании полученных данных можно считать Венеру **весьма активной планетой**. Некоторые из них полагают, что недра и кора Венеры проэволюционировали сильнее, чем земные. Интересно, что если бы химический состав обеих планет совпадал полностью, средняя плотность Венеры составляла бы 5,34 вместо 5,24 г/см³. Что же касается плотности поверхностных пород Венеры (1,8—2,9 г/см³), то она очень близка к плотности поверхностных пород Земли.

Каждая планета — это мир со своими физическими условиями, особенностями, своей эволюцией. Новые данные о планетах входят в фундаментальные сведения науки. Но этим значение космических исследований планет не ограничивается. Изучение других планет позволяет лучше понять эволюцию Земли, процессы, происходящие в ее недрах, океанах и атмосфере.

НАЗЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЕНЕРЫ

На ежегодной конференции отделения планетологии американского Астрономического общества в октябре — ноябре 1978 года был сделан ряд докладов о результатах исследования Венеры наземными средствами. Д. Кэмпбелл подвел итоги картографирования Венеры с помощью 300-метрового радиотелескопа в Аресибо. На волне 12,5 см было выполнено радиокартографирование большей части поверхности Венеры между широтами —50 и +70° и долготами 270 и 20°. Разрешение картированной области разное: от 5 км — для некоторых районов у экватора до 20 км — на высоких широтах. Выявлен ряд больших, темных, почти круглых районов с диа-

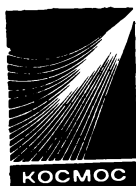
метрами, превышающими 1000 км. Многие из них выглядят так же, как и лунные моря в радиодиапазоне. Обнаружено более 20 ярко выраженных кратеров диаметром от 15 до 200 км. Примерно половина из них имеет центральный пик. Похоже, что из ранее известных высококонтрастных деталей только в южной части области Бета находятся большие кратероподобные структуры. В остальных содержатся детали неправильной формы. И только в области Альфа имеются явно выраженные почти параллельные линейные образования около 15 км шириной и длиной до сотен километров.

М. Белтон и С. Хэйес из обсерватории Китт Пик доложили о результатах наблюдений стратосферных движений на Венере с помощью высокодисперсной доплеровской спек-

троскопии. По их мнению, возможная ошибка в определении скорости движения характерных деталей в стратосфере Венеры уменьшилась в среднем до ± 15 м/с. Средняя скорость одиннадцати характерных «эталонов» на экваторе около 100 м/с, но имеются большие отклонения от нее — от 50 до 160 м/с.

Дж. Пехманн, Д. Мюлеман и Дж. Берг из Калифорнийского технологического института сообщили, что в результате наблюдений Венеры с использованием интерферометра в радиообсерватории в Оуэнс Вэлли, проводившихся на длине волны 6 см в мае 1977 года, были выявлены некоторые различия между экваториальными и полярными районами Венеры.

«Bulletin of the American Astronomical Society», 10, 3, 1978.

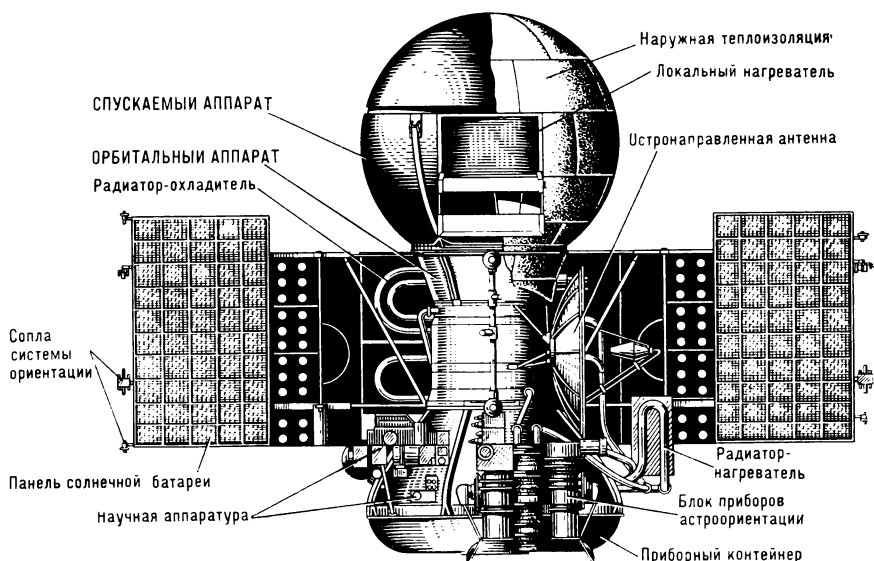


С. Ф. МОРОЗОВ

Межпланетные станции «Венера-11» и «Венера-12»

О решении некоторых проблем, стоявших перед конструкторами станций «Венера-11» и «Венера-12», рассказывается в статье.

Через восемь земных лет почти в одни и те же календарные сроки повторяются периоды, особенно удобные для запуска космических аппаратов в сторону «утренней звезды». Вообще говоря, окна для старта «открываются» через каждый синодический период, то есть через 584 дня. Но, к сожалению, не каждое из этих окон так удобно, как хотелось бы. Дело в том, что орбиты Земли и Венеры слегка эллиптические, а угол между их плоскостями почти $3,5^\circ$. Поэтому в разные окна старта суммарная скорость разгона к Венере и торможения для выхода на орбиту ее искусственного спутника внутри 8-летнего цикла различна. И только раз в восемь лет суммарная скорость достигает минимума. Именно по такой энергетически минимальной траектории проследовала к цели в 1967 году «Венера-4». И практически по тому же графику (старт в начале июня — финиш в конце октября) в 1975 году достигли Венеры автоматические межпланетные станции «Венера-9» и «Венера-10», которые, отделив тяжелые спускаемые аппараты, впервые вышли на орбиты искусственных спутников Венеры. Но в 1978 году для решения той же задачи требовалась существенно большая скорость — на 800 м/с! Это означало, что масса космического аппарата должна возрасти примерно на столько же килограм-



мов. А откуда взять эти 800 кг, если хочется сохранить схему полета и максимально использовать прежнюю технику? Пришлось, проектируя новые станции, изменить последовательность операций и сами операции в районе Венеры.

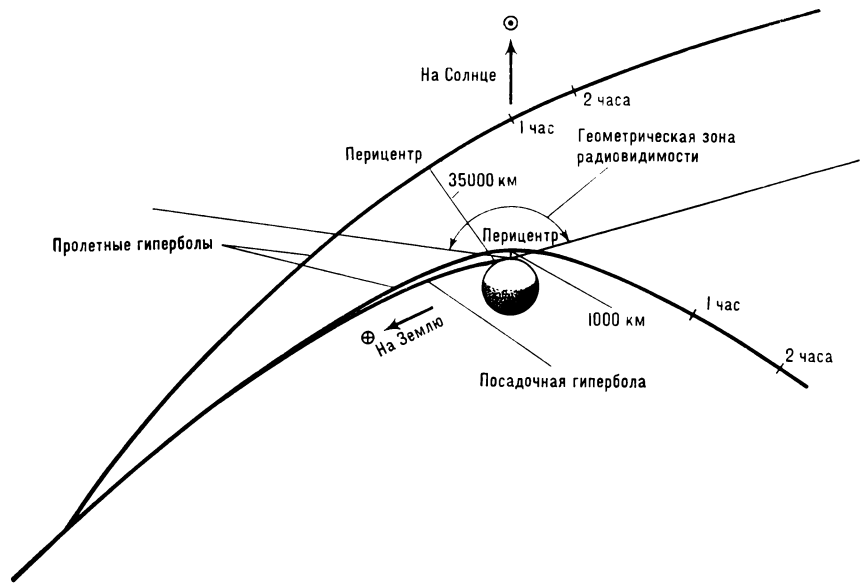
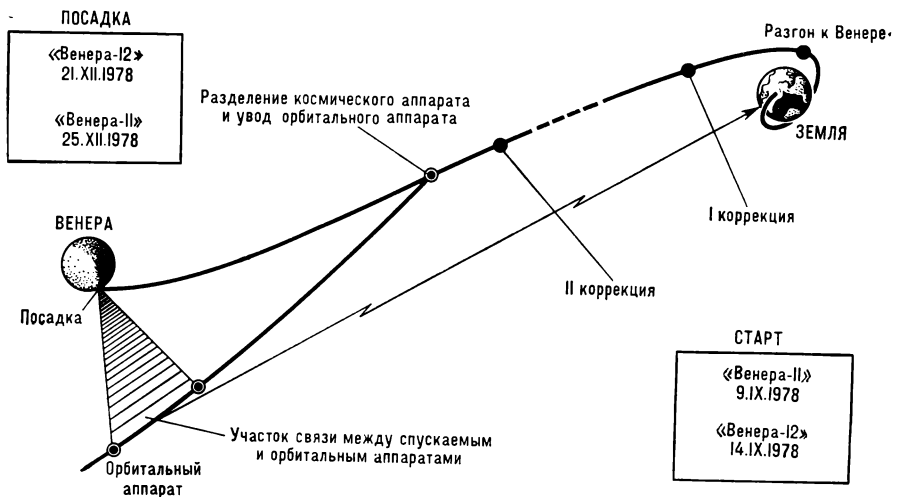
В качестве основной научной задачи исследования Венеры в 1978 году был выбран тонкий химический анализ ее атмосферы. Для этого на борту спускаемого аппарата предполагалось установить ряд новых уникальных приборов, которым нужно было обеспечить, во-первых, соответствующий «микроклимат» и, во-вторых, передачу на Землю всех дан-

ных, которые накапливаются в процессе работы научной аппаратуры. Пути решения первого вопроса конструкторам были известны: к 1978 году они имели богатейший опыт эксплуатации аналогичных, хотя, может быть, и менее сложных приборов, установленных на предыдущих межпланетных станциях. Но над проблемой передачи информации на Землю пришлось изрядно потрудиться, так как вывести на околопланетную орбиту, как в 1975 году, искусственный спутник не представлялось возможным по энергетическим соображениям. А ретранслятор необходим: некоторым приборам требовалась хорошая освещенность (например, оптическому спектрометру и фотометру), из-за чего расчетные точки входа в атмосферу невозможно было выбрать в благоприятных для свя-

Космическая станция «Венера-11» («Венера-12»)

зи с Землей районах. Кроме того, суммарная информативность спускаемого аппарата возросла до нескольких тысяч двоичных единиц информации в секунду. Если бы даже Земля и просматривалась с трассы спуска, то для прямой передачи данных с такими скоростями с колеблющегося, грубо ориентированного по местной вертикали спускаемого аппарата потребовалась бы чрезвычайно большая мощность передатчика.

Правда, аналогичные прецеденты имели место в 1973 году, когда станции «Марс-4, -5, -6, -7» одновременно со спускаемыми аппаратами вывести на орбиту искусственного спутника планеты было невозможно. Тогда информация со спускаемых аппаратов передавалась на пролетные аппараты, от которых за шесть часов до этого были отделены спускаемые блоки. Но выполнять подобные операции у Марса намного проще, чем у Венеры. Во-первых, его гравитационное поле значительно слабее венерианского, поэтому пролетный аппарат движется почти в 2 раза медленнее, чем мимо Венеры, и, следовательно, дольше остается в зоне, где возможны хорошие условия радиосвязи. Во-вторых, спуск в марсианской атмосфере занимает считанные минуты, и ретранслятор вряд ли уйдет дальше чем на 2000 км. На Венере ситуация иная: спуск в атмосфере занимает час, а за час аппарат при высоте перигея 1000 км пройдет по пролетной гиперболе около 20 000 км и вообще может скрыться за местный горизонт, покинув зону радиовидимости. А ведь необходимо оставить еще резерв времени, чтобы компенсировать возможные ошибки определения траектории и обеспечить работу на поверхности. Вывод был такой: для передачи информации на пролетный аппарат-ретранслятор с Венеры необходимо увеличивать потенциал радиолинии, чтобы обеспечить связь при расстояниях в десятки тысяч километров. А кроме того, нужно выбрать такую «геометрию» пролета, чтобы аппарат-ретранслятор оставался в зоне радиовидимости как минимум полтора часа.

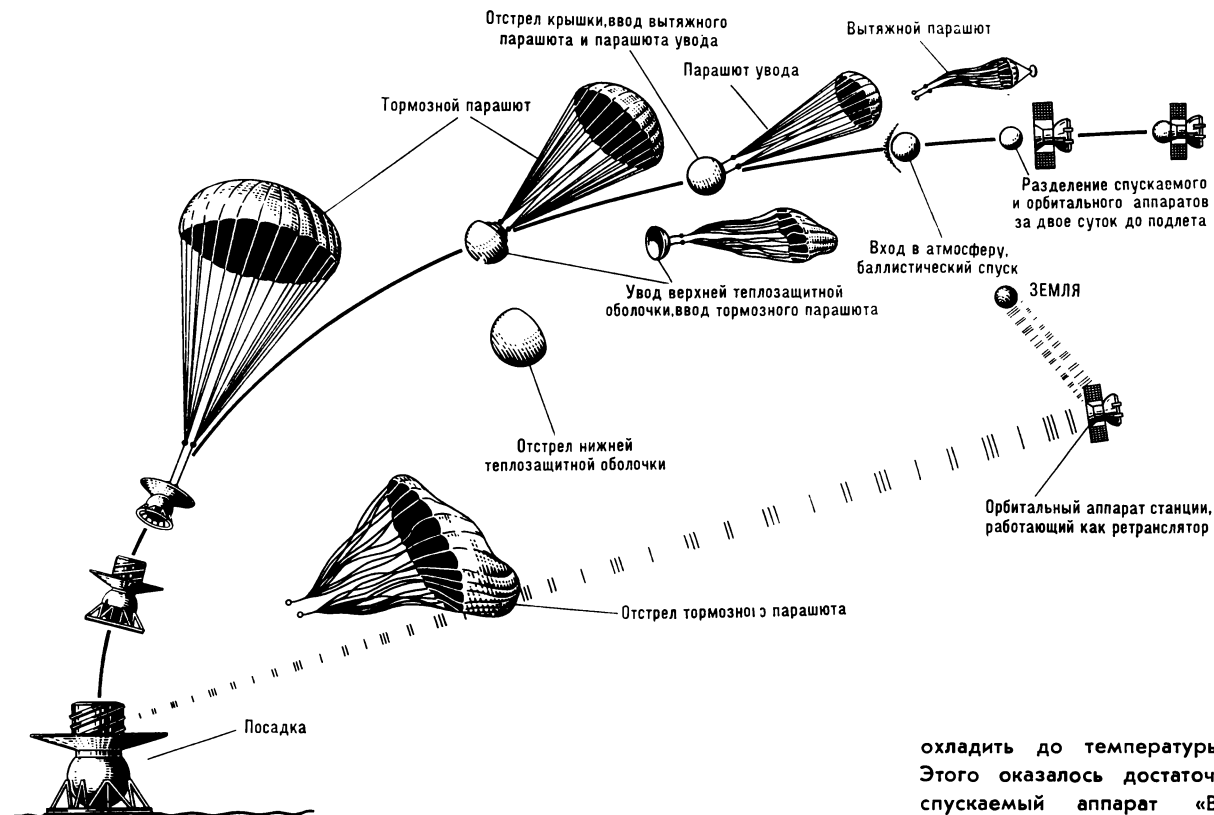


В итоге были выбраны пролетные гиперболы с высотой перигея 35 000 км над поверхностью планеты. Эта величина на порядок превышает аналогичный параметр пролетных гипербол станций «Марс» в 1973 году и высоту перигея орбит первых искусственных спутников Венеры, а значит, на два порядка ослабляется мощность принимаемого сигнала. Но зато «высокая» пролетная гипербола имеет и значительные преимущества. Во-первых, малы скорости пролета, следовательно, дальность связи возрастает не так стремительно. Во-вторых, кривизна гиперболы значительно меньше, поэто-

му ее «отлетная» ветвь не так быстро «уйдет» за местный горизонт. В-третьих, направление ретранслятора — спускаемый аппарат изменяется в пределах сравнительно небольшого угла, что очень важно для увеличе-

■
Схема полета межпланетных автоматических станций «Венера-11» и «Венера-12»

■
Схема ретрансляции, поясняющая необходимость повышения перигея пролетной гиперболы



ния потенциала радиолинии. Ведь при пролете Венеры аппарат-ретранслятор должен быть строго ориентирован в пространстве — его параболическая антенна следит за Землей. Если направление на спускаемый аппарат сильно изменяется, сигналы с него можно принимать только на **всенаправленную** антенну с очень низким коэффициентом усиления. Но изменение угла спускаемый аппарат — ретранслятор — Земля в ограниченном диапазоне уже позволяет использовать **малонаправленные** антенны, обладающие коэффициентом усиления, в несколько раз большим. Именно такие антенны были установлены на орбитальных отсеках станций «Венера-11» и «Венера-12».

Орбитальный отсек станций «Венера-11» и «Венера-12» не должен

выходить на орбиту искусственного спутника Венеры. Однако название его вполне законно — ведь он движется по гелиоцентрической орбите и до Венеры и после ее пролета. На участке Земля — Венера орбитальный отсек выполняет важные функции транспортного средства: поддержание необходимых тепловых условий в спускаемом аппарате, навигацию, коррекцию траектории, связь с Землей и передачу данных о состоянии своих собственных систем и аппаратуры спускаемого аппарата.

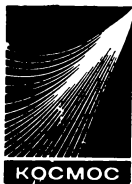
При подлете к Венере примерно за двое суток до перигея с помощью орбитального блока производится охлаждение спускаемого аппарата. Чем ниже будет температура внутри него, тем дольше он сможет находиться на поверхности Венеры — до тех пор, пока не перегреется от наружного тепла, проникающего сквозь мощную многослойную теплоизоляцию. Газ (азот) внутри спускаемых аппаратов станций «Венера-11» и «Венера-12» решено было

охлаждать до температуры -10°C . Этого оказалось достаточно, чтобы спускаемый аппарат «Венера-12» проработал на поверхности планеты 1 час 50 минут.

У орбитального блока была еще одна задача — он должен был перевернуться с траектории попадания на пролетную траекторию. Почему именно у орбитального отсека? Да потому, что он снабжен необходимыми для этого маневра системами — двигательной установкой и системой ориентации. А спускаемый аппарат таких элементов не имеет. После отделения от орбитального блока спускаемый аппарат пассивно летит к Венере в ту точку, в которую был нацелен при последней коррекции. Поэтому естественно, что вход сферического спускаемого аппарата в атмосферу Венеры может оказаться произвольным, неориентированным.

Такая ситуация тоже предусмотрена: аппарат целиком покрыт теплозащитной и готов отразить первый натиск венерианской атмосферы с любой стороны. Однако допустить дальнейший неориентированный спуск в атмосфере было бы нерационально: во-первых, пришлось бы по всей поверхности сферы устанавливать оди-

Схема посадки спускаемых аппаратов космических станций «Венера-11» и «Венера-12»



д. ю. гольдовский

Межпланетные станции «Пионер — Венера»

наково мощную теплозащиту, во-вторых, произвольное вращение аппарата могло бы помешать работе парашютных устройств. Поэтому центр масс внутри сферы конструкторы сместили в сторону лобовой части. Кроме того, для уменьшения колебаний после входа в стратосферу в лобовой части теплозащитной оболочки установили демпфер.

Помимо приборов для чисто научных исследований, на спускаемых аппаратах стояли приборы для проведения научно-прикладных экспериментов. Их цель — уточнить условия функционирования перспективных космических средств в атмосфере и на поверхности Венеры. Были приборы, предназначенные, например, для измерения осевых и боковых перегрузок при торможении аппарата в верхней атмосфере Венеры и фиксации срабатывания автоматики парашютной системы. Высокая частота измерений позволяла восстановить профиль плотности в стратосфере Венеры и уточнить баллистический прогноз параметров траектории входа в атмосферу. Большое научное значение этого эксперимента состоит в том, что на участке, где при спуске развиваются перегрузки свыше 100 g и температура в тысячи градусов, измерение параметров стратосферы с помощью традиционных термо- и бародатчиков чрезвычайно затруднено. В итоге предварительного анализа информации удалось сделать еще одно очень важное наблюдение. На высоте 68—69 км обнаружена «полка» на нисходящей ветви кривой перегрузки, которая, похоже, свидетельствует о положении верхней границы облачного слоя.

В 1978 году к Венере были запущены американские межпланетные станции «Пионер — Венера-1» и «Пионер — Венера-2». Первая предназначалась для исследований Венеры с орбиты вокруг планеты, вторая — для доставки в атмосферу планеты четырех зондов, которые должны проводить измерения на участке спуска.

«ПИОНЕР — ВЕНЕРА-1»

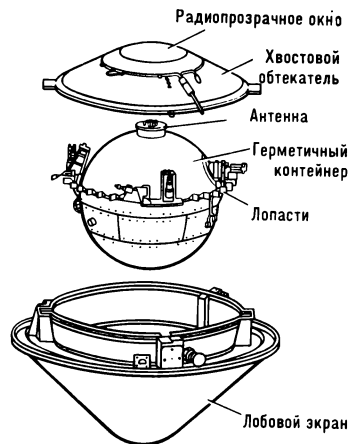
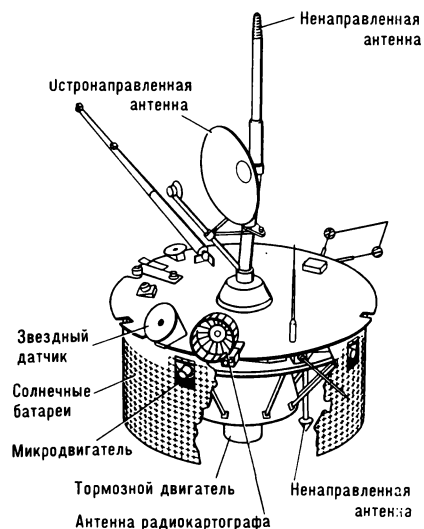
Станция «Пионер — Венера-1» стартовала с Земли 20 мая 1978 года. Она намеренно запущена по «медленной» траектории, чтобы уменьшить скорость при сближении с Венерой и, соответственно, необходимое торможение и массу топлива для тормозного двигателя.

«Пионер — Венера-1» при старте имела массу около 600 кг, на орбите вокруг Венеры (после выгорания топлива бортового тормозного двигателя) — примерно 360 кг. Высота цилиндрического корпуса станции 1,22 м, диаметр 2,54 м. Общая высота станции 4,5 м. На боковой поверхности корпуса смонтированы солнечные элементы, обеспечивающие на орбите вокруг Венеры мощность свыше 300 Вт. Имеются также никель-кадмиевые аккумуляторные батареи, используемые в периоды захода в тень Венеры. Станция стабилизируется вращением. Чтобы остронаправленная антенна была постоянно обращена к Земле, антенный блок установлен на шарнире и снабжен системой противовращения. Заданная

скорость вращения, ориентация оси вращения, а также коррекция траектории на перелетной трассе Земли — Венера и коррекция орбиты вокруг Венеры обеспечиваются гидразиновыми микродвигателями. Запас гидразина (32 кг) — основной фактор, ограничивающий продолжительность работы станции на орбите вокруг Венеры. Микродвигатели включаются автоматически по командам солнечных и звездного датчиков или по командам с Земли. Станция переводится с пролетной траектории на орбиту вокруг Венеры тормозным твердотопливным двигателем тягой 1,8 т, способным уменьшить скорость более чем на 1 км/с.

«Пионер — Венера-1» несет 12 научных приборов: прибор для изучения характеристик плазмы в ионосфере, шлейфе и пограничных слоях «магнитосферы» Венеры; масс-спектрометр ионов для определения состава и концентрации положительно заряженных ионов в ионосфере планеты; зонд для измерения электронной температуры; ультрафиолетовый спектрометр; масс-спектрометр нейтральных частиц; фотополариметр для облачного слоя; инфракрасный радиометр; магнитометр; анализатор плазмы; радиокартограф для исследования топографии и электрических свойств поверхности планеты (прибор работает в режиме получения изображений и в режиме измерения высоты); детектор электрического поля; детектор гамма-всплесков.

Есть возможность проведения радиозатменного зондирования атмосферы и ионосферы планеты, изучения турбулентности атмосферы, солнечного ветра, аэродинамического



торможения станции в атмосфере, гравитационного поля.

4 декабря 1978 года станция вышла на начальную орбиту вокруг Венеры.

После коррекции начальной орбиты она была переведена на расчетную орбиту с высотой перигентра 150 км, высотой апоцентра 66 600 км и наклоном к плоскости эклиптики 105°; период обращения 24 часа. Станция рассчитана на активное существование на орбите вокруг Венеры, по крайней мере, в течение одних сидерических суток (243 земных суток).

«ПИОНЕР — ВЕНЕРА-2»

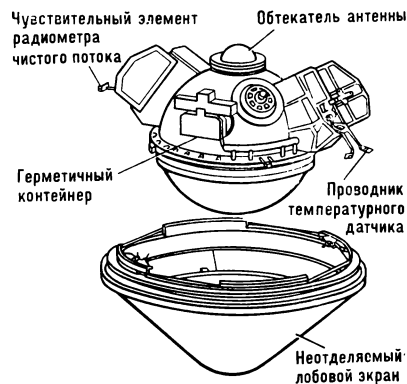
Станция «Пионер — Венера-2» была запущена 8 августа 1978 года по «быстрой» траектории. Масса ее — 900 кг. Станция состоит из траекторного блока (300 кг), на котором установлены четыре зонда: один большой

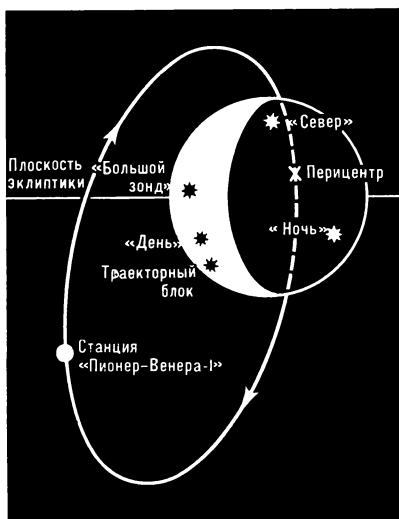
■ **«Пионер — Венера-1» (на переднем плане) и «Пионер — Венера-2».** (Рисунок из журнала «Aviation Week and Space Technology», 108, 9, 1978)

■ **Службные системы станции «Пионер — Венера-1».** (Рисунок из журнала «Interavia», 33, 7, 1978)

■ **Большой зонд.** (Рисунок из журнала «Interavia», 33, 7, 1978)

■ **Малый зонд.** (Рисунок из журнала «Interavia», 33, 7, 1978)





(320 кг) и три малых (каждый по 90 кг). На траекторном блоке, в отличие от «Пионер — Венеры-1», нет тормозного двигателя (вместо него — зонды), значительно меньше запас гидразина и вместо 12 научных приборов установлены только два масс-спектрометра. Траекторный блок — в основном лишь средство доставки зондов. Объем научных исследований, проводимых самим блоком, сравнительно невелик потому, что он обречен на сгорание через 2 минуты после входа в атмосферу Венеры (у него нет никакой теплозащиты).

Большой зонд состоит из герметичного контейнера, заключенного между лобовым экраном и хвостовым обтекателем, имеющими теплозащиту. Зонд снабжен вытяжным парашютом диаметром 0,76 м, выстреливаемым из мортирки, и коническим ленточным парашютом диаметром 5 м. При спуске хвостовой обтекатель сбрасывается на определенной высоте и вводятся в действие парашюты, которые извлекают герметичный контейнер из лобового экрана. Парашютный спуск длится 17 минут, после чего парашют отделяется и зонд свободно падает на поверх-

■
Орбита станции «Пионер — Венера-1» вокруг планеты и точки входа в атмосферу зондов и траекторного блока. (Рисунок из журнала «Sky and Telescope», 56, 6, 1978)

ность планеты. Такая программа полета нужна для того, чтобы большой зонд имел на различных высотах скорость, обеспечивающую проведение запланированных измерений. В то же время, конечный участок спуска он должен пройти достаточно быстро, чтобы до контакта с поверхностью бортовое оборудование не вышло из строя вследствие перегрева.

Служебное оборудование большого зонда включает серебряно-цинковую батарею емкостью 40 ампер-часов, программно-временное устройство, рассчитанное на работу в течение 24 суток с точностью ± 32 секунды, передатчик и антенну для передачи информации на Землю, а также записывающее устройство для регистрации информации в период пропадания сигнала, когда плазменное облако, образующееся вокруг зонда при входе в атмосферу Венеры, препятствует связи с Землей.

В составе научного оборудования зонда: масс-спектрометр нейтральных частиц; газовый хроматограф; датчики температуры, давления и ускорений; солнечный радиометр; инфракрасный радиометр; спектрометр облачных частиц; нефелометр.

Малые зонды имеют также герметичный контейнер и лобовой экран с теплозащитой, но этот экран не отделяется. Парашютная система отсутствует. Служебное оборудование примерно такое же, как на большом зонде. На каждом малом зонде установлены датчики температуры, давления и ускорений, нефелометр и радиометр чистого потока.

Проводились также исследования с использованием радиосигналов зондов: определение скорости ветра в венерианской атмосфере, исследование турбулентности атмосферы.

15 ноября 1978 года на расстоянии около 12 млн. км от Венеры от траекторного блока отделился большой зонд, а 20 ноября — три малых. Отделившиеся зонды стабилизировались вращением. 5 декабря 1978 года за 22 минуты до расчетного момента входа зондов в атмосферу Венеры начали работать их передатчики (до этого зонды «молчали» — сэкономили электроэнергию батарей). Боль-

шой зонд вошел в атмосферу Венеры на дневной стороне планеты в экваториальной области, один малый зонд, получивший название «День», — тоже на дневной стороне в южном полушарии, остальные два малых зонда «Ночь» и «Север» — на ночной стороне, соответственно, в южном и северном полушариях.

Спуск всех четырех зондов продолжался примерно час. При контакте с поверхностью три из них прекратили работу, а малый зонд «День», к неожиданной радости ученых, передавал информацию с поверхности в течение 67 минут. Все приборы четырех зондов функционировали в соответствии с программой, за исключением датчиков температуры, которые на всех зондах прекратили работу на высоте 14 км при температуре 360 °С. Ученые считают, что серная кислота, имеющая повышенную температуру в облачном слое Венеры, разъела проводники датчиков, погруженные в атмосферу. Так завершила работу станция «Пионер — Венера-2».

«Пионер — Венера-1» продолжает передавать информацию с орбиты вокруг Венеры.



ПОЛЯРНЫЕ ВИХРИ НА ВЕНЕРЕ

Ученые из Висконсинского университета (США) В. Суоми и С. Лимэй подытожили результаты обработки серии изображений Венеры, полученных в 1974 году в течение семидневного пролета аппарата «Маринер-10». Каждое из 22 ультрафиолетовых изображений южной полярной области Венеры приводилось к единому масштабу и времени, чтобы получить картину, которую можно было бы наблюдать, пролетая над полюсом.

Анализ синтезированной карты полярной облачности позволил выявить интересную особенность, похожую на вихрь, образованный облаками, напоминающими плотные земные слоистые облака. С более низких широт к вихрю сходятся спиральные течения, подобные спиральным ветвям урагана. Высокая яркость полярных облаков (их альbedo на 50% выше, чем остальной части южной полусферы, наблюдавшейся в течение пролета) наводит на мысль о несколько ином происхождении полярной облачности, нежели происхождение облаков низких широт.

Яркая полярная облачность не осесимметрична, имеет в первом приближении форму эллипса. Анализ перемещений ее характерных деталей позволил подтвердить выводы о разном движении облаков на различных широтах. В целом синтезированная карта полярной облачности поразительно напоминает фотографию тропического циклона, полученную метеорологическим искусственным спутником Земли. И действительно в обоих случаях имеют место циклонические движения.

Несмотря на неблагоприятные условия наблюдения, при синтезе карты облачности северного полярного района удалось найти свидетельства аналогичной циркуляции и в другом полушарии Венеры. Таким образом, по крайней мере в течение семидневного пролета «Маринера-10» стратосферная циркуляция на Венере представляла собой два гигантских вихря, центры которых располагались примерно над полюсами планеты, с меридиональными течениями от низких широт к каждому полюсу.

Следовательно, перемещение массы верхней атмосферы от экватора к полюсам должно компенсироваться противоположным переносом массы в нижней атмосфере Венеры.

Окончательные выводы делать рано, но мысль о различном характере циркуляции в полярных и экваториальных ее районах представляется достаточно очевидной независимо от того, есть полярные облака или нет. «Science», 201, 4360, 1978.

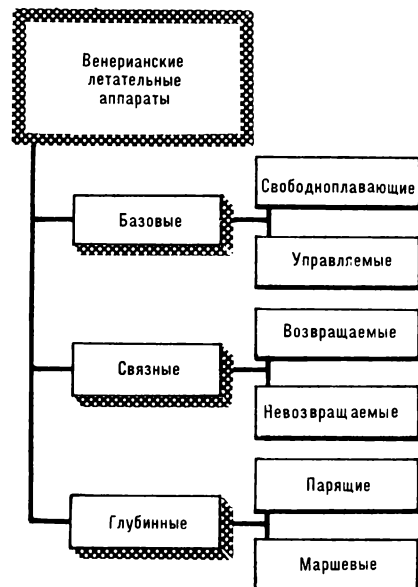
Кандидат технических наук
Г. М. МОСКАЛЕНКО

Аппараты для полетов в атмосфере Венеры

Для дальнейших исследований Венеры, видимо, понадобятся аппараты, способные летать в атмосфере этой планеты. Какими они будут!

Прямые исследования Венеры с помощью космических аппаратов были начаты советской автоматической станцией «Венера-4» в октябре 1967 года. Достигнув планеты и впервые совершив плавный спуск в ее атмосфере на глубину 26 км от поверхности, станция в течение полутора часов передавала данные о физико-химических и структурных параметрах атмосферы. В мае 1969 года «Венера-5» и «Венера-6» в атмосфере планеты достигли больших глубин — до 20 км над уровнем поверхности. В декабре 1970 года был сделан качественно новый шаг в исследовании Венеры. Спускаемый аппарат станции «Венера-7» совершил посадку и передал информацию с ее поверхности. 22 июля 1972 года спускаемый аппарат станции «Венера-8» осуществил мягкую посадку на поверхность планеты. Исследования Венеры продолжались, и в октябре 1975 года орбитальные отсеки станций «Венера-9» и «Венера-10» были выведены на околопланетные орбиты — впервые были созданы искусственные спутники планеты и получены телевизионные изображения поверхности со спускаемых аппаратов. Изучение Венеры продолжили советские станции «Венера-11» и «Венера-12» и американские «Пионер — Венера-1» и «Пионер — Венера-2».

Мы многое уже знаем о Венере, но еще больше нам предстоит уз-

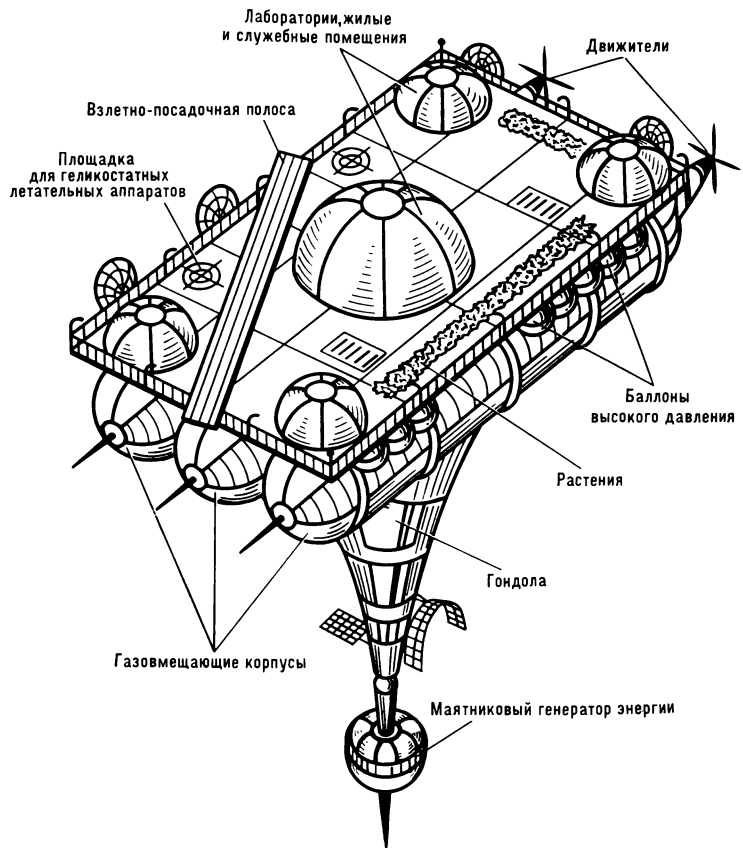
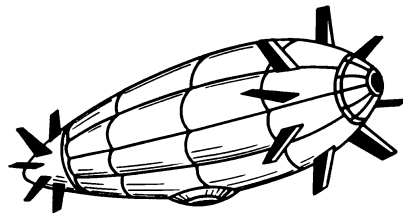
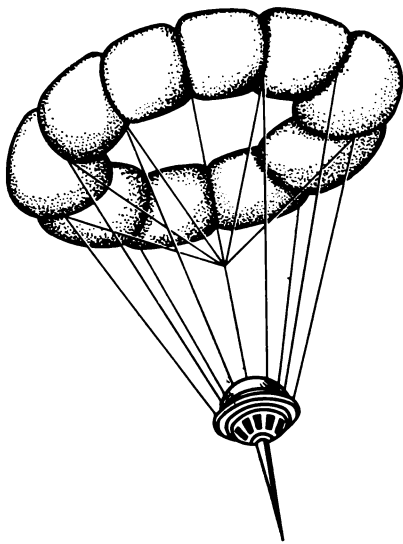


нать. Целесообразность дальнейших исследований атмосферы Венеры и условий на планете ни у кого не вызывает сомнений. Но как это лучше всего делать? Чтобы ответить на этот вопрос, нужны серьезные разработки перспективных аппаратов, доставляемых на планеты ракетными комплексами и совершающих затем автономный автоматический (а возможно, и пилотируемый) исследовательский полет.

УСЛОВИЯ ПОЛЕТА

Итак, на чем же можно будет летать в атмосфере Венеры? Вопрос

■ *Классификация венерианских летательных аппаратов*



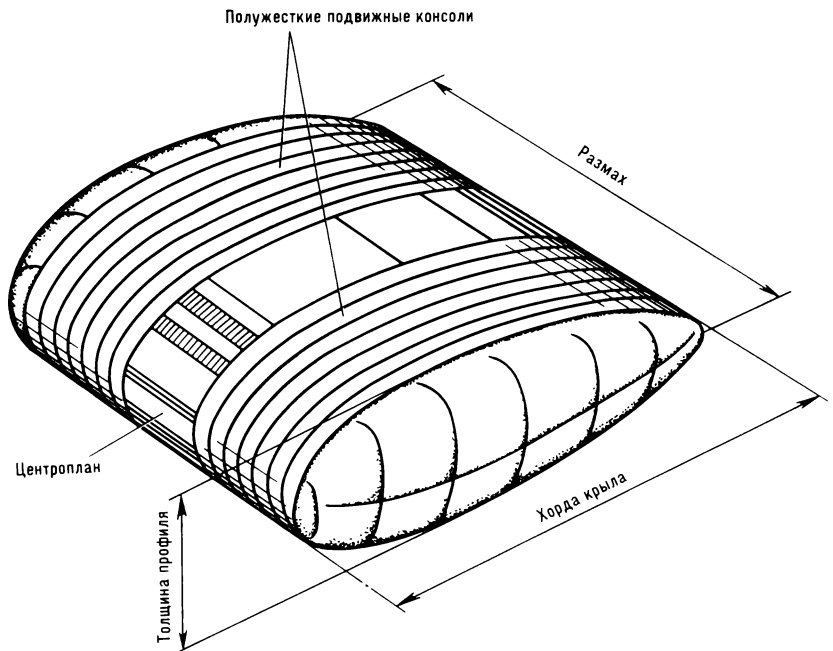
непростой. Дело в том, что плотность венерианской атмосферы примерно в 55 раз превосходит земную, а ее давление соответствует давлению в земном море на глубине около километра. Поэтому венерианские летательные аппараты должны обладать комплексом сложных летно-технических данных, присущих одновременно авиационным, воздухоплавательным, глубоководным аппаратам, и еще

■ **Аэростат**

■ **Аппарат с аэродинамической механизацией**

■ **Базовая аэростатическая платформа**

■ **Аппарат, выполненный в виде аэростатического крыла переменного удлинения**



выдерживать воздействие высоких температур.

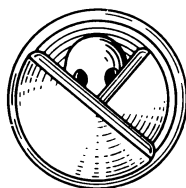
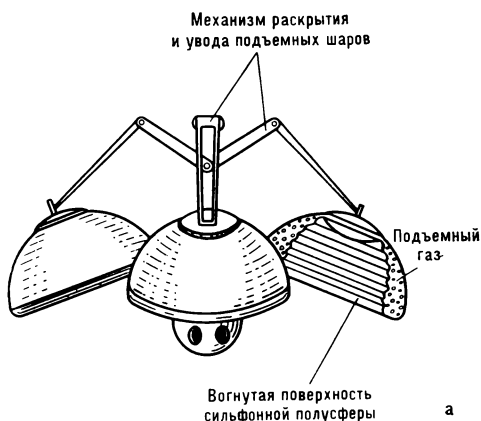
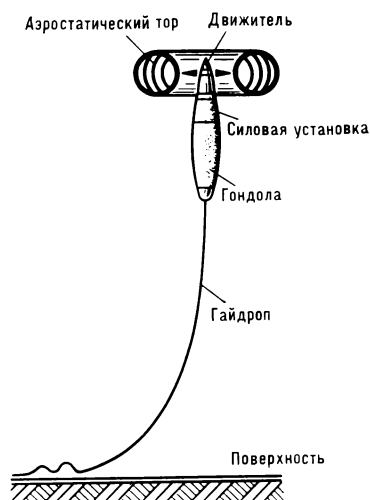
Сложности возникают и при создании энергосиловой установки, поскольку для ее работы нельзя использовать атмосферный кислород, как это делается на Земле. Атмосфера Венеры на 96% состоит из углекислого газа, азота в ней содержится около 4%, а кислорода практически нет. Эффективность работы солнечных батарей в условиях плотной и малопрозрачной атмосферы Венеры тоже вызывает серьезные сомнения.

Аэродинамические нагрузки, аэростатические силы, нагрев конструкции, вид движения и другие характеристики летательных аппаратов существенно зависят от свойств атмосферы. Величины всех аэродинамических характеристик и способ обтекания тел определяются числом Рейнольдса. Это число показывает роль сил вязкости при движении аппарата в сопротивляющейся среде. Если оно велико, вязкостью можно пренебречь, если мало, ее надо учитывать. Возникает вопрос: можно ли использовать «земные» аэродинамические коэффициенты для расчета условий полета в атмосфере Венеры без внесения соответствующих поправок в значения числа Рейнольдса? Специальные исследования, проведенные автором статьи, показали, что числа Рейнольдса для земной и венерианской атмосфер при сходном профиле полета относительно близки, поэтому можно проводить исследования, пользуясь аэродинамическими характеристиками земных летательных аппаратов.

ВЕНЕРИАНСКИЕ ЛЕТАТЕЛЬНЫЕ АППАРАТЫ

В зависимости от высоты полета и задач эксперимента венерианские летательные аппараты можно разделить на два типа: **базовые (высотные)** и **глубинные**.

Высотные предназначены для длительных исследований в атмосфере в режиме дрейфа (по типу свободноплавающего аэростата) или управляемого полета (по типу дирижабля) на высотах 50—70 км. Там давление, плотность и температура примерно



Аппарат торовой конфигурации

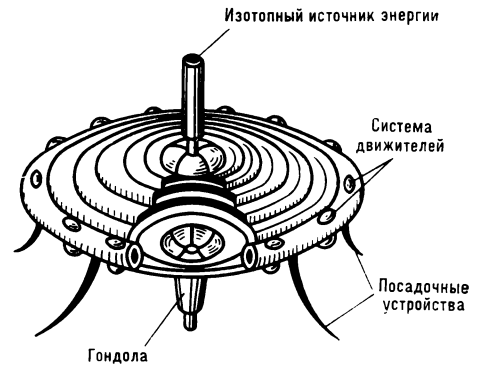
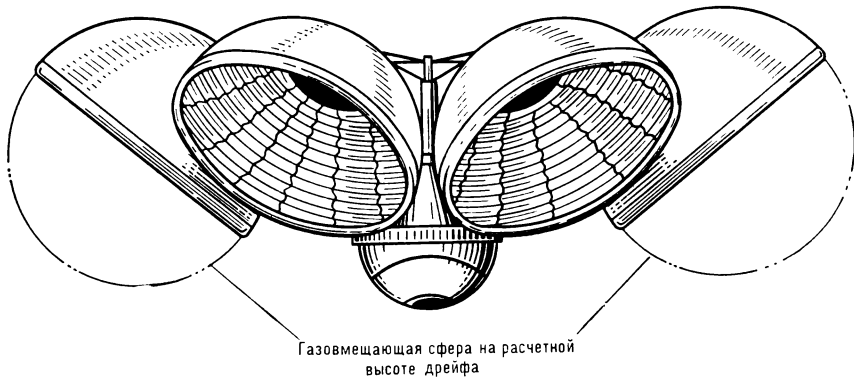
Глубинно-высотный аэроскаф: а — в момент раскрытия, б — в сложенном положении

соответствуют земным на уровне моря. Они обладают малой маневренностью и служат носителями оборудования, научной аппаратуры и других грузов. Высотные аппараты могут стать средством изучения атмосферы Венеры «сверху» (ее газового состава). К ним можно отнести свободноплавающие аэростаты, дрейфующие платформы (одиночные и составные), высокоманевренные аппараты с аэродинамической механизацией, аэростатические крылья переменного объема (удлинения), аппараты торовой конфигурации. Последние могут служить носителями ракетных систем, обеспечивающих доставку на Землю венерианских контейнеров с научной информацией, образцами грунта, ампулами атмосферного газа.

Дрейфующие летательные аппараты достаточно больших размеров можно использовать в качестве носителей небольших исследовательских аппаратов, предназначенных для зондирования тех слоев атмосферы, которые недоступны ни высотным, ни глубинным аппаратам.

Назначение **глубинных** аппаратов — исследовать планету с высоты полета вблизи поверхности Венеры, а также посадка на нее. По аналогии с глубоководными аппаратами типа батискафа или батиплана они могут обладать определенной маневренностью и стать средством изучения атмосферы Венеры «снизу» (ее пограничного слоя). К глубинным относятся плавающие батискафы, батипланы, аппараты переменной геометрии, аэростатические конвертопланы и др.

Наиболее обширный (по конструкции, аэродинамическим формам и динамике полета) класс венерианских аппаратов составляют **связные** летательные аппараты. Они, как и земные, могут быть с двигателями (возвращаемые) и без них (невозвращаемые). Связные аппараты смогут зондировать различные слои атмосферы Венеры, достигать поверхности планеты, осуществлять связь между высотными и глубинными аппаратами, маневрировать и возвращаться (если система многократного использования) на борт базового летательного аппарата.

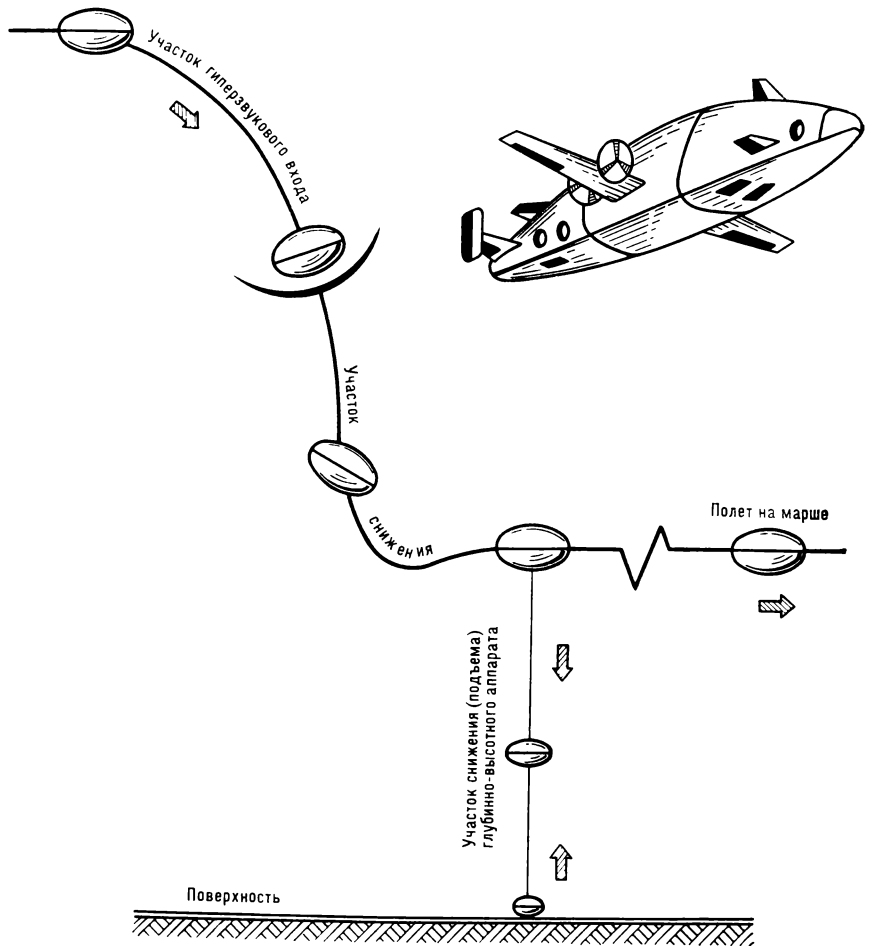


КАКОЙ АППАРАТ ЛУЧШЕ?

Оказывается, наибольшую полезную нагрузку несут аппараты типа аэростата. Находясь в дрейфе, они не нуждаются в бортовых двигательных установках большой мощности, а следовательно, и запасах горючего, способны проводить длительные исследования и сравнительно просты по конструкции. Такие аппараты можно снабдить свисающим тросом с подвешенной к нему исследовательской аппаратурой для вертикального зондирования атмосферы, а также механизмами для взятия грунта с поверхности. Длину троса нетрудно увеличить, прикрепив к нему промежуточные подъемные шары, компенсирующие нагрузки на трос. Подобрать размеры подъемных шаров, трос можно поднять и над несущим аэростатом.

С точки зрения механики полета идея такого аппарата не вызывает возражений, и его конструкция вполне поддается отработке в земных условиях. Однако возникают сложные проблемы, связанные с управлением подобной системой, ее устойчивостью в полете и надежностью.

Определенный интерес представляет комбинация дирижабля и самолета. Несущие поверхности (крылья) целесообразны, если можно достичь скорости, при которой аэродинамическая подъемная сила с избытком компенсирует силу тяжести несущих поверхностей. В земных условиях такая комбинация обычно невыгодна, но на Венере аппарат будет иметь некоторые преимущества — большую



■ *Плавающий батискаф*

■ *Связной (многоцелевой) летательный аппарат*

■ *Гибридный аэростатический аппарат с присоединенным крылом*

■ *Схема входа в атмосферу планеты высотного и глубинно-высотного аэростатических аппаратов*

полезную нагрузку и способность маневрировать в пространстве, поскольку уменьшается масса газобаллонной системы.

Видимо, можно будет использовать и аэростатические дископланы. Форма этого аппарата в зависимости от давления среды может меняться от дисковой до шаровой или цилиндрической. При большом погружении в атмосферу такой аппарат имеет форму диска, следовательно, помимо аэростатической, обладает еще за счет обтекаемой формы аэродинамической подъемной силой, что придает ему маневренность. При наличии жесткого корпуса дальний полет может быть осуществлен без двигателя, за счет планирования и подъема как у аэростата) по пилообразной траектории.

Хотелось бы, конечно, использовать **возвращаемые** летательные аппараты. Это — аппараты типа самолета, вертолета, геликоптера, а также устройства вертикального взлета и посадки и многочисленные аппараты смешанного типа. Но высокая маневренность, полет в различных режимах и зонах действия требуют сочетания противоречивых условий механики полета и комплекса сложных летно-технических данных. Главная трудность — создание силовых (двигательных) установок, способных длительное время работать в среде без кислорода с высокими температурой и давлением.

А вот **невозвращаемые** летательные аппараты не создают проблем. Их трудностей в их реализации и могут быть использованы, наряду с аэрологическими баллонами (сбрасываемыми в атмосферу Венеры), в качестве малогабаритных бортовых летящих средств.

Но как с Земли доставить эти летательные аппараты в атмосферу Венеры?

ПРОБЛЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ

Очевидно, наибольшие трудности возникают при доставке аппаратов жесткой конструкции. Главное, что определяет размер полезной нагрузки в данное время, — это максимально допустимый диаметр последней

ступени ракеты-носителя. Как показывают расчеты, ракета-носитель диаметром около 6 м может доставить на Венеру аппарат с жесткой аэростатической оболочкой, имеющий у поверхности планеты грузоподъемность около 6 т. На высоте 15 км его грузоподъемность снизится до 3 т, а это уже мало, если иметь в виду, что оболочка такого аппарата, его служебные системы отберут львиную долю массы. Поэтому ракеты-носители способны пока доставить на Венеру только аппараты с мягкой оболочкой либо маломаневренные аппараты типа глубоководных батискафов.

Можно попытаться использовать модернизированные ступени ракет-носителей (достигающие второй космической скорости) в качестве аэростатических средств в глубоких слоях атмосферы Венеры. Такие ступени после сброса отработавших двигательных установок (и их систем) и после прохождения плотных слоев атмосферы смогут зависать в ее глубоких слоях на высотах, где сила Архимеда будет равна их силе тяжести.

Анализ траектории входа в плотные слои атмосферы показывает, что горячая и плотная атмосфера Венеры более благоприятна (в тепловом отношении) для входа космических кораблей, чем атмосфера Земли. Объясняется это двумя причинами: во-первых, плотность атмосферы Венеры на высоте входа уступает плотности атмосферы Земли, во-вторых, скорость входа корабля в атмосферу Венеры с орбиты ее искусственного спутника (7,32 км/с) меньше скорости входа корабля в атмосферу Земли (7,95 км/с). Поэтому при достаточно малой нагрузке на единицу несущей поверхности (крыла) температура нагрева не превосходит температуру вблизи поверхности Венеры.

В связи с этим представляют интерес гиперзвуковые аэростатические летательные аппараты, которые могут входить в атмосферу Венеры без спускаемых аппаратов при заполненной газом (частично или полностью) аэростатической оболочке. Такие венерианские аппараты особенно выгодны тем, что громоздкая газобаллонная система сбрасывается при

подлете к Венере и не является балластом при дальнейшем движении.

ОСОБЕННОСТИ ПОЛЕТА В АТМОСФЕРЕ ВЕНЕРЫ

Исследования механики полета, проведенные автором статьи, показывают, что аэростатическая сила существенно влияет на характеристики венерианских летательных аппаратов. Она увеличивает высоту полета при постоянной скорости и скорость подъема, но уменьшает скорость снижения при полете в восходящих и нисходящих потоках. Аэростатическая сила влияет на угол и дальность планирования. В режимах маневрирования аэростатическая сила увеличивает угловую скорость и уменьшает радиус виража, а при выравнивании, помимо уменьшения радиуса кривизны, снижает также и траекторную скорость.

Скорость горизонтального полета остается постоянной независимо от высоты подъема или глубины погружения, если площадь корпуса изменится в соответствии с изменением плотности среды, а аэростатическая сила при этом остается постоянной.

Скорость, дальность полета и грузоподъемность венерианских летательных аппаратов в глубоких слоях составляют 18,5, 40 и 14%, соответственно, от аналогичных параметров земных летательных аппаратов. Таким образом, наличие аэростатической силы открывает новые возможности для совершенствования и формирования разнообразных, в том числе и новых, пока еще неизвестных нам видов движения, что особенно важно для венерианских летательных аппаратов.

При подъеме уменьшаются плотность и барометрическое давление. Поэтому масса газомещающего корпуса должна быть увеличена, а масса герметичной gondoly уменьшена. При снижении, наоборот, масса корпуса уменьшена, а масса gondoly увеличена. Эти противоположно действующие факторы определяют оптимальную высоту маршевого полета, на которой масса венерианского аппарата становится минимальной. Наличие бортовой системы охлаждения

и увеличение времени существования позволят летать в области пониженных температур. Так, при времени дрейфа не более 10 часов оптимальная высота полета приблизительно 40 км (температура на этой высоте 140 °С).

Вследствие высоких температур на Венере весьма перспективны аппараты, использующие в качестве рабочего тела (для образования аэростатической силы) аммиак и его растворы. Такие тропосферные аппараты должны обладать большей грузоподъемностью, чем системы, использующие легкий газ (водород или гелий), с их тяжелыми и громоздкими баллонами высокого давления.

Несмотря на очевидную противоположность, между аэростатическими и космическими летательными аппаратами существует определенная аналогия. При движении остаются одинаковыми по характеру (не по величине) скорость, перегрузка, пройденное расстояние. Можно сравнить аппараты, входящие в плотные слои атмосферы с большими космическими скоростями, и аэростатические аппараты, летящие в режиме нисходящего движения при отсутствии активных сил; аппараты, входящие в плотные слои атмосферы с малыми космическими скоростями и аэростатические аппараты, летящие в режиме снижения под действием активных сил; вертикально стартующую в сопротивляющейся среде ракету и аэростатический летательный аппарат, летящий в режиме подъема под действием сил, направленных по вектору скорости.

Анализ летательных аппаратов показывает, что, несмотря на сложные аэротермодинамические условия, летать в атмосфере Венеры можно. Этот результат важен потому, что он открывает возможность изучения планеты с помощью специальных летательных средств.



ПРИРОДА КАРЛИКОВЫХ НОВЫХ

Карликовые новые звезды (или звезды типа U Близнецов) — очень тесные двойные системы. Они состоят из двух звезд-карликов — красного и белого. Период обращения одной звезды около другой не превышает нескольких часов. Время от времени в системе происходит вспышка, продолжающаяся несколько дней. Наблюдения показывают, что во время вспышки основной вклад в излучение вносят белый карлик и газовый диск вокруг белого карлика. В период между вспышками за излучение ответствен холодный красный карлик.

Советский ученый И. Г. Митрофанов предложил гипотезу вспышек карликовых новых. Согласно этой гипотезе, белый карлик имеет довольно большое дипольное магнитное поле — более $3 \cdot 10^6$ Гс. Вещество, которое движется от красного карлика к белому, захватывается магнитным полем и стекает на магнитные полюсы белого карлика. Когда на полюсах скапливается много вещества, происходит ядерная вспышка. Часть вещества сбрасывается, но кинетическая энергия этой сброшенной плазмы невелика, она меньше, чем энергия магнитного поля, и вещество не покидает окрестностей белого карлика, образуя вокруг него диск. И. Г. Митрофанов оценил и время, необходимое для накопления плазмы на полюсах, и полную энергию вспышки. Полученные оценки близки к наблюдаемым значениям.

Если магнитное поле белого карлика меньше $3 \cdot 10^6$ Гс, оно не в состоянии «канализировать» плазму и вещество оседает на всей поверх-

ности белого карлика. В этом случае тоже происходит ядерная вспышка, но такой процесс требует длительного времени накопления (десятки лет), а вспышка достигает большой мощности.

«Письма в Астрономический журнал», 4, 5, 1978.

СКОЛЬКО В ГАЛАКТИКЕ ПУЛЬСАРОВ?

Каждый год радиоастрономы открывают все новые и новые пульсары. Часто ли они появляются в Галактике и долго ли светят? Ответить на этот вопрос трудно из-за неопределенности в оценке возрастов пульсаров и расстояний до этих объектов.

О. Х. Гусейнов и Ф. К. Касумов из Шемахинской астрофизической обсерватории АН АзербССР исследовали распределение более чем ста пульсаров в зависимости от их светимости. Они обнаружили, что слабых пульсаров меньше, чем ожидалось ранее. Зная число пульсаров разных светимостей, можно оценить их возраст — ведь светимость пульсара меняется с течением времени. О. Х. Гусейнов и Ф. К. Касумов нашли, что пульсары, светимость которых выше $3 \cdot 10^{26}$ эрг/с, живут в среднем около 1—3 млн. лет, а всего в Галактике должно быть 50 000—100 000 таких объектов. Через 1—3 млн. лет светимость пульсара резко уменьшается и он гаснет. В среднем каждые 30—50 лет в Галактике появляется один пульсар. Эта величина близка к независимой определяемой частоте вспышек Сверхновых звезд. Значит, радиопулсары — нейтронные звезды, рождаются, скорее всего, в процессе вспышек Сверхновых звезд.

«Астрофизика», 14, 2, 1978.





Кандидат географических наук
М. А. СОРОЧИНСКИЙ

Прогноз опасных явлений погоды

СЛУЖБА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

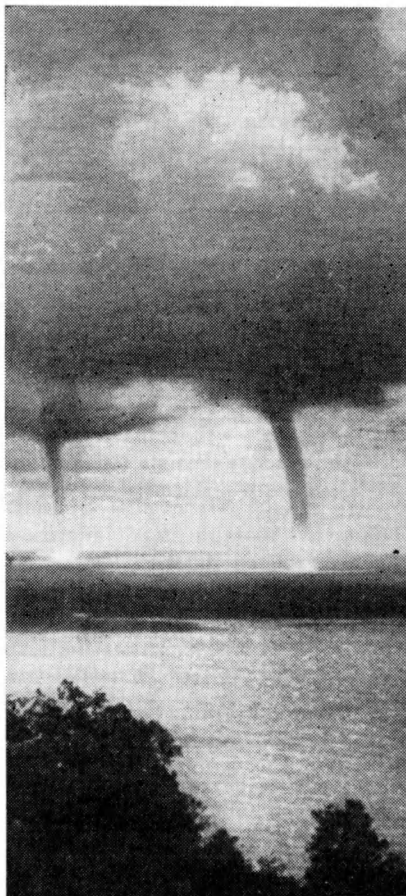
Погода доставляет людям и радости, и огорчения. Где-то ярко светит солнце, а в другом месте в это же время завывает пурга или штормовые волны неистово набрасываются на сушу. Чтобы предотвратить бедствия, которые приносит людям стихия, их нужно вовремя предсказать.

Служба прогнозов погоды возникла более ста лет назад. В 1854 году буря, разыгравшаяся на Черном море, разбила о скалы под Балаклавой англо-французский флот, осаждавший Севастополь. Позже французский ученый У. Леверье собрал сведения о погоде за несколько дней до балаклавской катастрофы и понял, что по этим данным можно было предсказать направление и скорость движения бури. И тогда французское правительство решило организовать систему предсказания погоды по телеграфу.

Во второй половине XIX века зарождается синоптическая метеорология. Но ее развитие идет с большими трудностями. Находятся скептики, которые заявляют, что погоду «дает бог» и предсказывать ее не только невозможно, но и грешно. Не выдержав борьбы с обывателями и учеными-консерваторами, в 1855 году кончает жизнь самоубийством английский адмирал Р. Фицрой, руководитель метеорологического департамента.

Преодолевая трудности, энтузиасты нового дела все же пытаются предсказывать бури, штормы, ливни. Постепенно накапливается наблюдательный материал, подмечаются «капризы» атмосферы, выясня-

Ливни, шквалы, пыльные бури наносят большой ущерб народному хозяйству. Своевременно предупредить о них — одна из важнейших задач службы погоды. Сейчас созданы качественные и разрабатываются количественные методы прогноза этих явлений.



ются сложные законы ее циркуляции...

В настоящее время прогноз погоды, в том числе и опасных ее явлений, складывается из трех этапов. **Первый этап** — наблюдение за погодой. Около 20 000 метеорологических станций, разбросанных по всему земному шару, проводят эти наблюдения. Сведения о состоянии атмосферы дают также и радиозондирующие станции, пункты радиолокационных наблюдений, метеорологические спутники, корабли погоды, самолеты. **На втором этапе** полученные данные обрабатываются и анализируются. Составляются карты погоды, выявляются области низкого и высокого давления (циклоны и антициклоны), намечаются атмосферные фронты, определяются районы опасных явлений погоды. **На третьем этапе** уже составляются прогнозы («Земля и Вселенная», № 6, 1973, с. 21—29.—Ред.).

Угрозу опасного явления в том или ином географическом районе определяют по картам будущего положения. На них обычно наносятся интенсивность и расположение циклонов и антициклонов, атмосферных фронтов на какие-то моменты времени в будущем. Далее ведутся непрерывные наблюдения за развитием событий с тем, чтобы в критический момент дать штормовое предупреждение. Карта будущего положения строится на основе численных прогнозов поля давления. Если обстановка для возникновения опасных явлений благоприятна, делают необходимые расчеты и принимают окончательное решение о том, будет ли опасное

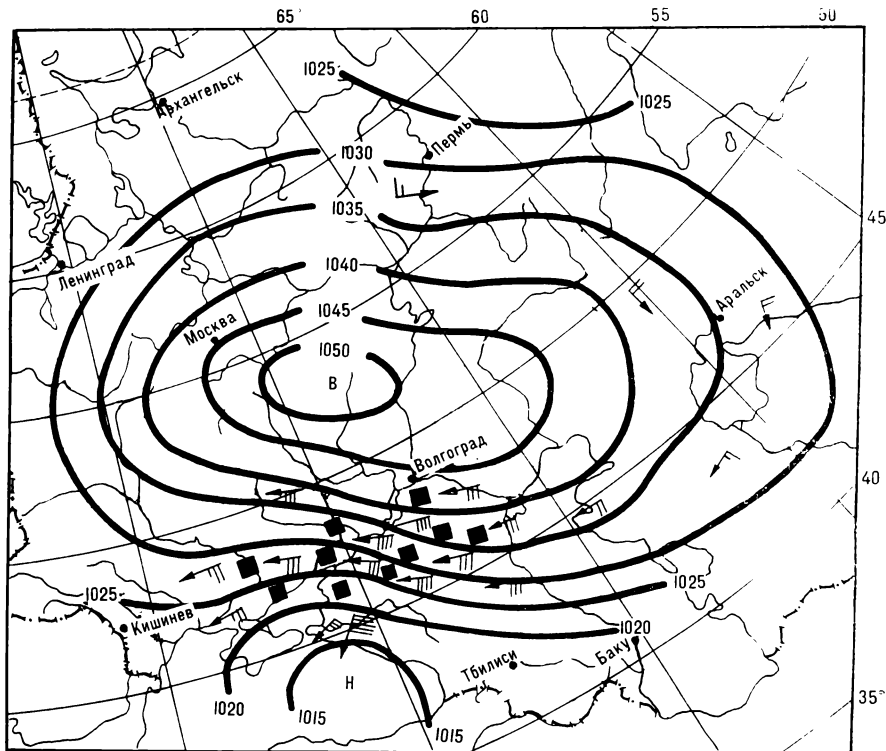
явление, и если да, то какова его интенсивность.

Ни в нашей стране, ни за рубежом не существует пока гидродинамических моделей прогноза опасных явлений погоды, поэтому при их оперативном прогнозировании используют различные эмпирические зависимости между состоянием атмосферы и прогнозируемым явлением. В синоптической практике применяются несколько способов краткосрочного прогнозирования опасных явлений погоды.

ПРОГНОЗ СИЛЬНЫХ ВЕТРОВ

Штормовой и ураганный ветер может возникнуть всюду, где создается разность атмосферного давления. Величина этой разности, отнесенная к единице расстояния, называется **барическим градиентом**. Рост барического градиента и есть причина усиления ветра. Основой для прогноза скорости ветра на 1—1,5 суток служит прогностическое поле давления у земной поверхности. По распределению давления можно судить, какой барический градиент ожидается в различных районах, а по нему определять **геострофический ветер**, зависящий только от перепада давления. **Фактический же ветер** будет зависеть также от рельефа местности, подстилающей поверхности и других факторов. Скорость его находят, умножая скорость геострофического ветра на коэффициент перехода, вычисленный заранее для каждого пункта.

Для прогноза сильных ветров с небольшой заблаговременностью, например до полусуток, обычно учитывают еще и разность давления в отдельных пунктах, тенденции ее изменения, контраст температуры, преобладающее направление ветра. Как правило, все это позволяет довольно надежно прогнозировать местные **штормовые ветры**, например, в Карпатах, **бору** в Новороссийске, **ураганные ветры** на Аральском море, в горле Ферганской долины у Джунгарских ворот, **бакинский норд**. Возникновение сильных ветров во многом зависит от наличия глубоких ци-



клонов и связанных с ними атмосферных фронтов. Так, все штормы в дальневосточных морях обусловлены активной циклонической деятельностью.

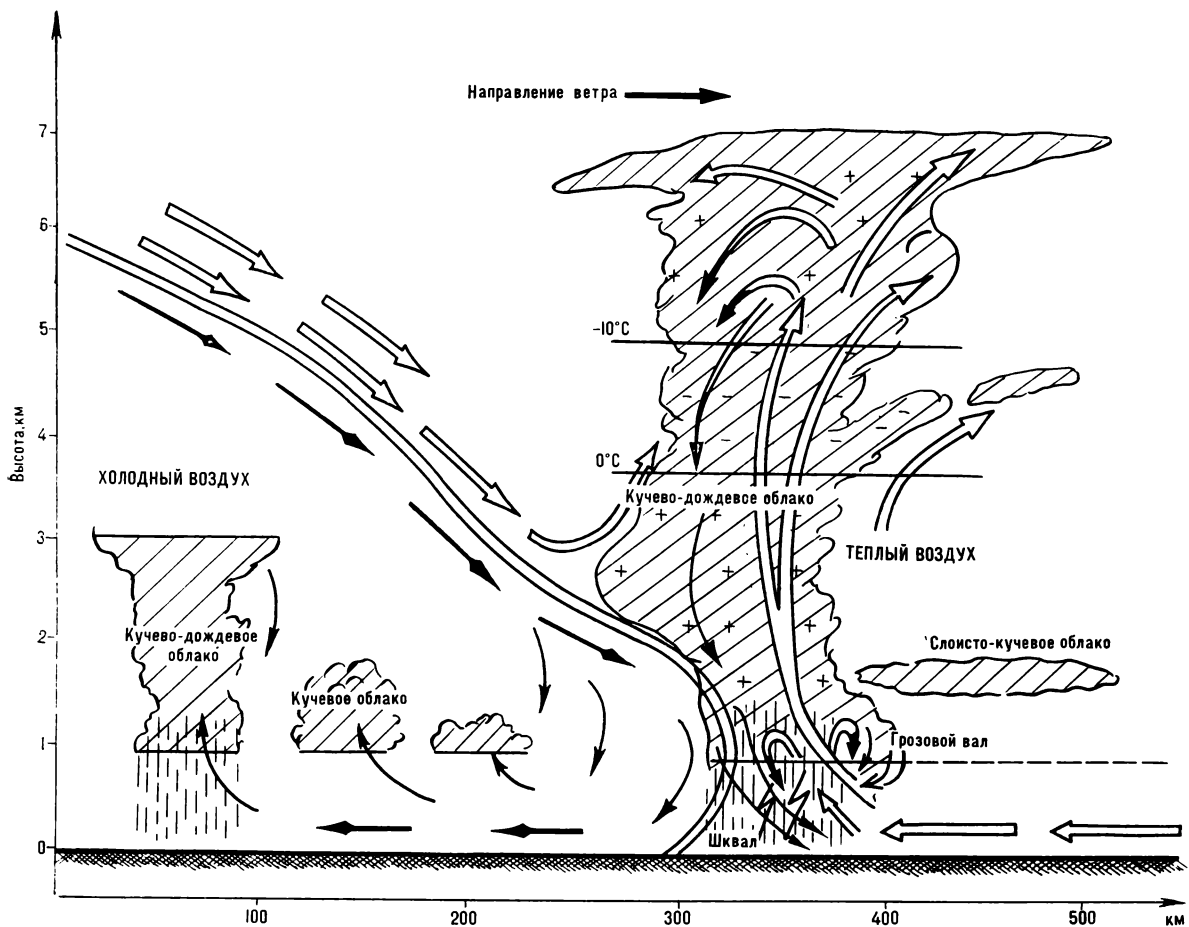
Известно, что в умеренных широтах на высоте более 7—8 км и, особенно, в стратосфере часто возникают и подолгу существуют **струйные течения**. Скорость потока в них иногда достигает 500—700 км/ч. Эти «воздушные реки» — следствие постоянного перераспределения холода и тепла, а значит, и атмосферного давле-

ния. Карты струйных течений, введенные в практику оперативной прогностической работы, позволили обнаружить связь этих течений с циклонической деятельностью и ветровым режимом. Зоны максимального ветра, располагающиеся по осям струйного течения, представляют собой очаги кинетической энергии. Анализ отдельных случаев ураганных ветров показал, что часть этой кинетической энергии переходит вниз к приземному циклоу.

Метели образуют снежные заносы на железных и автомобильных дорогах, ухудшают видимость, сдувают снег с полей. Прогноз метелей опирается на прогноз сильного ветра, состояние снежной поверхности, фактическую информацию о снегопаде. Расчетные способы основаны на связи метелей с процессами развития циклонов.

Пыльные бури наносят большой ущерб народному хозяйству. Поднятые в воздух массы пыли значительно снижают видимость, засыпают здания, сооружения, дороги, поля. Например, в Ашхабаде во время та-

■
Синоптическая ситуация, благоприятная для возникновения пыльных бурь на юге европейской части СССР. Причина усиления ветра — большой перепад атмосферного давления между антициклоном (В) над Центрально-Черноземными областями и циклоном (Н) над Черным морем. Стрелками показаны направление и сила ветра (один длинный штрих у стрелки соответствует скорости ветра 5 м/с). Черные квадратики — районы, где наблюдаются пыльные бури. Цифрами обозначено атмосферное давление в миллибарах



кой бури в январе 1968 года «плотность» пыли, принесенной с Аравийского полуострова, достигала 30 т/га. Пыльные бури возникают под влиянием природных или антропогенных причин и нередко связаны с формами земледелия, которые не соответствуют данной климатической зоне. Прогноз пыльных бурь составляют, исходя из прогноза сильного ветра, влажности воздуха, состояния почвы.

ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ, ОБУСЛОВЛЕННЫЕ КОНВЕКЦИЕЙ

Облачные «башни» — всегда сигнал тревоги, свидетельство неустойчивости атмосферы. А это означает, что создаются условия для развития кучево-дождевых облаков, с которыми связаны многие опасные явления погоды. Ливни, грозы, град,

шквалы и смерчи обязаны своим происхождением конвекции: теплый воздух поднимается вверх. Конвекция может возникнуть из-за особенностей циркуляции в том случае, когда налицо неустойчивая стратификация (изменение температуры с высотой). Чем больше неустойчивость, тем больше разность температуры между воздушной массой, находящейся в покое, и воздухом, совершающим вертикальный подъем. Теплый воздух, поднимаясь

вверх, попадает в область более низкого давления, где он расширяется, а следовательно, охлаждается. При охлаждении водяной пар конденсируется и образуются облака.

Ливневые дожди начинают выпадать, когда конвективные облака достигают уровня интенсивной кристаллизации. Это происходит на высоте, где температура падает до -10°C (облако состоит уже из кристалликов льда). Наиболее продолжительные и сильные ливневые осадки связаны с медленно движущимися холодными фронтами. Массы холодного воздуха, плотного и тяжелого, вклиниваются под теплый, менее плотный и легкий воздух, вытесняя его вверх. Прогноз ливней сводится к прогнозу температуры и влажности воздуха на высоте трех, пяти, семи и девяти километров над земной поверхно-

■ *Схема конвективных явлений. Холодный воздух вытесняет теплый наверх. Поднимаясь, воздух охлаждается, водяной пар конденсируется. Капельки воды, укрупняясь, падают в зону низкой температуры и замерзают, затем под действием силы тяжести падают вниз*

стью, при этом учитываются изменения температуры и скорости вертикальных движений воздуха.

Гроза — атмосферное явление, которое сопровождается многократными электрическими разрядами между облаками или между облаками и землей. На нашей планете бушует каждый год 16 млн. гроз, а суточная «норма» составляет 44 000.

Грозовое облако — своего рода атмосферная машина, перерабатывающая водяной пар в капли дождя, градины, снежинки. Приводят в движение эту машину восходящие потоки воздуха и сила тяжести. При интенсивной атмосферной конвекции в кучево-дождевых облаках и окружающем их пространстве создается электрическое поле. Оно связано с ростом капель и ледяных кристаллов, рост которых, в свою очередь, зависит от степени неустойчивости атмосферы, влагосодержания, изменения скорости ветра с высотой, толщины слоя воздуха, вовлеченного в конвекцию.

Сейчас нет пока единого мнения о том, какие параметры конвекции необходимо рассчитывать для прогноза грозы. Одни считают, что нужно определять уровень, на котором воздух, охлаждаясь, достигает насыщения (этот уровень совпадает с нижней границей облака), другие рекомендуют определять температуру на этом уровне. Отсутствие единого метода прогноза конвективных явлений объясняется тем, что на формирование этих явлений воздействуют многие факторы, причем в различных слоях атмосферы они влияют по-разному.

В практике прогноз грозы основывается на соотношении между степенью неустойчивости атмосферы и температурой на верхней границе облака. Если температура ниже -23°C , то вероятность грозы велика. Есть еще несколько десятков других способов, и в каждом используются сведения о вертикальной неустойчивости атмосферы.

Координаты атмосферного явления, его горизонтальные и вертикальные размеры, направление и скорость движения, тенденцию развития определяют с помощью метеорологических радиолокаторов, ко-

торые широко используются в нашей стране. Установлено, что средний размер грозового облака, например, в Московской и Ленинградской областях около 750 км^2 . Типичный диаметр грозового облака здесь 10—11 км. На Кавказе средний размер очагов больше и достигает 1000 км^2 , а диаметр их составляет 18 км.

Град — одно из самых распространенных стихийных бедствий. Он образуется, когда в кучево-дождевом облаке скорость конвективных вертикальных движений превышает 10—15 м/с. Над уровнем, где вертикальная скорость максимальна (примерно в середине облака), формируется зона, в которой накапливаются твердые и жидкие крупнокапельные частицы. Здесь градины растут — на них намерзает переохлажденная вода. Град начинает выпадать из облака, когда скорость падения под действием силы тяжести становится больше, чем скорость восходящего конвективного потока в облаке.

Известные способы прогнозирования градовых явлений дают лишь вероятность выпадения града в радиусе около 150 км и не указывают точное место выпадения, интенсивность, протяженность градовых очагов. Для прогнозирования града необходимо оценить конвективную неустойчивость и влагосодержание атмосферы. По этим данным можно вычислить максимальную скорость восходящего конвективного потока, а затем, зная температуру в зоне накопления градин, рассчитать диаметр градин, которые могут достичь земной поверхности.

В последние годы для прогнозирования града используют фактическую информацию о максимальной высоте радиозаха и степени радиолокационной отражаемости на нижней границе градового облака. Если произведение этих характеристик больше некоторой пороговой величины, то в пункте, куда перемещается облачный массив, вероятность выпадения града велика. В южных районах нашей страны, где град приносит вред виноградникам, ведутся работы по борьбе с ним. В градовые облака снарядами и ракетами вводятся реа-

генты (например, сухая углекислота или иодистое серебро), препятствующие росту градин («Земля и Вселенная», № 4, 1969, с. 66—74.— Ред.).

Шквал — очень сильный порыв ветра, резко меняющий свое направление. Он может двигаться несколько минут и пройти полосой в несколько сот метров. Как зарождается шквал? В мощных кучево-дождевых облаках формируются сильные восходящие потоки. Одновременно на высоте 5—6 км и, как правило, в тыловой части облаков зарождаются нисходящие потоки. Первоначально воздух опускается под действием массы накопленных в облаке капель воды, снега и града. Наиболее интенсивно это накопление на высоте где температура оказывается ниже -10°C , а восходящие потоки достигают максимальной скорости. До тех пор, пока в опускающемся воздухе есть влага, ее испарение приводит к охлаждению воздуха и ускорению его нисходящего движения. Некоторые, наиболее интенсивные струи достигают поверхности Земли и, трансформируясь в горизонтальный поток, дают шквалистое усиление ветра.

Спутниковые фотографии показывают, что предфронтальные линии шквалов напоминают жгуты, они параллельны линии атмосферного фронта и отделены от него небольшой прослойкой безоблачного неба. Наиболее интенсивные шквалы видны на фотографиях вблизи ярких пятен кучево-дождевых облаков.

Шквал — явление очень редкое, прогнозировать его довольно трудно. Можно лишь предвидеть условия, при которых вероятно его возникновение. Предсказать же точно место и момент появления шквала невозможно. Это и понятно, ведь даже сам факт обнаружения шквала — сложная задача. На европейской части СССР сеть метеорологических станций обнаруживает шквалы только в 20% случаев. Для прогнозирования шквала разработан способ, в котором учитывается соотношение энергии, неустойчивости (разности температур) и скорости ветра в нижнем 5-километровом слое.

Смерч — вихрь с вертикальной



■ Фотография облачности, полученная с метеорологического спутника. В

умеренных широтах обоих полушарий Земли видны полосы конвективных облаков (К), в которых возникают шквалы



ось вращения и диаметром от нескольких десятков до нескольких сотен метров. Максимальная скорость ветра в смерче 200—300 м/с, а барический градиент весьма высок. Смерч существует недолго — от нескольких минут до нескольких часов и за это время продвигается на 5—10, а иногда на 30 км. Поступательная скорость смерча от 10—20 до 60—70 км/ч и зависит от характера распределения ветра в средней тропосфере. Перемещаясь над морем или водоемом, смерч всасывает большое количество воды.

Смерчи связаны с мощными облаками грозового характера, которые наблюдаются на линиях конвективной неустойчивости впереди холодного фронта. Прогноз смерчей представляет трудную задачу. Речь может идти лишь об экстраполяции уже возникшего явления, наиболее надежно его может обнаружить радиолокатор.

ЯВЛЕНИЯ ПОГОДЫ, СВЯЗАННЫЕ С ВЛАЖНОСТЬЮ

Намерзание капелек переохлажденного дождя или тумана на предметах — это **гололед**. Он возникает при температуре от -1 до -4° С. Обычно при гололеде в полукилометровом приземном слое воздуха влажность достигает почти 100% и температура растет с высотой. На некоторой высоте она близка к нулю или положительна, и на

■ В нижней части мощного кучевого облака взаимодействуют теплый и холодный воздух. Иногда струя воздуха начинает вращаться против часовой стрелки. Так возникает смерч

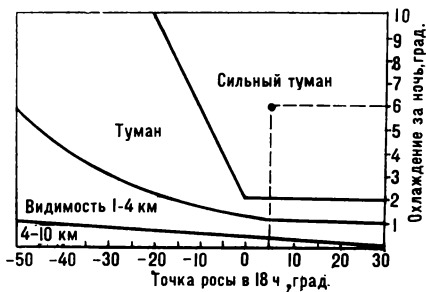
Землю падает переохлажденный дождь, а не снег.

Образование гололеда может длиться несколько суток. В экстремальных случаях, таких, какой произошел, например, 21—26 января 1963 года на Черноморском побережье Краснодарского края, толщина ледяного нароста на проводах достигала 360 мм, а масса — 7 кг на одном погонном метре. В период гололеда под тяжестью льда и действием ветра рвутся провода, ломаются телеграфные и телефонные столбы, не выдерживают даже металлические опоры высоковольтных линий.

При прогнозе гололеда в первую очередь учитывается синоптическое положение района. Если район прогноза находится впереди теплого фронта, температура у поверхности земли ниже нуля и ожидается выпадение осадков, то вероятность возникновения гололеда велика. Существующие способы прогноза гололеда предсказывают лишь сам факт этого явления без оценки величины ледяного нароста.

В отличие от гололеда, существует явление **гололедицы** — образование ледяной корки на поверхности земли. На полях она часто приводит к гибели озимых посевов, а на пастбищах — к падежу скота. Опасна она и на автомобильных дорогах. И гололедица, и гололед возникают при переносе теплого и влажного воздуха на замерзшую земную поверхность. Это зависит не только от атмосферных условий, но и от свойств предмета, на который ложится ледяной покров. Например, дороги с твердым покрытием обладают большой температурной инерцией. Поэтому при оттепели, наступающей после длительных морозов, дороги могут сохранять отрицательную температуру и при выпадении дождя или измороси на их поверхности образуется лед.

Туман — помутнение воздуха над самой поверхностью земли, вызванное продуктами конденсации водяного пара. Температура, при которой охлаждающийся воздух насыщается влагой, называется **точкой росы**. При этой температуре водяной пар конденсируется в видимую влагу, взвешенную в воздухе в форме мель-



чайших капелек. Туман появляется в зависимости от комплекса гидрометеорологических параметров — температуры и влагосодержания воздуха, скорости и направления ветра, ночного излучения тепла в атмосферу, состояния подстилающей поверхности. Различают **радиационный туман**, возникающий на месте, и **адвективный**, который приносится извне. Радиационный туман прогнозируют, когда известно определенное соотношение между температурой туманообразования и понижением температуры воздуха в ночные часы. Температуру туманообразования определяют по значению точки росы вблизи захода Солнца. В зависимости от этого рассчитывается минимальная видимость.

Адвективный туман возникает при положительной разности между температурой воздуха, поступающего в пункт прогноза, и температурой в пункте прогноза.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Попытки найти методы прогноза опасных явлений погоды предпринимаются давно, и определенный успех уже достигнут. Однако эти методы в основном качественные. Для создания достоверных прогнозов не-

обходимо разрабатывать количественные, расчетные методы. К тому же для предсказания опасных явлений нужно изучать процессы не синоптического (размера циклонов и антициклонов) и планетарного масштаба, а мезометеорологические (локальные) процессы. Чтобы прогнозировать точное место и время опасного явления, нужно предвидеть все физические процессы в данном месте, которые могут развиваться на фоне атмосферного процесса синоптического масштаба.

Опасные явления погоды, обусловленные атмосферными процессами крупного масштаба, например циклонами и антициклонами, удается предсказывать вполне удовлетворительно. К ним относятся штормовые ветры, метели, значительные обложные осадки, заморозки, пыльные бури. Хуже оправдываются прогнозы локальных опасных явлений погоды — сильных ливней, града, шквалов, смерчей, которые обусловлены мезомасштабными конвективными процессами и особенностями местных условий.

Наиболее перспективные направления исследований — это, в первую очередь, объективизация методов прогнозирования с помощью расчетных моделей и более широкое использование радиолокационной и спутниковой информации («Земля и Вселенная», № 1, 1970, с. 21—28.— Ред.).

■ *График, который можно использовать для прогноза ночных и утренних туманов в любое время года в средней полосе России. Если за ночь температура понизилась на 6 °С, а точка росы составляет 5 °С (она вычисляется для данного места и данного метода прогноза в 18 часов по местному времени), то следует ожидать сильный туман*

Наша планета расположена внутри гигантской полости, которую образует солнечный ветер, обтекая земное магнитное поле. Полость эта называется магнитосферой. Более 20 лет ученые исследуют сложные процессы, происходящие в магнитосфере. О некоторых результатах и нерешенных проблемах рассказывается в публикуемых статьях.

Академик
С. Н. ВЕРНОВ

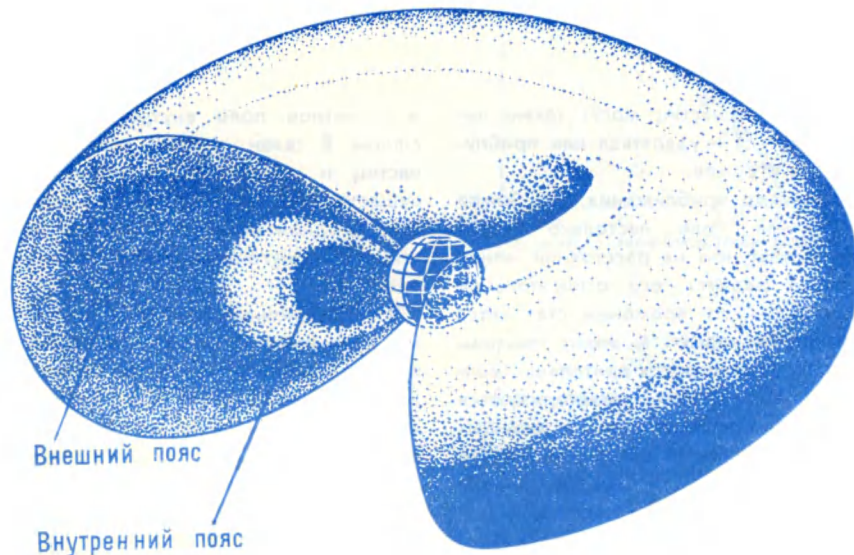
Радиационные пояса Земли

Радиационные пояса наполнены заряженными частицами, которые «сортируются» в соответствии с их энергией и массой. На характер распределения частиц сильно влияют возмущения магнитного поля Земли.

ЗАРЯЖЕННЫЕ ЧАСТИЦЫ В ГЕОМАГНИТНОМ ПОЛЕ

В околоземном космическом пространстве есть области, где потоки заряженных частиц велики. Области эти как бы опоясывают Землю и потому получили название радиационных поясов. Возникают они потому, что земное магнитное поле служит своеобразной ловушкой для частиц. Оно захватывает их и удерживает долгое время. Согласно расчетам, частицы «живут» там иногда до 100 лет. На расстоянии от Земли, сравнимом с ее радиусом, плотность вещества мала, и движущиеся частицы, не встречая существенного сопротивления, очень медленно теряют энергию.

Напряженность магнитного поля Земли относительно невелика, зато простирается оно на многие тысячи километров. Поэтому даже частицы высоких энергий, вплоть до миллиардов электронвольт, движутся по сильно искривленным траекториям, которые навиваются на силовые линии поля (один оборот частицы малой энергии вокруг силовой линии длится миллионные доли секунды). Частица, начавшая свой путь, скажем, в северном полушарии, двигаясь вдоль силовой линии, сначала удаляется от

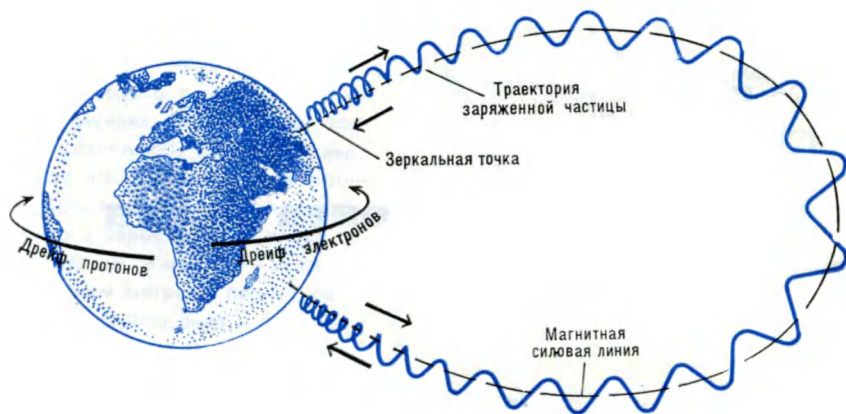


Земли. Приближаясь к Земле в южном полушарии, она попадет в область возрастающего магнитного поля и ее движение изменится. В результате частица «отразится» и начнет двигаться в обратном направлении. На путешествие из северного полушария в южное и обратно она затратит менее одной секунды. Поскольку с удалением от Земли магнитное поле ослабевает, более далекий участок траектории частицы имеет меньшую кривизну. Это приводит к тому, что траектории положительно заряженных частиц смещаются к западу, а отрицательно заряженных — к востоку. Таким образом, частицы совершают путешествие еще и вокруг Земли. Время, затрачиваемое на такое путешествие, зависит от энергии частицы

и от того, насколько она удалена от центра Земли. Например, протону с энергией 1 МэВ, находящемуся от центра Земли на расстоянии четырех ее радиусов, понадобится около 10 минут, чтобы сделать полный оборот вокруг Земли. Итак, в земном магнитном поле частица совершает сложные движения — она **вращается вокруг магнитной силовой линии, движется вдоль нее из северного полушария в южное и обратно и дрейфует вокруг Земли.**

Если бы магнитное поле не изменялось со временем, геомагнитная ловушка была бы идеальной, и частица остановилась бы только в том случае, если бы потеряла энергию. В действительности же вариации магнитного поля изменяют траектории частиц. Некоторые частицы «утыкаются» в плотные слои земной атмосферы и быстро теряют энергию.

■ Радиационные пояса Земли



Траектории частиц могут также перемещаться — удаляться или приближаться к Земле.

По мере приближения к Земле магнитное поле настолько сильно возрастает, что на расстоянии менее одного радиуса его относительное изменение со временем становится несущественным. Поэтому частицы здесь удерживаются длительное время и их потоки характеризуются большим постоянством. В удаленных от Земли областях потоки частиц быстро изменяются. Эти изменения можно связать с процессами, происходящими на Солнце. Солнечный ветер бомбардирует земное магнитное поле и может полностью его уничтожить на больших расстояниях от Земли. Но вблизи нее, где плотность энергии магнитного поля резко возрастает, солнечный ветер не в состоянии изменить интенсивность магнитного поля. Он огибает Землю, формируя полость с размерами порядка 10 земных радиусов — **магнитосферу Земли**. От невозмущенного межпланетного пространства ее отделяет **ударная волна** — за ней межпланетное пространство совершенно не «чувствует» присутствия земного магнитного поля («Земля и Вселенная», № 3, 1965, с. 18—26; № 4, 1965, с. 12—22.— Ред.). Энергия, которую несет солнечный ветер, весьма непостоянна, так как зависит от солнечной активности, следовательно, непостоянно

и магнитное поле внутри магнитосферы. В связи с этим, траектории частиц и их энергия претерпевают существенные изменения. Это приводит, с одной стороны, к гибели частиц, а с другой — к увеличению их энергии.

В радиационных поясах обнаружены различные частицы: **электроны, протоны, ионы гелия, ионы кислорода**. Несомненно, хотя и в меньшем количестве, там должны присутствовать другие частицы.

ПРОТОНЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ

Протоны радиационных поясов распределены в соответствии с их энергией. Чем больше энергия, тем ближе к Земле расположена область, которую они заполняют («Земля и Вселенная», № 4, 1970, с. 12—15.— Ред.). Это указывает на одну из важнейших причин ускорения частиц в радиационных поясах. Если почему-либо протоны будут перемещаться к Земле (напомним, что при этом они будут попадать в более сильное магнитное поле) **поперек магнитных силовых линий**, энергия их будет возрастать. Все происходит так же, как в ускорителях частиц — бетатронах: магнитное поле возрастает и возникает электрическое поле, которое и ускоряет частицы.

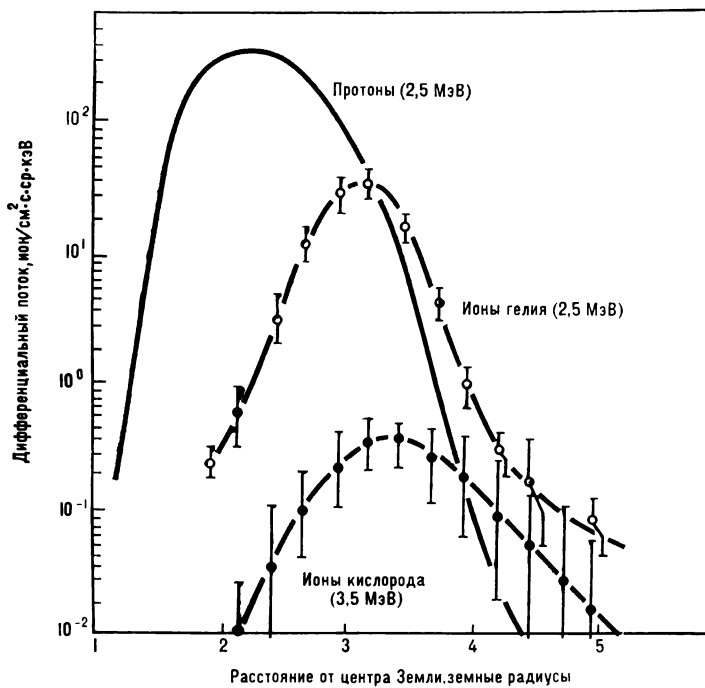
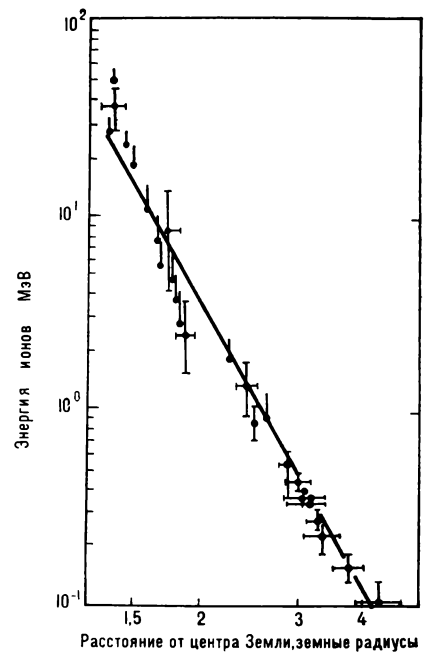
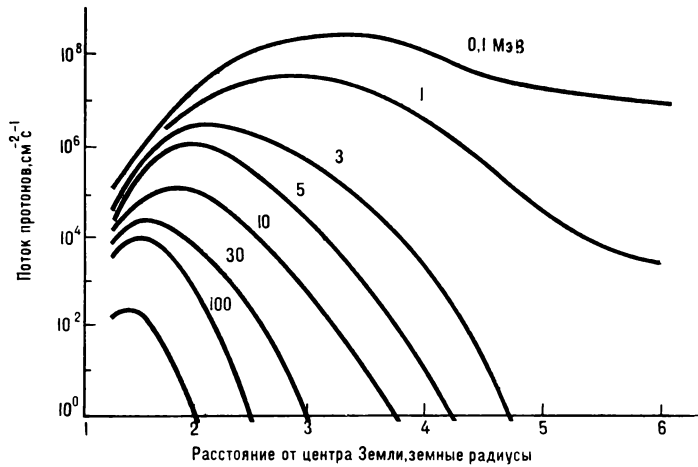
Как изменяются потоки высокоэнергичных протонов, ионов гелия и ионов кислорода с удалением от Земли? Оказывается, **чем больше масса частицы, тем дальше от Земли**

такие частицы наблюдаются. Что же мешает тяжелым частицам продиффундировать ближе к Земле? Частицы разных масс (если энергия их приблизительно одинакова) различаются величиной потери энергии на единицу пути. Чем больше масса частицы, тем больше энергии она теряет. Вот почему ионам гелия и кислорода не удается подойти к Земле так близко, как это могут сделать протоны.

А чем вызвана диффузия частиц поперек магнитных силовых линий? Профессор Б. А. Тверской создал теорию радиационных поясов, которая опирается на тот факт, что в геомагнитном поле довольно часто возникают **внезапные импульсы**. В течение двух минут интенсивность поля быстро возрастает (или падает), а затем медленно, примерно за час, возвращается к исходному уровню. Как уже говорилось, частицы с энергией около 1 МэВ совершают оборот вокруг Земли за 10 минут. Такой промежуток времени заключен как раз между временем нарастания и спада интенсивности поля при внезапных импульсах. Поэтому во время внезапного импульса происходят необратимые изменения траекторий частиц.

Если бы внезапный импульс был намного короче, чем время оборота частиц вокруг Земли, такого явления не существовало бы и изменения траектории частицы в период нарастания и спада интенсивности магнитного поля взаимно скомпенсировали бы друг друга. Если бы внезапный импульс протекал во много раз дольше, чем время путешествия частиц вокруг Земли, то траектории частиц, следуя за изменением интенсивности магнитного поля, изменялись бы медленно и никакого смещения траекторий частиц, поперек магнитных силовых линий не наблюдалось бы. Поскольку внезапный импульс создает необратимые изменения траекторий частиц с энергией порядка 1 МэВ, то эти частицы диффундируют поперек магнитных силовых линий, что приводит к их бетатронному ускорению. По теории Тверского коэффициент диффузии возрастает, как десятая степень расстояния до центра Земли, а максимум потока

■
Движение заряженной частицы в магнитном поле Земли



Ближе всего к Земле расположена область, где существуют протоны очень высоких энергий — 100 и даже 500 МэВ. Эти частицы не могут ускоряться за счет бетатронного механизма — они порождаются частицами высоких энергий, входящих в состав космических лучей, которые, бомбардируя верхние слои земной атмосферы, расщепляют атомные ядра. В результате возникают нейтроны, энергия которых иногда превосходит даже миллиард электронвольт. Не обладая электрическим зарядом, нейтроны свободно проходят сквозь земное магнитное поле. Но эти частицы неустойчивы и распадаются примерно за 1000 секунд. Некоторые из них распадаются близко к Земле и порождают протоны, электроны и антинейтрино. Протоны и электроны попадают в геомагнитную ловушку.

Но почему протоны с энергией более 100 МэВ существуют лишь на расстояниях, не превышающих 2,5 радиуса Земли? Объяснение дает та

■ **Характер распределения протонов различной энергии в радиационных поясах. Чем больше энергия протонов, тем ближе к Земле расположена область, которую они заполняют**

■ **Характер распределения частиц различной массы в радиационных поясах. Чем больше масса частиц, тем дальше от Земли они концентрируются**

частиц сконцентрирован в области, где время их жизни (за которое они теряют энергию) примерно равно времени их продвижения от внешней границы радиационных поясов к Земле. Чем выше энергия частиц, тем дольше они «живут» и, следовательно, тем ближе к Земле они успевают проникнуть.

■ **Положение максимумов потоков протонов различных энергий, полученное со спутников (синие точки), хорошо согласуется с теорией Б. А. Тверского (сплошная линия)**

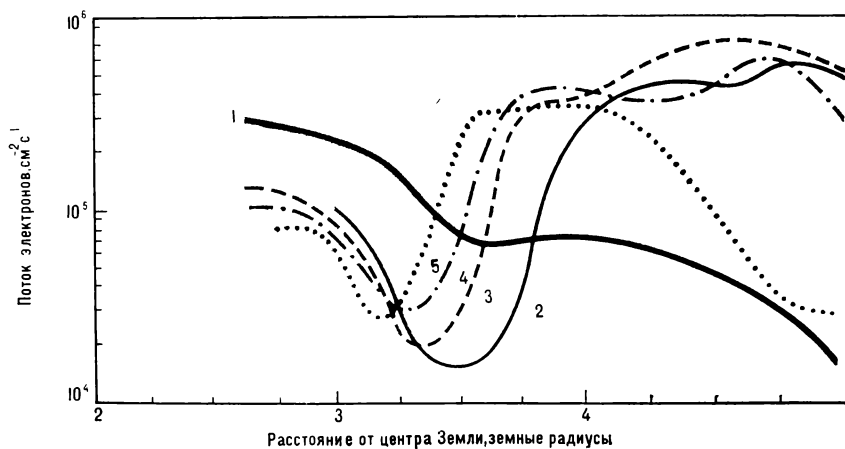
же теория Тверского. Благодаря диффузии частиц, вызванной внезапными импульсами магнитного поля, протоны с энергией более 100 МэВ «вымываются» из радиационных поясов. Поскольку коэффициент диффузии растет пропорционально десятой степени расстояния от центра Земли, то вблизи нее время «вымывания» уже приближается к 100 годам. А за столь длительный срок даже с помощью такого слабого агента, как космические лучи, можно «накачать» в радиационные пояса так много протонов большой энергии, что их поток превысит поток космических лучей в тысячи раз.

ЭЛЕКТРОНЫ РАДИАЦИОННЫХ ПОЯСОВ

До сих пор мы рассматривали поведение протонов в радиационных поясах. А как ведут себя там электроны? Наблюдения показывают, что электроны малых энергий занимают обширную область, тогда как высокоэнергичные электроны встречаются в сравнительно ограниченной области, разделенной на две части. Одна из них — **внутренний радиационный пояс**, другая — **внешний**. Резкие изменения интенсивности магнитного поля приводят к тому, что поток электронов уменьшается вблизи Земли, но зато сильно возрастает на больших расстояниях от нее. Затем в результате диффузии область повышенной интенсивности электронов в виде **диффузионной волны** перемещается в направлении Земли.

По теории Тверского можно рассчитать, как зависит скорость радиальной диффузии от расстояния до центра Земли. В связи с тем, что коэффициент диффузии сильно возрастает с удалением от Земли, скорость радиальной диффузии тоже резко растет с увеличением расстояния от центра Земли.

Кроме сравнительно медленного продвижения частиц к Земле за счет диффузии, во время магнитных бурь происходит **быстрая инжекция электронов**. В результате зазор между внешним радиационным поясом (на расстоянии 3—7 земных радиусов) и внутренним (на расстоянии менее



трех земных радиусов) заполняется электронами. По окончании магнитной бури картина поясов восстанавливается — вновь между внутренним и внешним радиационными поясами появляется зазор.

Что же приводит к гибели электронов в этой области после магнитной бури? Академик Р. З. Сагдеев и В. Д. Шафранов предсказали, что если существует **анизотропия в угловом распределении частиц плазмы**, то должна возникать неустойчивость. В радиационных поясах такая анизотропия в распределении электронов приводит к тому, что появляются особые волны — **свистящие атмосферерики**. Они получили свое название по характеру сигнала, который при звуковом восприятии напоминает свист. Волны эти распространяются вдоль силовых линий из северного полушария в южное и обратно. Происходит это из-за неравномерной плотности вещества и существования своеобразных вытянутых вдоль силовых линий волокон, которые играют роль волноводов для свистящих атмосферерики. Отражаясь от ионосферы, волны частично теряют свою интен-

сивность. Таким образом, создается следующая цепочка явлений: потоки электронов порождают волны, волны отражаются от ионосферы и воздействуют на электроны, что приводит к гибели тех электронов, которые «утыкаются» в плотные слои земной атмосферы. Больше всего электронов гибнет как раз в зазоре между поясами.

Наблюдение потоков электронов в **искусственном радиационном поясе**, который был создан в результате ядерных взрывов, проведенных США на больших высотах, показало, что вблизи Земли (на расстояниях менее двух радиусов от ее центра) среднее время жизни электронов велико и исчисляется иногда годами. В зазоре между поясами электроны «живут» всего несколько суток. В областях же, удаленных от Земли, например, на 5 радиусов, время жизни этих частиц превышает 10 суток.

Явления, происходящие в радиационных поясах, весьма сложны. И все-таки многие из них уже удалось понять и даже создать количественную теорию. Теперь желательно от наблюдений всей совокупности явлений перейти к **активному экспериментированию**. Это можно сделать, например, путем **инъекции ионов лития или европия**, практически отсутствующих в земной атмосфере и на Солнце. Наблюдая изменения их траекторий и энергии, можно получить новые интересные сведения о радиационных поясах Земли.

■ *Возникший на больших расстояниях от Земли повышенный поток электронов постепенно в виде диффузионной волны продвигается к Земле. 1 — кривая потока до возрастания геомагнитной активности; 2, 3, 4, 5 — после возрастания геомагнитной активности через 0, 3, 9 и 19 суток, соответственно*



Профессор
Б. А. ТВЕРСКОЙ

Взаимодействие магнитосферы с ионосферой

СОЛНЕЧНО-ЗЕМНЫЕ СВЯЗИ

Геофизические явления в высоких широтах Земли и, в первую очередь, полярные сияния издавна вызывали особый интерес. Уже в начале XVIII века была замечена связь полярных сияний с возмущениями земного магнитного поля. У русских поморов, например, издавна существует своеобразная примета: «на полярных сияний невозможно ориентироваться по компасу»). М. В. Ломоносов считал, что сияния вызываются движением мельчайших заряженных частиц (электрических корпускул). По мере развития науки и техники вскрывались все более глубокие связи электромагнитных явлений в высоких широтах с явлениями, происходящими в космосе.

Изучение атмосферных процессов в высокоширотных районах сыграло большую роль в развитии науки. Именно здесь в конце прошлого века начались организованные исследования по международным программам с участием ученых многих специальностей. В связи с этими исследованиями был выдвинут ряд идей, которые позднее нашли применение в астрофизике, а также использовались для разработки магнитогидродинамических методов получения электроэнергии и поисков путей осуществления управляемого термоядерного синтеза.

Еще до запусков первых искусственных спутников Земли было установлено, что главная причина магнитных бурь и связанных с ними ярких полярных сияний — это мощные потоки плазмы, приходящие от Солн-

Связь между солнечными и земными явлениями осуществляется не только посредством электромагнитного излучения, но и за счет плазменных процессов. Важную роль здесь играет магнитосфера Земли. В результате ее взаимодействия с ионосферой образуются мощные электрические токи и зарождаются яркие полярные сияния.

ца. Исследования с помощью космических аппаратов, которые ведутся уже более 20 лет и сочетаются с непрерывными измерениями наземными геофизическими станциями и обсерваториями, позволили глубже понять весь комплекс магнитосферных и ионосферных процессов и их роль в жизни и деятельности людей.

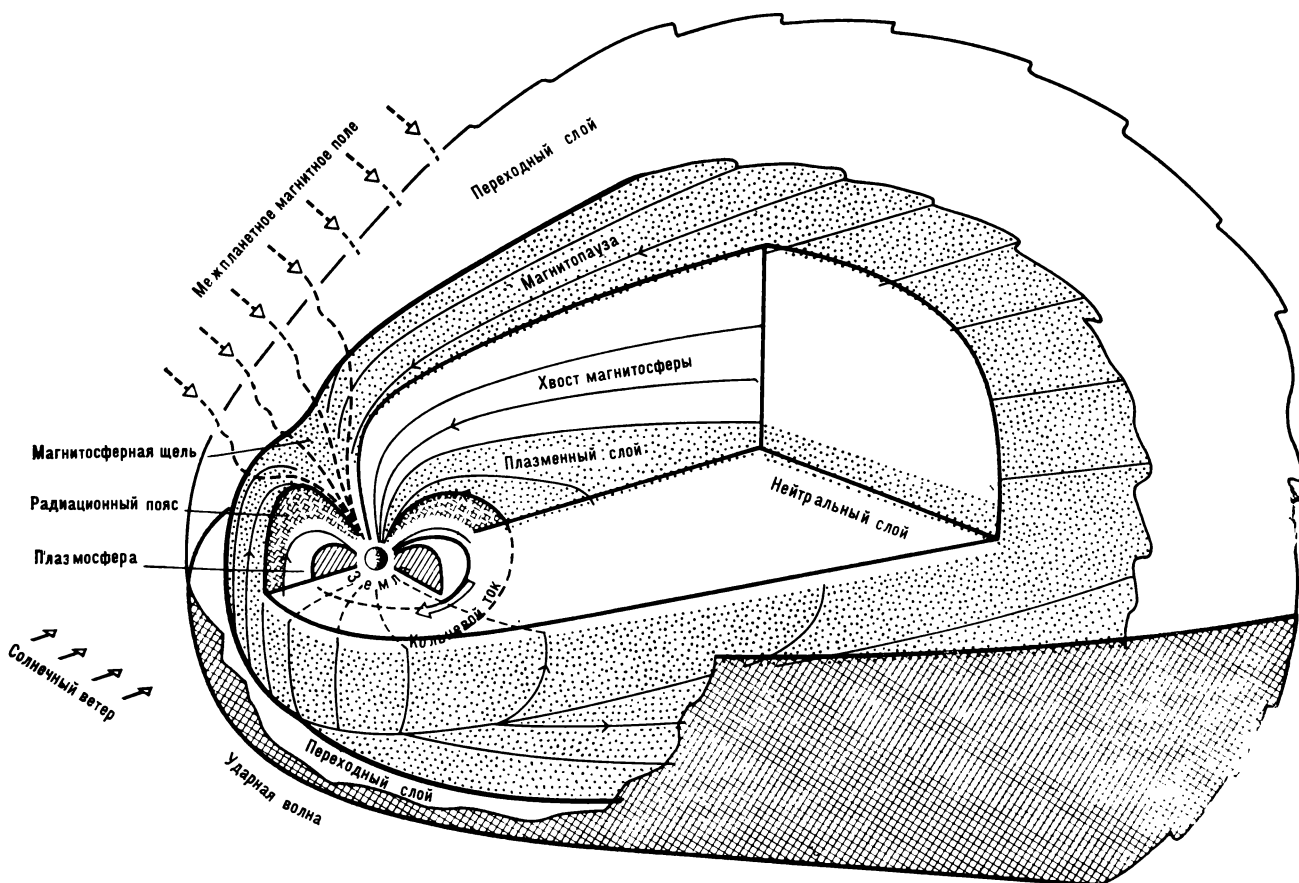
Теперь установлено, что атмосфера Солнца непрерывно испускает интенсивные потоки плазмы — солнечный ветер. Солнечная плазма почти идеально проводит электричество, она как бы вытягивает и несет с собой к Земле солнечное магнитное поле. Плазма обтекает Землю и в результате образуется **магнитосфера Земли** — полость, где сконцентрировано геомагнитное поле. На обращенной к Солнцу стороне граница магнитосферы отстоит от центра Земли примерно на 70 000 км. В противоположном направлении магнитосфера вытягивается на многие миллионы километров, образуя магнитный хвост Земли («Земля и Вселенная», № 3, 1965, с. 18—26; № 4, 1965, с. 12—22.— Ред.).

В результате слабого взаимодей-

ствия межпланетного и земного магнитного полей их силовые линии частично соединяются друг с другом и какая-то доля солнечного ветра и электрическое поле, возникающее в межпланетной среде, проникают в магнитосферу. Существование такого взаимодействия теперь твердо установлено, правда, его механизм еще полностью не выяснен. Например, зная характеристики солнечного ветра, мы не можем пока рассчитать электрическое поле в магнитосфере.

Под действием этого поля возникает сложное течение плазмы из хвоста во внутренние области магнитосферы. В самом хвосте образуется сравнительно тонкий **плазменный слой**, разделяющий области с магнитными полями противоположного знака (в северной половине хвоста силовые линии направлены к Земле, в южной — в противоположную сторону). Мощные электрические токи в плазменном слое замыкаются частично через границу магнитосферы, частично — через дневную часть внешней оболочки Земли. Вследствие этого вблизи экваториальной плоскости вокруг нашей планеты течет **кольцевой ток** силой в десятки миллионов ампер. Часть его вдоль магнитных силовых линий доходит до Земли и замыкается в ионосфере на высоте 100—150 км.

На больших расстояниях от Земли плазма сильно разрежена и имеет высокую температуру (десятки и сотни миллионов градусов). Поэтому она приобретает свойства сверхпроводника: сильные токи не сопровождаются появлением электрических полей. Электрическое поле там связано лишь с движением проводящей сре-



ды в магнитном поле. Иная ситуация в ионосфере, расположенной ближе к Земле. Здесь электроны и ионы имеют температуру всего несколько сотен градусов и часто сталкиваются с нейтральными атомами. По этой причине ионосфера обладает большим электрическим сопротивлением, и электрические токи наводят в ней заметные разности потенциалов. Вдоль магнитных силовых линий возмущения электрического поля распространяются на большие высоты и, в свою очередь, изменяют характер движения горячей разреженной плазмы. Таким образом, **магнитосфера и ионосфера** сильно взаимодействуют друг с другом и образуют единую электрическую систему. Солнечно-земные связи имеют, следовательно, довольно сложный характер: солнечный ветер формирует магнитосферу и ее электрическое поле, а процессы магнитосферно-ионосферного взаимодействия порождают систему токов и электрических полей, охваты-

вающих все околоземное пространство.

Процессы в межпланетной среде и в магнитосфере, как уже говорилось, могут приводить к геомагнитным возмущениям, которые мешают навигации и устойчивой радиосвязи. В последние годы появились новые данные, свидетельствующие о возможном воздействии этих процессов на земную атмосферу и биосферу. По-видимому, возмущения приводят к образованию циклонов и антициклонов в полярных широтах Земли и как будто бы ухудшают состояние людей, страдающих сердечно-сосудистыми заболеваниями. Какая тут связь, еще неясно. Однако, например, известно, что во время магнитных бурь магнитосфера начинает генерировать интенсивные электромагнитные колебания с периодами около одной секунды. Пока нельзя исключить воз-

можность своеобразного резонанса этих колебаний с электрическими потенциалами сердца и мозга, имеющими такие же периоды.

КАК ВЗАИМОДЕЙСТВУЮТ МАГНИТОСФЕРА И ИОНОСФЕРА?

Многолетние систематические исследования показали, что наиболее сильные возмущения геомагнитного поля и яркие полярные сияния концентрируются в двух кольцевых зонах в ионосфере, расположенных вблизи северного и южного геомагнитных полюсов («Земля и Вселенная», № 6, 1965, с. 24—30.—Ред.). Вдоль этих зон шириной в сотни километров, получивших название **авроральных овалов**, навстречу друг другу текут две мощные **токовые струи**. Токи струй замыкаются частично через полярные шапки, частично — через низкоширотные районы Земли. Возмущения магнитного поля под струями даже в самых спокой-

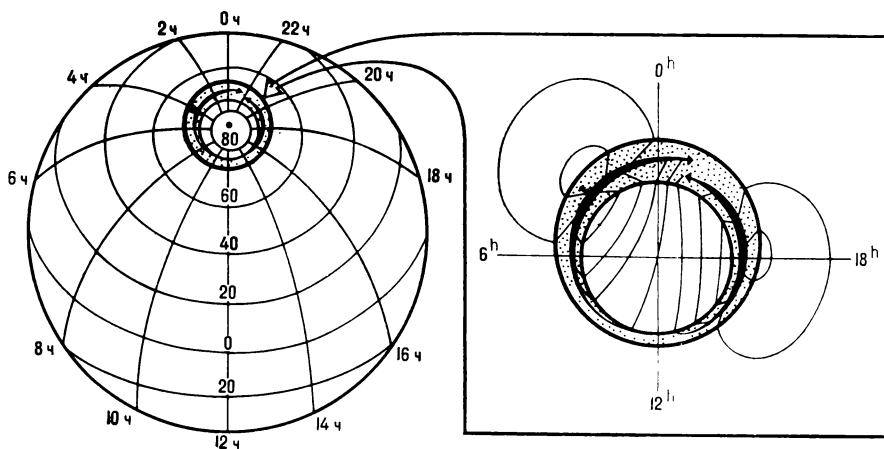
■ Структура магнитосферы

ных условиях достигают таких размеров, которые вблизи экватора бывают лишь в периоды сильнейших магнитных бурь.

В области авроральных овалов наблюдаются различные формы полярных сияний, в том числе **протонные сияния**, которые возбуждаются атомами водорода, движущимися к Земле со скоростью около 1000 км/с. Наиболее интенсивные формы сияний — **узкие однородные дуги** — располагаются на границах этих зон. Спутниковые измерения показывают, что в районе однородных дуг вдоль магнитных силовых линий к Земле подходят **мощные потоки электронов** с энергией в несколько килоэлектронвольт.

В спокойных условиях граница овала на дневной стороне проходит от полюса примерно в 10° по широте, на ночной — в 20° . Но, как правило, несколько раз в сутки эта картина нарушается. Ее искажает **суббурия**. Вначале овалы медленно «сползают» к более низким широтам. Это сопровождается некоторым ослаблением тока в струях и яркости сияний. Затем дуги сияний на высокоширотных границах внезапно вспыхивают и быстро смещаются в направлении полюса. Ток в струях и возмущения магнитного поля на Земле резко возрастают. Примерно через час возмущения затухают и восстанавливается исходная картина.

Мощность суббурь особенно велика после вспышек на Солнце. Границы овалов в этих случаях могут «сползть» до широты Москвы, а иногда даже и до средиземноморских широт. Возмущения магнитного поля достигают колоссальных размеров — они составляют десятки процентов от общего поля Земли. Развитие суббурь сопровождается многими необычными явлениями. Например, резко изменяется структура поля ионосферы: в одних местах возрастает электронная концентрация и усиливается поглощение радиоволн, в других — «отсасываются» электроны и становится неоднородным или вообще исчезает «зеркало», отражающее радиоволны. Из магнитосферы в полярную ионосферу начинают поступать электромагнитные волны различных периодов.



Более десяти лет назад стало ясно, что авроральные овалы — это как бы спроектированные на ионосферу (вдоль магнитных силовых линий) области магнитосферы, где имеется горячая плазма, то есть плазменный слой в ее хвосте, кольцевой ток и своеобразная «трещина» в магнитном панцире Земли, через которую свободно проникает и доходит до ионосферы солнечная плазма. Суббури как раз и связаны с изменениями структуры этих районов. К такому выводу независимо пришли многие ученые, специалисты по различным вопросам физики ионосферы и магнитосферы. Автор статьи сформулировал эту концепцию на основе изучения радиационных поясов Земли. Для объяснения некоторых особенностей инжекции электронов во внешний радиационный пояс необходимо было предположить, что существуют процессы, при которых магнитные силовые линии на внешнем краю пояса сначала вытягиваются далеко в хвост магнитосферы, а затем быстро возвращаются обратно. С точки зрения физики плазмы вытя-

гивание силовых линий в хвост связано с тем, что в соответствующих районах увеличивается давление газа заряженных частиц. Характерная особенность процессов такого типа — **асимметрия по долготе**, поскольку плазменный слой существует лишь на ночной стороне Земли. Асимметрия, а также нестационарность процессов и порождают магнитосферно-ионосферное взаимодействие.

Механизм взаимодействия становится особенно наглядным, если рассматривать явления, происходящие вблизи внутренней границы кольцевого тока и, соответственно, низкоширотных границ овалов. Магнитное поле Земли здесь слабо искажено и близко к дипольному. Из-за неоднородности поля в пространстве заряженные частицы дрейфуют вокруг Земли. Скорость дрейфа пропорциональна энергии частиц, а его направление зависит от знака заряда.

Поскольку граница плазмы несимметрична относительно магнитной оси Земли, за счет такого дрейфа она поляризуется. И когда на ночной стороне граница будет ближе к Земле, чем на дневной, на утренней стороне магнитосферы появится отрицательный, а на вечерней — положительный заряд. Если бы поляризация ничем не компенсировалась, то за несколько минут (при тех высоких давлениях и температуре плазмы, которые характерны для кольцевого тока) возникла бы колоссальная разность потенциалов — порядка миллиарда вольт. В действительности

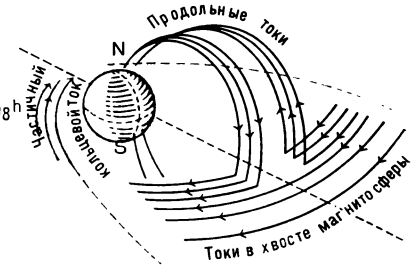
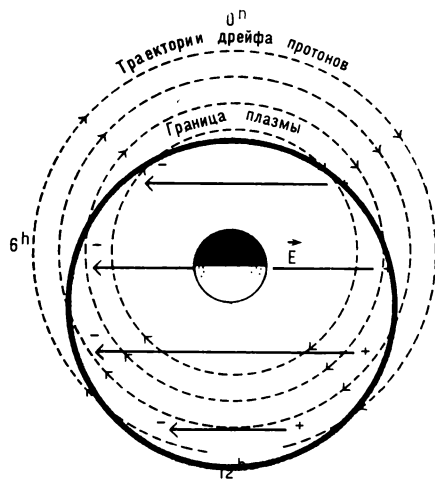
Схематическое расположение аврорального овала в северном полушарии Земли (синее кольцо) в условиях слабой и умеренной магнитной возмущенности. Жирные стрелки — токовые струи, замыкающиеся через полярные шапки и низкоширотные области. На рисунке приведены магнитные широты и местное время

этого не происходит: избыток электронов на утренней стороне сбрасывается вдоль силовых линий в ионосферу, а недостаток на вечерней компенсируется притоком из нее электронов.

В итоге вдоль силовых линий между магнитосферой и ионосферой Земли текут токи. Система вертикальных токов состоит из четырех струй, сила тока в каждой из них достигает сотен тысяч ампер. На вечерней стороне ток направлен к Земле, на утренней — в противоположную сторону. Процессы, приводящие к образованию аналогичных токов у высокоширотной границы овала, не столь наглядны, поскольку здесь магнитное поле сильно искажено давлением плазмы. Конечный результат тот же, только знаки токов меняются (на утренней стороне ток направлен к Земле, на вечерней — в магнитосферу).

Таким образом, на обеих границах овалов полярных сияний существует пара направленных в противоположные стороны **вертикальных токов**, которые замыкаются в ионосфере через овалы. Эта токовая система представляет собой гигантский соленоид, из которого возмущение магнитного поля почти не выходит наружу. Однако при замыкании токов через овалы между высокоширотной и низкоширотной их границами возникает электрическое напряжение в несколько десятков тысяч вольт. Тогда, помимо обычного тока, в ионосфере образуется **ток Холла**, создаваемый магнитным полем. Он направлен перпендикулярно к электрическому и магнитному полю и образует струи, ориентированные вдоль овала. С этими токовыми струями главным образом и связаны магнитные возмущения на поверхности Земли.

Система магнитосфера — ионосфера обладает необычными с точки зрения общепринятых представлений свойствами. Известно, что переменному электромагнитному полю тем труднее проникнуть в проводник, чем выше частота поля. В случае данной системы ситуация обратная. Если отрезок времени, за который меняется электрическое поле в хвосте магнитосферы, заметно превышает несколько



ко минут, это изменение практически не распространяется на низкие широты — ему препятствует овал.

Конечно, рассмотренная схема процессов дает лишь упрощенное представление о магнитосферно-ионосферном взаимодействии. В действительности же картина значительно сложнее. Ее усложняет то, что **сопротивление ионосферы весьма неоднородно**. В настоящее время разработана теория, позволяющая учесть и такие эффекты. Теория хорошо подтверждается экспериментами на спутниках. В частности, удалось доказать, что токи вдоль силовых линий играют фундаментальную роль в динамике авроральных овалов.

ПОЛЯРНЫЕ СИЯНИЯ

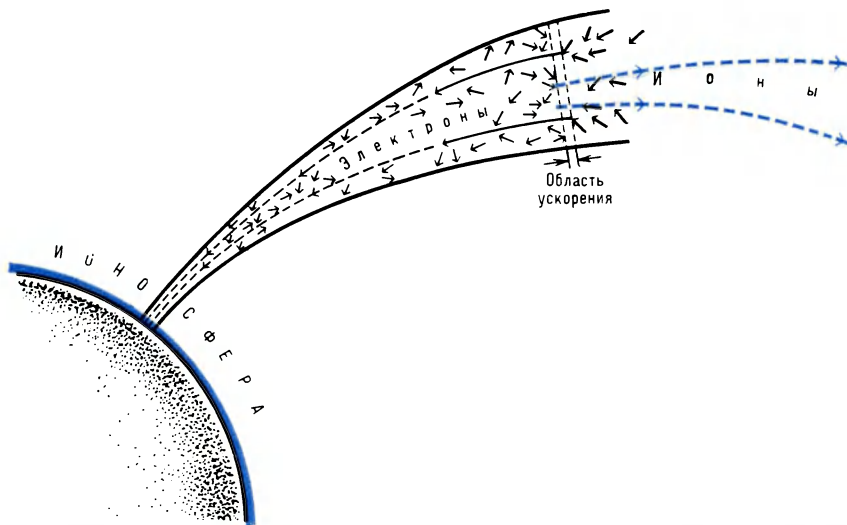
Однородные дуги полярных сияний, как правило, располагаются у границ овалов. К областям, где на-

блюдаются дуги, из магнитосферы приходят мощные потоки электронов высокой энергии. Такие потоки зарегистрированы лишь на высотах до нескольких тысяч километров. За пределами этих высот энергии основной массы электронов и их потоки в среднем в несколько раз меньше, чем над дугами.

Энергичные электроны, сталкиваясь с атомами нейтрального газа атмосферы, «выбивают» из них электроны. Такие «вторичные» электроны способны возбудить нейтральные атомы и молекулы, которые, возвращаясь к основному состоянию, излучают кванты света. В некоторых случаях возбуждение нейтральных частиц связано с процессом их ионизации. Таким образом, небольшие потоки энергичных электронов вызывают лишь слабое свечение ночного неба, которое можно регистрировать только чувствительными приборами. В области дуг сияний приходящие потоки электронов столь велики, что свечение заметно на фоне Луны, а наиболее яркие сияния создают освещенность такую же, как и Луна.

Что же приводит к столь резкой концентрации энергичных электронов в районе сияний? Ответ на этот вопрос дает концепция ионосферно-маг-

■ *Схема поляризации границы облака горячей плазмы в магнитосфере: на утренней стороне появляется отрицательный, а на вечерней — положительный заряд. Избыток электронов на утренней стороне сбрасывается в атмосферу Земли, а недостаток на вечерней компенсируется притоком из ионосферы (левый рисунок). Вдоль силовых линий геомагнитного поля возникают токи, которые замыкаются вблизи Земли, в ионосфере (правый рисунок)*



нитосферного взаимодействия. Отметим, прежде всего, что яркие дуги **совпадают** с областями, где из ионосферы вдоль магнитных силовых линий вытекают токи. Создающие их электроны приходят сюда с больших высот. Сила токов столь велика, что ее не может обеспечить происходящее здесь «высыпание» электронов. Дополнительное ускорение электроны получают на довольно больших высотах (в несколько тысяч километров от поверхности Земли), где благодаря ослаблению напряженности поля силовые линии расходятся и образуют гигантскую «воронку». Попадая в нее, электроны ускоряются электрическим полем вдоль силовых линий и затем, по мере приближения к Земле, фокусируются. Совместное действие ускорения и фокусировки приводит к мощным потокам электронов, без которых невозможно поддерживать токи вдоль силовых линий. Этими интенсивными потоками и создаются яркие дуги сияний.

Детальная теория описанных явлений, развитая автором совместно с Е. Е. Антоновой, показывает, что из «воронки» должен вытекать **наверх интенсивный поток ускоренных ионосферных ионов**. Во время сильных магнитных бурь благодаря такой инжекции в магнитосферу будет накапливаться большое количество энергичных ионов кислорода, которые практически отсутствуют в солнечной плазме. Такой эффект был обнаружен и экспериментально с помощью спутников Земли. Явление это невозможно объяснить вне рамок концепции магнитосферно-ионосферного взаимодействия.

■ *Гигантская воронка, которую образуют силовые линии геомагнитного поля на большой высоте от поверхности Земли. Мощные потоки электронов, попадающие в воронку, возбуждают в ионосфере яркие полярные сияния. Из ионосферы выбрасывается интенсивный поток ускоренных ионов*

■ *Однородная полоса полярного сияния подковообразной формы*





Магнитосфера как альвеновский мазер

В магнитосфере Земли действует плазменный механизм, который регулирует «заселенность» этой области околоземного космического пространства частицами высокой энергии.

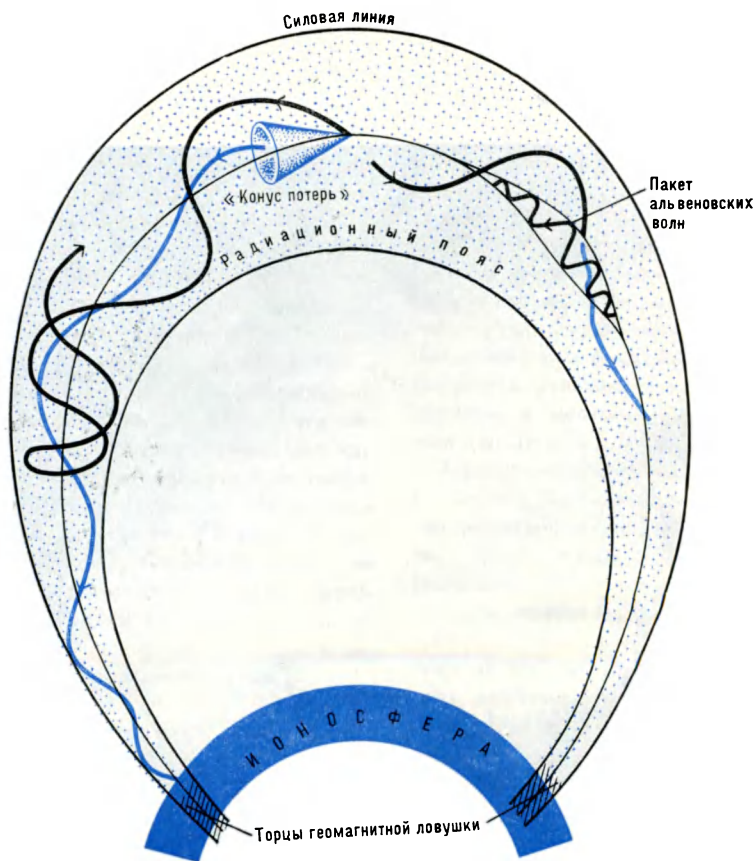
ЧАСТИЦЫ И ВОЛНЫ

Как известно, радиационные пояса — неотъемлемая часть магнитосферы Земли. Заполненные энергичными электронами и протонами, они занимают ее внутреннюю область. Корпускулярная радиация поступает в магнитосферу непрерывно, к тому же частицы ускоряются различными механизмами, действующими внутри нее. Обычные потери энергии, обусловленные столкновениями электронов и протонов с частицами низкоэнергичной, или «холодной», плазмы чрезвычайно малы. Поэтому в радиационных поясах скапливается огромное количество высокоэнергичных частиц. И если бы отсутствовали механизмы, регулирующие их накопление, возникла бы дополнительная проблема защиты космических аппаратов от интенсивной корпускулярной радиации.

Но сама природа помогла решить эту проблему. Оказывается, когда в радиационных поясах плотность частиц превышает некую «критическую» плотность, плазма, заполняющая их, переходит в качественно новое «**турбулентное**» состояние. В этом состоянии значительная доля энергии концентрируется в **электромагнитном из-**

лучении, которое обвязано своим происхождением **мазерному механизму**.

Как же работает этот механизм в радиационных поясах? Частицы радиационных поясов удерживаются в геомагнитной ловушке благодаря «магнитным пробкам» — сгущениям силовых линий в областях с повышенным значением магнитного поля. Большинство частиц, двигаясь вдоль магнитных силовых линий к Земле, отражаются от «магнитной пробки» и воз-

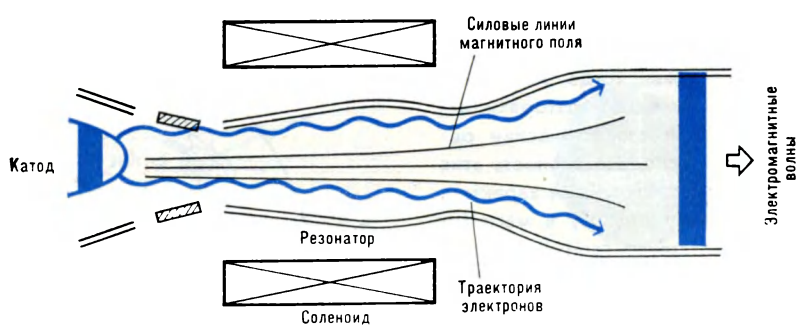


Движение частиц в радиационном поясе. Частицы, скорость которых лежит внутри «конуса потерь» (синие линии), погибают в плотных слоях земной атмосферы. Частицы со скоростями вне «конуса потерь» (черные линии) отражаются от «магнитных пробок» и захватываются геомагнитной ловушкой. С ростом плотности частиц в радиационных поясах возбуждаются альвеновские волны, рассеивающие захваченные частицы в «конус потерь»

вращаются в центральную область радиационных поясов. И чем меньше угол между вектором скорости частицы и направлением силовых линий, тем сильнее должно быть магнитное поле, способное отразить частицу. Как только этот угол становится меньше некоторой критической величины, частица достигает плотных слоев атмосферы и погибает. Таким образом, радиационный пояс оказывается обедненным частицами, вектор скорости которых в экваториальной области попадает в «конус потерь» (ось конуса совпадает с силовой линией, а угол при вершине равен критическому углу между вектором скорости частицы и силовой линией). В результате радиационный пояс становится «перенаселенным» частицами, движущимися с поперечными скоростями, то есть под большим углом к направлению геомагнитного поля.

Такая «перенаселенность» в радиационных поясах аналогична «инверсии заселенностей» энергетических уровней в **мазерных системах**. Именно эта «инверсия заселенностей», когда на верхних энергетических уровнях атомов больше, чем на нижних, лежит в основе индуцированного излучения мазеров. Избыток частиц с поперечными скоростями (поперечная анизотропия) приводит к тому, что в радиационных поясах возбуждается **циклотронная неустойчивость**. Здесь самопроизвольно начинает нарастать электромагнитное излучение, соответствующее **альвеновским волнам** и волнам типа свистящих атмосфериков.

Альвеновские волны обладают замечательным свойством. Они, подобно волнам, бегущим по натянутой струне или резиновому жгуту, «привязаны» к силовым линиям магнитного поля. В радиационных поясах они имеют возможность накапливаться, многократно отражаясь от торцов геомагнитной ловушки. В качестве таких торцов служат ионосферы в сопряженных полушариях. Так как ионосфера не идеально отражающее зеркало, часть электромагнитной энергии при отражениях теряется. Когда увеличение энергии электромагнитного сигнала из-за ци-



клотронной неустойчивости становится больше потерь энергии при отражении сигнала от ионосферы, плазма радиационных поясов переходит в турбулентное состояние. Прирост энергии тем больше, чем больше энергичных частиц в радиационных поясах. Когда их плотность превышает критический уровень, начинается **лавинообразное нарастание интенсивности волн**, препятствующее дальнейшему накоплению частиц. Энергичные электроны и протоны начинают рассеиваться на этих волнах, попадают в конус потерь и высыпаются в плотные слои атмосферы. Радиационный пояс «встряхивается», сбрасывая излишки быстрых частиц.

МАГНИТОСФЕРА — МАЗЕРНАЯ СИСТЕМА

Даже такой беглый взгляд на магнитосферу обнаруживает ее сходство с мазерными системами, с их необходимыми атрибутами — активным веществом, стимулированным излучением и резонатором. Это сходство особенно заметно, если сравнить магнитосферный мазер с известным электронным прибором — мазером на циклотронном резонансе, который был разработан советскими учеными под руководством академика А. В. Гапонова-Грехова в 60-х годах. Прибор используют для генерации мощных электромагнитных сигналов в сантиметровом и миллиметровом диапазонах волн. Удивительны простота конструкции и яс-

ность физических основ его работы: в полном резонаторе с квазиоднородным магнитным полем возбуждается электромагнитное излучение в результате инжекции электронов (преимущественно с поперечными скоростями). Качественный переход к **альвеновскому мазеру** произойдет, если значительно увеличить магнитное поле вблизи торцов резонатора и заполнить его холодной плазмой, то есть создать условия, подобные условиям в магнитосфере Земли.

Результаты последних космических экспериментов позволяют предполагать, что магнитосфера Юпитера по соотношению параметров еще ближе к мазерам на циклотронном резонансе, чем земная магнитосфера. Магнитное поле в ней значительно сильнее и гораздо меньшую роль играет фоновая холодная плазма. Поэтому вполне возможно, что радиоизлучение Юпитера своим происхождением во многом обязано механизму генерации, который реализуется в мазерах на циклотронном резонансе.

Интересно, что еще в 1960 году советские ученые академик Р. З. Сагдеев и В. Д. Шафранов, изучая проблемы управляемого термоядерного синтеза, теоретически предсказали существование циклотронной неустойчивости в плазме, близкой по параметрам к магнитосферной. За последующие годы теория циклотронной неустойчивости радиационных поясов получила всестороннее развитие и надежное экспериментальное подтверждение. В работе магнитосферного альвеновского мазера удалось обнаружить самые разнообразные режимы, характерные для мазерных систем, в частно-

■
Схема устройства лазера на циклотронном резонансе

сти, для оптических квантовых генераторов. Это — и режим непрерывной генерации, и периодические и пиковые режимы, когда излучение генерируется в виде повторяющихся импульсов, и стохастические режимы, когда последовательность этих импульсов носит случайный характер. Каждому такому режиму в магнитосфере соответствует свой тип низкочастотного электромагнитного излучения: крайне и очень низкочастотные «шипения»; излучения, которые по звуковому восприятию напоминают «утренние хоры» и щебет птиц; периодические крайне и очень низкочастотные шумы и т. д. Если бы человеческое ухо могло воспринимать электромагнитный звук, то во время магнитных бурь мы слышали бы целые космические «концерты».

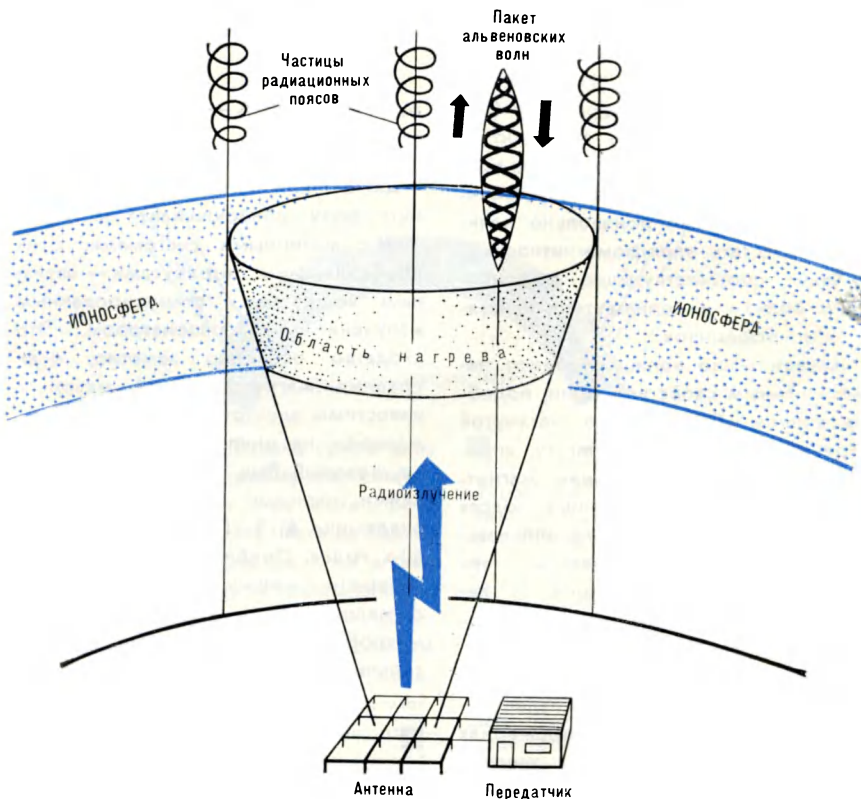
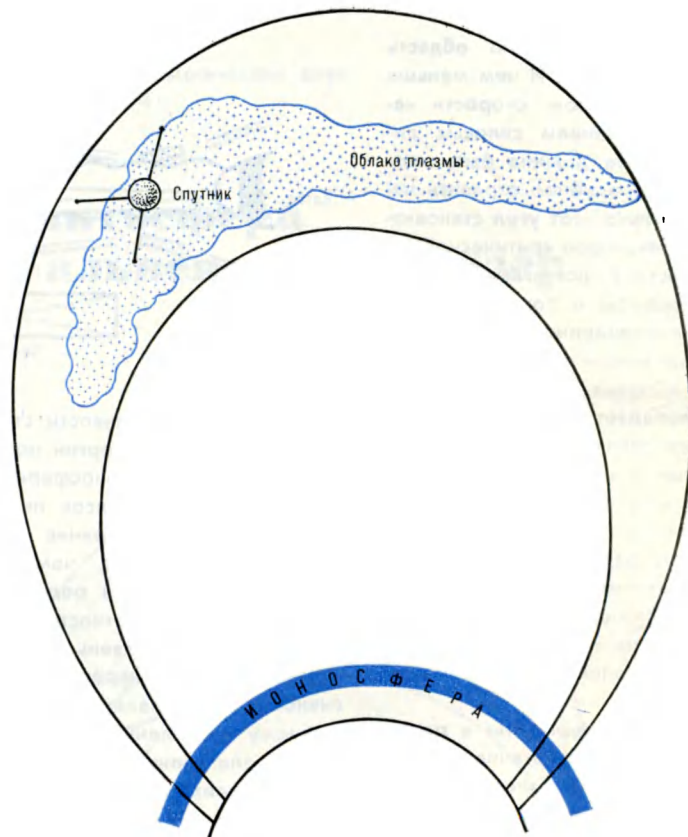
На основе представлений о магнитосферном альвеновском лазере удалось объяснить многие геофизические явления: периодические высыпания энергичных частиц из радиационных поясов и пульсирующие полярные сияния, колебания магнитных силовых трубок магнитосферы и периодические крайне и очень низкочастотные излучения.

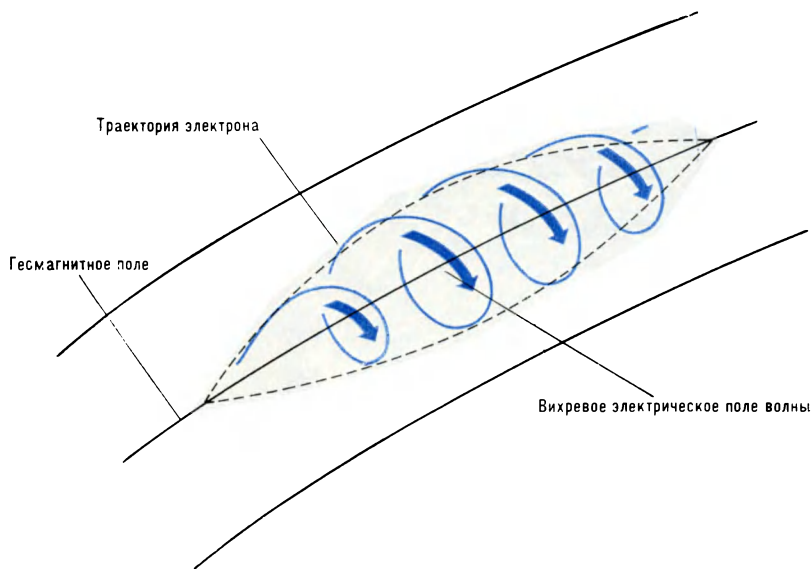
АКТИВНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ

Для более глубокого понимания процессов, происходящих в радиационных поясах, важную роль играют активные космические эксперименты. Существует несколько проектов таких экспериментов. Идея их

■ Проект эксперимента, в котором для создания циклотронной неустойчивости в магнитосфере со спутника инжектируется холодная плазма. Повышение плотности плазмы уменьшает фазовую скорость альвеновских и свистовых волн, и возникает резонанс этих волн с частицами радиационных поясов

■ Проект эксперимента, основанный на нагреве ионосферы радиоизлучением наземного передатчика. При нагреве изменяется коэффициент отражения альвеновских и свистовых волн от ионосферы, а следовательно, и порог возбуждения альвеновского лазера





тесно связана с представлениями о магнитосфере как о гигантском альвеновском лазере. Управлять его работой можно двумя способами. Первый основан на управлении пассивными элементами лазера — резонатором и зеркалами, возвращающими излучение в объем резонатора. В магнитосферном лазере резонатором служит магнитная силовая трубка. Ее «плазменное» содержание существенно влияет на условия возбуждения циклотронной неустойчивости. Когда плотность плазмы мала, альвеновские и свистовые волны не попадают в резонанс с частицами радиационных поясов и альвеновский лазер не работает. В реальных условиях циклотронная неустойчивость возбуждается лишь в областях магнитосферы с достаточно плотной плазмой, в частности, в плазмосфере, окружающей Землю и протягивающейся на расстояние трех-четырёх

земных радиусов. За пределами плазмосферы плазма практически отсутствует и циклотронная неустойчивость не возбуждается. Но здесь можно искусственно стимулировать генерацию волн, заполняя магнитную силовую трубку плазмой, инжектируемой с борта космического аппарата.

Именно такой эксперимент предложил в 1970 году американский ученый Н. Брайс. Для его осуществления с борта спутника необходимо выпустить примерно 10 кг ионизованного газа (например, водорода), равномерно распылив его на расстоянии около 10 000 км. Технически этот эксперимент выполнить довольно трудно. Более простым может быть другой эксперимент. В основе его лежит воздействие на зеркала магнитосферного резонатора, которыми служат ионосферы в сопряженных полушариях. Модулируя прозрачность ионосферного зеркала, например, периодически нагревая ионосферу радиоизлучением наземного передатчика, можно стимулировать периодические режимы работы альвеновского лазера. Они будут проявляться в генерации последовательных пиков очень низкочастотного излучения и в периодических высыпаниях частиц радиационных поясов в атмосферу.

Второй способ управления магнитосферным альвеновским лазером — создание в магнитосфере искусственного источника энергичных электронов. На этом основывается еще один проект активных экспериментов. Естественно, что мощность искусственного источника должна быть сравнима с мощностью естественных источников частиц. Для ускорения электронов в магнитосфере можно использовать излучение низкочастотных наземных радиопередатчиков. Электромагнитные волны, излучаемые передатчиками, распространяются вдоль магнитных силовых линий и достигают экваториальных областей магнитосферы. Если частота волны близка к частоте вращения электрона в геомагнитном поле, то возникает циклотронный резонанс. Электроны эффективно ускоряются, отбирая энергию у волны. Оценки показывают, что мощность существующих в настоящее время низкочастотных передатчиков достаточна, чтобы в локальной магнитной силовой трубке создать искусственный источник частиц, сравнимый с естественным.

Проект эксперимента, в котором создается искусственный источник энергичных электронов в магнитосфере. Когда частота электромагнитной волны совпадает с частотой вращения электрона в геомагнитном поле, наступает циклотронный резонанс. При этом электроны эффективно ускоряются вихревым электрическим полем волны



Член-корреспондент АН СССР
В. В. МИГУЛИН

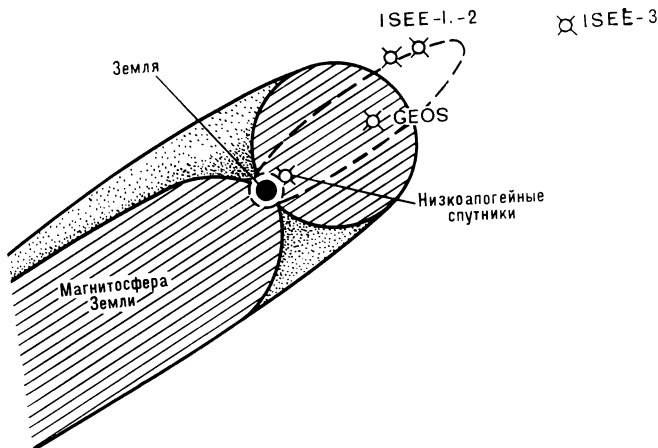
Международные исследования магнитосферы

В работах по проекту «Международные исследования магнитосферы» (МИМ) участвуют около 60 стран, включая СССР.

По предложению Международного совета научных союзов с 1976 по 1979 год проводятся международные исследования магнитосферы Земли. Опыт осуществления согласованных глобальных научных программ показал их исключительную эффективность. Например, результаты Международного геофизического года (1957/58) привели к значительному прогрессу наших знаний о Земле.

Цель исследований по программе **МИМ** — получить количественные представления о процессах, протекающих внутри магнитосферы, их динамике и энергетике. Все это необходимо для понимания магнитоионосферных возмущений, для решения проблем радиационной безопасности космических полетов, космической радиосвязи и для изучения влияния (через магнитосферу) солнечной активности на атмосферу и биосферу Земли.

Советская программа — весьма существенная часть общей программы **МИМ** и включает наземные наблюдения, исследования с помощью высотных аэростатов и космических аппаратов. Основу всей программы **МИМ** составляют согласованные исследования в глобальном масштабе, которые проводятся на Земле, в атмосфере и в околоземном космическом пространстве. Главная задача — создание **количественной модели магнитосферы** с учетом всех ви-



дов солнечной радиации и ее влияния на земную атмосферу. Большое значение в общей программе **МИМ** и в советских исследованиях придается выяснению физических основ и разработке методов предсказания параметров магнитосферы по наземным данным. Предполагается внести ясность в представления об эффектах плазменных и магнитогидродинамических неустойчивостей в магнитосфере, о взаимодействии частиц и волн, об электрических полях и токах. Значительное внимание уделяется созданию физической модели развития суббурь на основе специально поставленных исследований, включающих активные эксперименты.

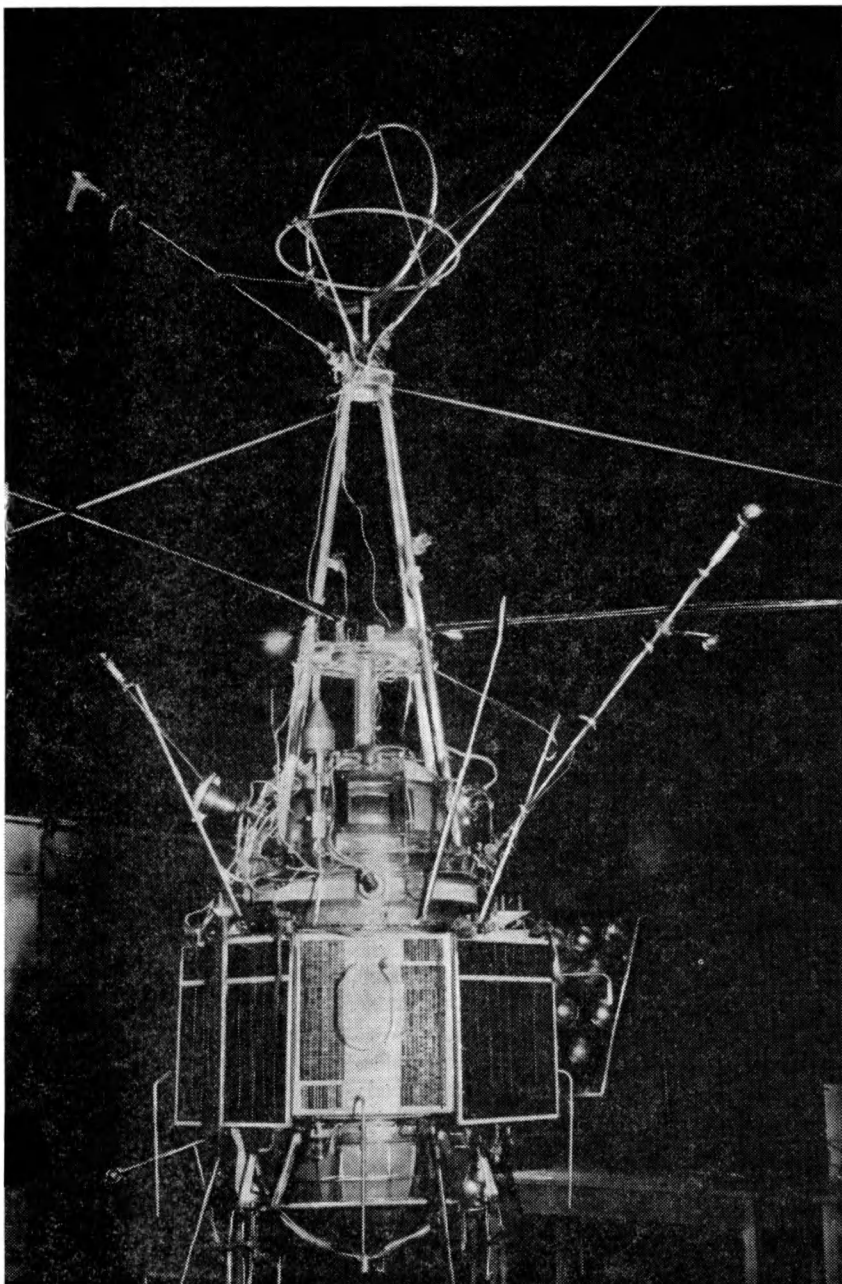
Большое значение имеют исследования в полярных областях и, в частности, в полярной ионосфере. Для

выяснения ионосферно-магнитосферных связей необходимо изучить ионосферные процессы в авроральном овале, плазмопаузу, а также низкоширотную и экваториальную ионосферу. При этом наземные наблюдения должны сочетаться с синхронными измерениями с аэростатов и искусственных спутников Земли.

Особое значение в исследованиях магнитосферы приобретают спутниковые исследования, которые проводятся также по согласованной программе. Эксперименты на спутниках с низкой орбитой задуманы для выяснения характера магнитосферно-ионосферных связей и комплексного изучения ионосферы. Спутники с высоким апогеем предназначены для изучения процессов в магнитосфере и солнечно-земных связей, а также солнечного ветра.

Европейское космическое агентство, США, Канада, Япония, Великобритания запустили более 50 спутников по программе **МИМ**. На период работы основного спутника **GEOS** (гео-

■
Схема расположения искусственных спутников Земли, запущенных по программе МИМ в околоземное космическое пространство



стационарный спутник), обеспечивающего прямые измерения в космосе, запланированы синхронные наблюдения геомагнитных пульсаций и очень низкочастотных излучений вдоль гео-

магнитного меридиана с долготой 110—115°, который проходит в СССР через Карелию и обсерваторию Борок (Ярославская обл.). Эти наблюдения координируются с наблюдениями вдоль того же меридиана в Скандинавии, на Медвеьем острове и Шпицбергене.

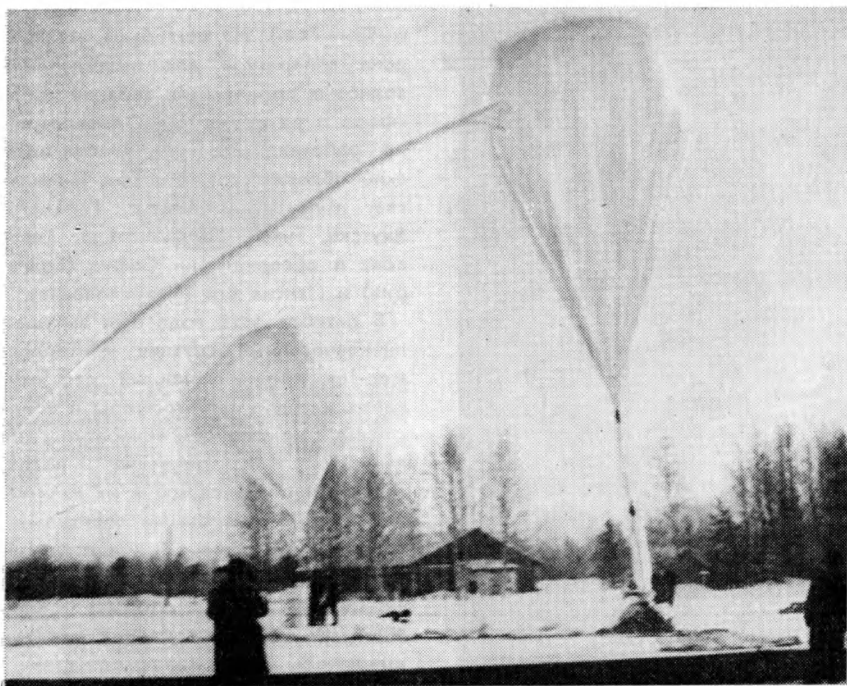
В 1975 году был запущен спутник «Интеркосмос-14» («Земля и Вселен-

ная», № 3, 1976, с. 28—37; № 6, 1976, с. 92.—Ред.). На нем была установлена аппаратура для исследования волновых процессов в верхней ионосфере и ее структуры. Одновременно работали наземные геофизические обсерватории Москвы, Норильска, Мурманска, Апатит, Горького, Якутска, Тикси, Калининграда, Харькова и обсерватории София (Болгария) и Панска Вес (Чехословакия).

В октябре 1978 года был запущен низкоапогейный спутник «Интеркосмос-18», предназначенный для изучения нижней магнитосферы и ионосферы, с комплексом аппаратуры для изучения электрических полей, свойств частиц плазмы и их взаимодействия с волновыми электромагнитными процессами. В конце февраля 1979 года в СССР был запущен «Интеркосмос-19» (с апогеем около 1000 км) для исследования верхней ионосферы и ее взаимодействия с магнитосферой и для изучения электромагнитных процессов, связанных с динамикой плазмы в этой области.

В высоких широтах проводится серия советско-шведских аэростатных экспериментов по проекту **САМБО** (синхронные авроральные множественные баллонные обсерватории). Цель экспериментов — изучить потоки авроральных электронов и их энергетический спектр по тормозному рентгеновскому излучению. Предполагается также исследовать динамику и тонкую структуру вторжения частиц в ионосферу высоких широт, вариации электрических полей, возникающих во время магнитосферных возмущений. Эксперименты эти проводятся на высотах от 30 до 40 км с аэростатов, оснащенных аппаратурой для измерения тормозного рентгеновского излучения, свечения полярных сияний и изменений электрического поля. Аэростаты запускаются из района Кируна (Северная Швеция) и движутся по направлению к Уралу, дрейфуя над Швецией, Финляндией и севером европейской части СССР. На территории Советского Союза радиотелеметрическая информация принимается в Апатитах, Шойне, Нарьян-Маре, Амдерме. Одновременно ведутся наземные измерения магнитометрами, фотометрами, ионзонда-

■
Искусственный спутник Земли
«Интеркосмос-14»



ми, камерами всего неба и другими приборами.

В эксперименте **САМБО-76** было запущено 13 аэростатов, **САМБО-78** преследовал те же цели, что и эксперимент 1976 года. Он выполнялся во время работы американо-европейского комплекса, состоящего из трех спутников серии ISEE (международные спутники «Эксплорер» для изучения солнечно-земных связей) и спутника GEOS-2.

В начале 1979 года проводилась серия экспериментов по проекту **САМБО-2**, предусматривавшая запуск аэростатов одновременно с работой спутников «Интеркосмос-18 и -19», спутников серии ISEE и GEOS. Цель экспериментов — синхронные наблюдения процессов в возмущенной магнитосфере и ионосфере. В работах по проекту САМБО, кроме СССР, участвуют Франция, Австрия, Швеция.

■
Запуск высотных аэростатов по проекту САМБО

В рамках программы МИМ будут проводиться наблюдения на спутниках «Прогноз» и «Метеор».

Успешно осуществляется проект «**Геофизический полигон в Антарктике**». Цепочка станций в высоких широтах южного полушария непрерывно регистрирует вариации геомагнитного поля. Измерения проводятся автономными магнитовариационными станциями. Эти данные необходимы для решения важных научных задач. К их числу относятся исследования взаимодействия солнечного ветра с магнитосферой Земли и механизмов, с помощью которых в области магнитосферной щели энергия солнечного ветра передается земной атмосфере. Геомагнитные данные, полученные в Антарктике, помогут также изучить структуру и динамику ионосферной струи над магнитосферной щелью, прояснят роль северо-южной асимметрии взаимодействия межпланетного и геомагнитного поля, а также облегчат определения относительного вклада корпускулярного и волнового излучения Солнца в конвекцию плазмы в магнитосфере полярной шапки.

На период проведения МИМ на-

значен ряд комплексных экспедиций. Их программа — координированные наблюдения полярных сияний и свечения ночного неба, вариаций магнитного поля, геомагнитных пульсаций и очень низкочастотных излучений, а кроме того, — ионосферные и риометрические исследования. Совместные наземные и космические данные позволят провести комплексное изучение геофизических процессов в приполярной области. Экспедиции проходят на базе временных и постоянных станций, расположенных по Норильскому, Якутскому и Магаданскому меридианам. Состоялись экспедиции «**Сибирь — МИМ-76**» и «**Сибирь — МИМ-77/78**».

Важные научные данные получены в рамках проекта «**Геомагнитный меридиан**». Базу для наблюдений составили две цепочки станций вдоль магнитных меридианов 105° и 145°. Здесь была уплотнена сеть станций, увеличено число наблюдательных пунктов в зоне полярных сияний, модернизировано оборудование. Регулярные наблюдения в рамках этого проекта начались в 1974 году и дали много ценных результатов.

В отличие от программы Международного геофизического года, проект МИМ проводится в условиях специально созданной системы обмена научной информацией между странами — участницами МИМ. Сюда входит и оперативная обработка данных мощными ЭВМ. Нет сомнений, что в результате выполнения проекта «Международные исследования магнитосферы» будет получено много ценных научных данных, которые позволят выявить различные стороны изучаемых явлений.

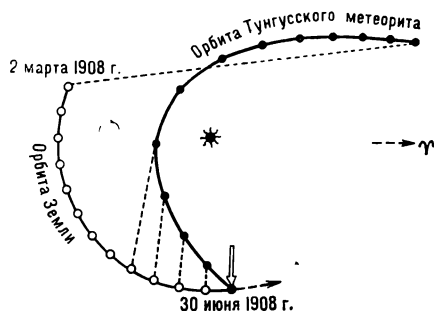
ТУНГУССКИЙ МЕТЕОРИТ — ОСКОЛОК КОМЕТЫ ЭНКЕ?

Еще один аргумент в пользу кометной природы Тунгусского метеорита («Земля и Вселенная», № 6, 1978, с. 37—41.—*Ред.*) получил недавно чехословацкий астроном Л. Кресак. Он решил восстановить орбиту Тунгусского объекта и посмотреть, не связан ли он с какой-либо кометой.

Чтобы рассчитать орбиту метеорита или метеорного потока, достаточно знать дату падения, координаты радианта и скорость входа в атмосферу. Для Тунгусского метеорита точно известен только момент падения. Координаты радианта (точки на небесной сфере, откуда как бы вылетел метеорит) определяли в разное время И. С. Астапович, Е. Л. Кринов и И. Т. Зоткин. Они вычисляли азимут траектории, а наклон ее к горизонту оценивали по рассказам многочисленных очевидцев Тунгусского падения весьма приблизительно. Наиболее точное определение координат радианта с учетом всех собранных показаний очевидцев принадлежит И. Т. Зоткину. Полученный им азимут траектории хорошо согласуется с азимутом, вычисленным В. Г. Фастом, который исследовал поле вывала деревьев в районе Тунгусской катастрофы.

Начиная свою работу, Л. Кресак не знал, что еще в 1969 году И. Т. Зоткин, сравнив координаты радианта Тунгусского метеорита и метеорных потоков, высказал предположение о возможной связи Тунгусского тела с кометой Энке. Это предположение было напечатано в статье... о свечении неба, сопровождавшем Тунгусское явление. Статья, опубликованная в сборнике «Метеоритика», не привлекла тогда внимания астрономов.

Л. Кресак взял за основу координаты радианта, определенные И. Т. Зоткиным, и тоже нашел, что эти координаты хорошо согласуются с координатами радианта метеорного потока β-Таурид, а поток β-Таурид связан с кометой Энке. Чехословац-



кий астроном вычислил радиант кометы Энке и обнаружил, что он соответствует точке наибольшего сближения кометы с Землей и направлению движения кометы в этой точке. Вернее, радиант располагается на пересечении касательной к орбите кометы в данной точке с небесной сферой.

Радианты Тунгусского метеорита, кометы Энке и метеорного потока β-Таурид

| Объект | Координаты | | |
|---------------------|----------------|--------------------|-----------|
| | Долгота Солнца | Прямое восхождение | Склонение |
| Тунгусский метеорит | 98° | 79° | +13° |
| Комета Энке | 98° | 85° | +13° |
| β-Тауриды | 98° | 87° | +19° |

Далее Л. Кресак построил схему встречи Тунгусского объекта с Землей, считая его осколком кометы Энке. Расстояние точки встречи метеорита с Землей от орбиты кометы составило 0,18 а. е. Напомним, что встреча Земли с метеорами потока β-Таурид происходит и на больших расстояниях от орбиты кометы.

Обстоятельства встречи Земли и Тунгусского метеорита (по вычислениям Л. Кресака). Обе орбиты изображены в проекции на плоскость эклиптики (вид с Северного полюса эклиптики). Положения Земли (кружки) и метеорита (точки) отмечены через 10-суточные интервалы. Стрелка в месте встречи показывает геоцентрическое направление полета метеорита



Если предположение Л. Кресака справедливо, то скорость встречи метеорита с Землей равна 31 ± 2 км/с. Это значение мало отличается от скорости, полученной в 1975 году В. А. Бронштэном и А. П. Бояркиной из анализа воздействия ударной волны на деревья: 26 ± 4 км/с.

Л. Кресак в своей статье, опубликованной в «Бюллетене астрономических институтов Чехословакии» (29, 3, 1978), отметил приоритет И. Т. Зоткина в постановке вопроса о родстве Тунгусского метеорита с кометой Энке. Расчеты Л. Кресака значительно повысили вероятность этого предположения. А высказанное им мнение о том, что ледяные ядра комет могут дробиться на осколки от 1 до 100 м диаметром, хорошо согласуется с представлением о большинстве ярких болидов как своеобразных микрокомет. Последнее было обосновано автором этой статьи в ходе анализа высот разрушения болидов в атмосфере Земли («Природа», № 7, 1976, с. 47—49). Именно тот факт, что весьма яркие болиды (порой в сотни раз ярче полной Луны) не завершаются выпадением метеоритов, указывает на их ледяную (а не каменную или железную) природу. И опять не кто иной, как И. Т. Зоткин первым в 1971 году отметил их родство с Тунгусским метеоритом, озаглавив свою статью в журнале «Природа» (№ 11, 1971, с. 83—84) «Тунгусские метеориты падают каждый год!»

Кандидат физико-математических наук
В. А. БРОНШТЭН



Директор Солнечной обсерватории
АН ГДР
профессор Ф. В. ЕГЕР

Башня Эйнштейна в прошлом и настоящем

Потсдам, Телеграфная гора. Здесь на территории Центрального института солнечно-земной физики имени Генриха Герца Академии наук ГДР возвышается своеобразное здание, известное как Башня Эйнштейна. Ее история связана с событиями, происходившими в физике в начале XX столетия.

После того как Эйнштейн закончил разработку общей теории относительности (ОТО), появилась острая необходимость в экспериментальной проверке вытекающих из этой теории совершенно необычных для того времени физических представлений. Возглавлявший тогда Потсдамскую астрофизическую обсерваторию К. Шварцшильд нашел специальное решение уравнений Эйнштейна применительно к Солнцу, что явилось подходящей теоретической основой для эксперимента. Речь шла о проверке предсказанных Эйнштейном эффектов взаимодействия гравитационного поля с электромагнитным излучением — отклонении света звезды в гравитационном поле Солнца и гравитационном красном смещении линий солнечного спектра по сравнению с линиями, наблюдаемыми в спектрах земных источников («Земля и Вселенная», № 2, 1979, с. 4—9.— Ред.).

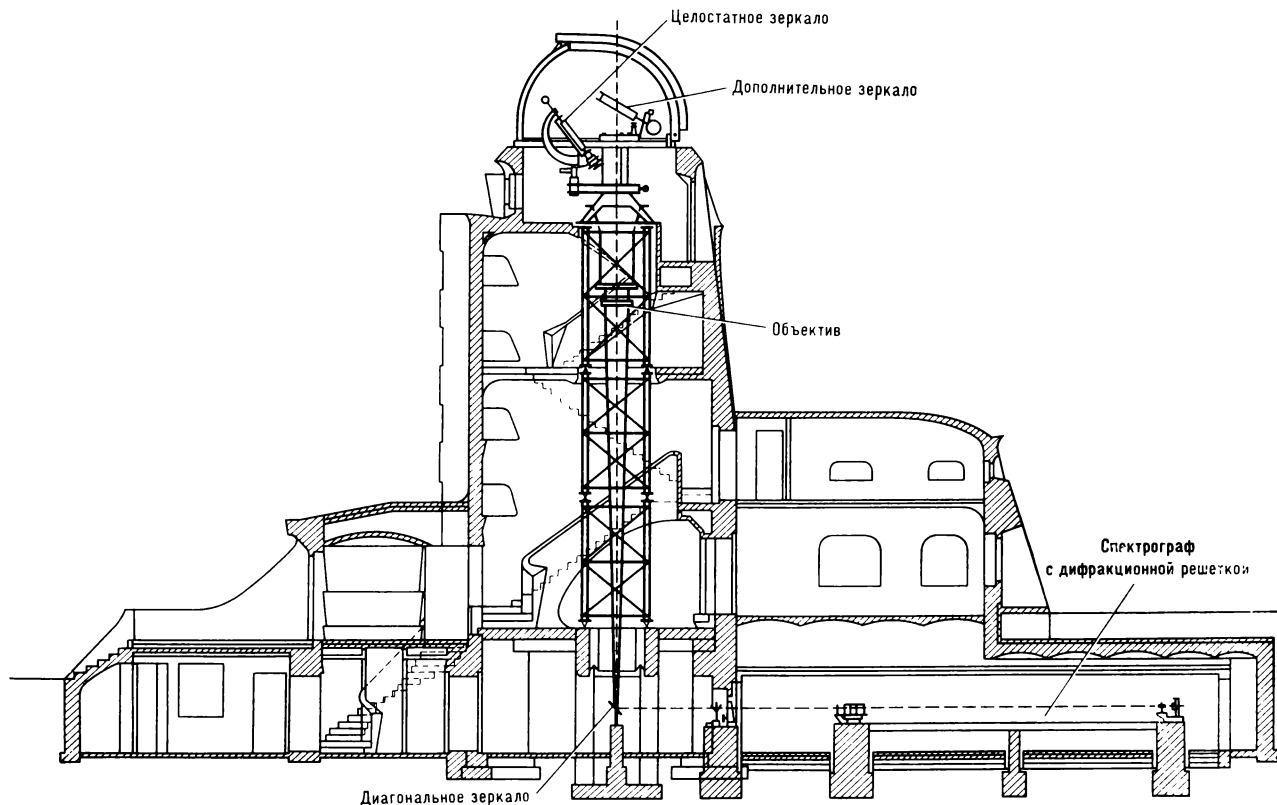
В 1920 году идеей проверки ОТО увлекся работавший в Потсдамской обсерватории молодой астрофизик Э. Фрейндлих. Предварительные изыскания показали, что без значительных методических и инструментальных разработок нельзя и думать о проверке эффектов ОТО; особенно необходима была установка для измерения величины красного смеще-



ния спектральных линий. Фрейндлих предложил проект солнечной обсерватории, состоявшей из башенного телескопа и спектрографа. Длиннофокусная оптическая система телескопа располагалась вертикально. К ней солнечный свет подводился подвиж-

ными зеркалами. Спектрограф, установленный горизонтально, имел высокую разрешающую способность. Осуществлению этого тщательно разработанного проекта мы обязаны неутомимой деятельности Фрейндлиха. Для продвижения и финансирования строительства был утвержден эйнштейновский фонд. К созданию архитектурного проекта и строительству обсерватории привлекли та-

■
Башня Эйнштейна



лантливого архитектора Э. Мендельзона, который спроектировал здание обсерватории как «монумент науки».

Это единственное в своем роде сооружение по праву относится к охраняемым в ГДР памятникам архитектуры, вид его и поныне приводит в восхищение ценителей зодчества. Начало строительства башни относится к 1920 году. В 1922 году обсерватория была принята комитетом эйнштейновского фонда и названа именем Эйнштейна. Директором этого, тогда еще самостоятельного, учреждения назначили Фрейндлиха. Эйнштейн стоял во главе попечительского совета.

Программа исследования релятивистского красного смещения линий в солнечном спектре оказалась сложной, многогранной и проблематичной. Смещение линий в спектре Солнца может быть вызвано давлением и движением солнечной плазмы. Как выделить на фоне этого эффекта релятивистское красное смещение ли-

ний? Потребовались многочисленные исследования солнечного спектра и сравнение его со спектрами эталонных источников. В конце концов сотрудники обсерватории пришли к выводу, что для успешного выполнения поставленной задачи необходимо точнее знать физические условия в солнечной атмосфере, а такие знания можно получить лишь из интенсивных исследований по физике Солнца.

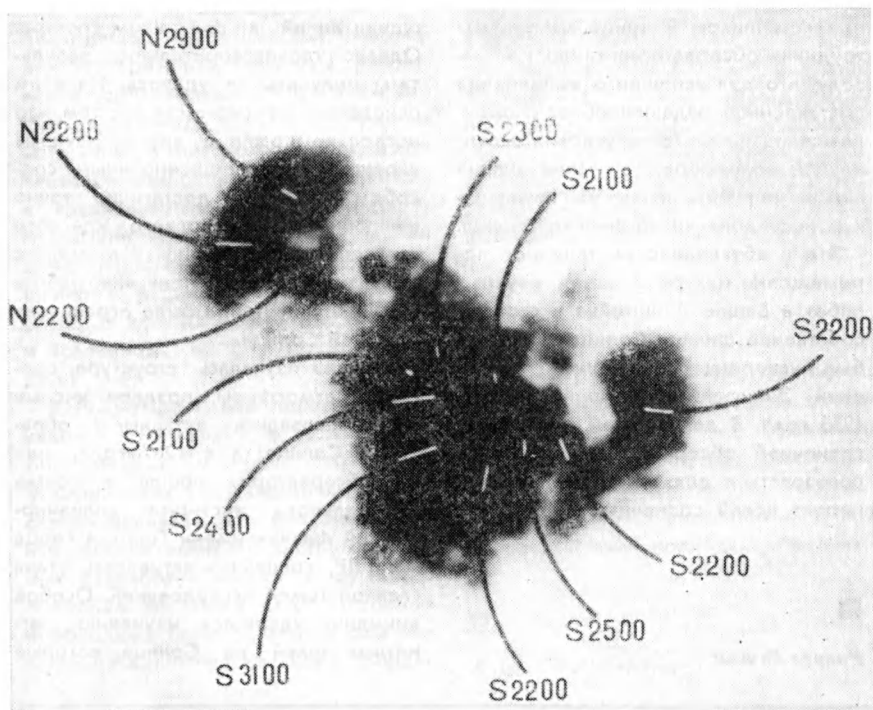
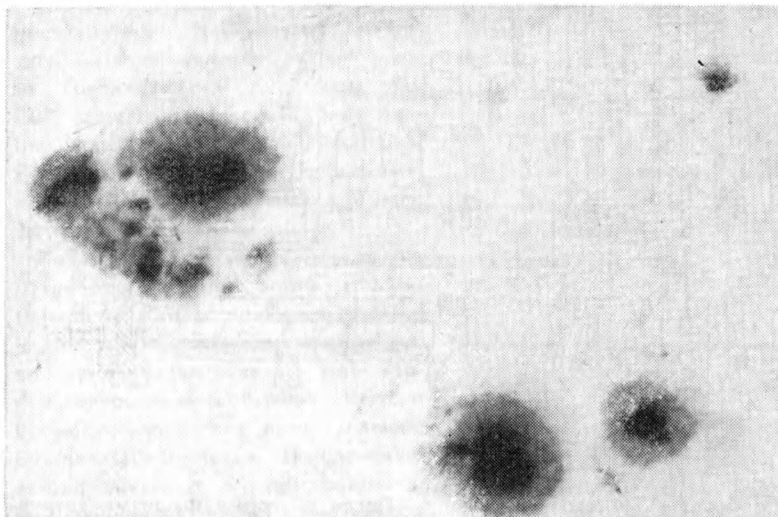
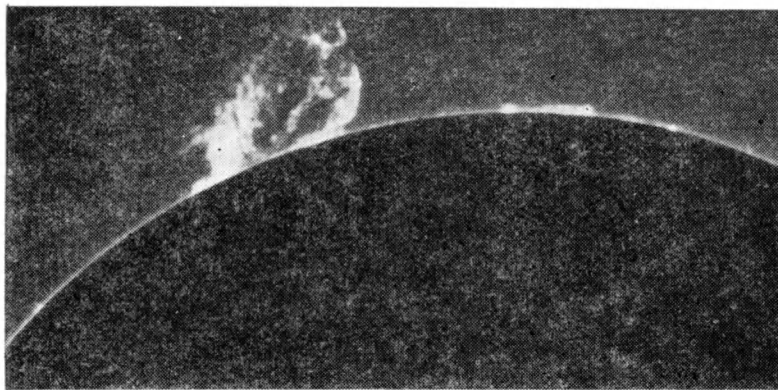
Это и обусловило постепенное перемещение центра тяжести научных работ в Башне Эйнштейна в сторону собственно физики Солнца. Переход был «ускорен» вынужденной эмиграцией Эйнштейна и Фрейндлиха в 1933 году. В дальнейшем аппаратура солнечной обсерватории стала использоваться для исследования магнитных полей солнечных пятен.



Разрез башни

После разгрома фашизма сотрудники обсерватории возобновили изучение релятивистского красного смещения линий в солнечном спектре. Однако удовлетворительные результаты получить не удалось. На этом основании, а также в связи с тем, что несколько позже в других научных учреждениях совершенно иным способом измерили достаточно точно величину релятивистского красного смещения спектральных линий, с 1961 года исследовательская работа в Башне Эйнштейна была ограничена физикой Солнца.

Сначала изучалась структура солнечной атмосферы, позднее ученые заинтересовались активными областями Солнца, а с 1967 года, когда обсерватория вошла в состав Центрального института солнечно-земной физики имени Генриха Герца АН ГДР, солнечная активность стала главной темой исследований. Особое внимание уделяется изучению магнитных полей на Солнце, которые



можно рассматривать как причину многообразных проявлений солнечной активности — пятен, факелов, протуберанцев, вспышек.

Аппаратура солнечной обсерватории оказалась пригодной для измерения магнитных полей пятен. На изображении Солнца, построенном длиннофокусным башенным телескопом, можно точно установить границы активных областей, а спектрограф, дифракционная решетка которого сделана в СССР, позволяет исследовать тонкие детали в спектре Солнца. Величину магнитного поля получают, определяя относительный сдвиг компонентов спектральной линии, на которые она расщепляется под действием эффекта Зеемана («Земля и Вселенная», № 6, 1968, с. 17—23.—Ред.). Причем сдвиг компонентов измеряется микрометром на фотографиях спектра или фотоэлектрическим методом, который применяют с 1970 года, после ввода в строй магнитографа, изготовленного в СССР. Магнитограф, помимо различных магнитных параметров, одновременно позволяет определять и доплеровские скорости газов в солнечной атмосфере. Приобретенный опыт и использование мировых достижений привели к техническому усовершенствованию магнитографа и к улучшению методики измерения на нем. Машинная обработка экспериментальных данных и их накопление в памяти ЭВМ способствовали росту точности получаемой информации.

Результаты наблюдений помогают обнаружить временные изменения вектора магнитного поля и составить магнитокинематические карты активных областей Солнца. На основе этих



Снимки протуберанца (вверху) и солнечных пятен, полученные на башенном солнечном телескопе



Группа пятен, сфотографированная на башенном солнечном телескопе. Указаны полярность магнитных полей пятен (N — северная, S — южная) и величины магнитных полей в гауссах

данных удается проследить пространственную и временную структуру магнитного поля не только в фотосфере, но и в более высоких слоях солнечной атмосферы. Становятся яснее законы развития магнитных полей и появляется возможность для интерпретации наблюдаемых процессов с точки зрения магнитогиродинамики. Используя наряду с магнитными измерениями данные радиоастрономических наблюдений Солнца, можно разработать комплексную модель типичной активной области Солнца. Эта модель позволит воссоздать единую картину связанных между собой процессов, объяснить их, а значит, продвинуться в деле прогноза солнечных явлений. Совершенно

очевидно, что такая в высшей степени сложная научная цель не может быть достигнута одним небольшим коллективом обсерватории. Поэтому работа Центрального института солнечно-земной физики АН ГДР увязана с международной программой по проблеме Солнца, осуществляемой академиями наук стран социалистического содружества. Участвующие в этой программе обсерватории расположены на огромной территории — от Восточной Сибири в Азии до Центральной Европы. Наблюдения выполняются на одинаковых магнитографах по единой программе. Такая «цепь магнитографов» дает весьма полный и однородный наблюдательный материал, пригодный для

совместной обработки. На основе этих наблюдений, возможно, удастся объяснить физические процессы в активных областях Солнца.

Полвека назад создатели обсерватории в Башне Эйнштейна задались целью экспериментально подтвердить общую теорию относительности — основу современной физической картины мира. Сейчас коллектив обсерватории проводит большую работу по физике Солнца, изучая, главным образом, магнитные поля активных областей. Эти исследования помогут ответить на вопрос, в какой степени среда обитания человека зависит от Солнца.

Перевел с немецкого
З. Л. ПОНИЗОВСКИЙ



ЭЛЕКТРОНИКА В АСТРОНОМИЧЕСКИХ НАБЛЮДЕНИЯХ

Покрытия планет и звезд Луной наблюдались с древнейших времен. Еще Аристотель в IV веке до нашей эры наблюдал покрытие Марса, а в 1497 году Николай Коперник — покрытие Альдебарана (α Тельца).

Известны случаи, когда подобные наблюдения приводили к важным открытиям. Так, 10 марта 1977 года астрономы ряда стран следили за покрытием слабой звезды в созвездии Весов. В роли экранирующего небесного тела выступала не Луна, а планета Уран. Наблюдения преподнесли сюрприз: у далекой планеты-гиганта были обнаружены кольца («Земля и Вселенная», № 6, 1977, с. 55).

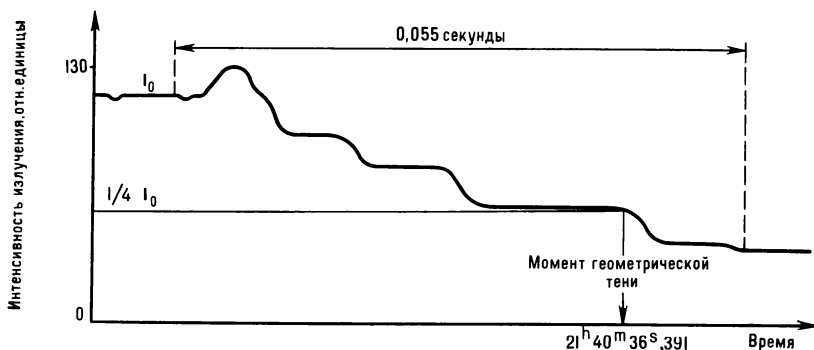
В Советском Союзе регулярные наблюдения покрытий звезд Луной ведутся визуально в астрономических обсерваториях Киева, Полтавы, Абастумани, Казани и Томска. Астроном Б. Ф. Синяцкул, работающий в Полтавской обсерватории, сконструировал и на протяжении ряда лет успешно использует фотоэлектрическую установку, которая позволяет определять момент исчезновения звезды за диском Луны. Детальную запись фотометрической картины покрытия звезды Луной получил 11 апреля 1978 года В. Е. Васильев. Он — аспирант кафедры астрономии и небесной механики Ленинградского государственного университета. Руководит его работой член-корреспондент АН СССР М. С. Зверев. Объектом исследования был Альдебаран. Покрытие длилось всего 0,055 секунды. Как протекало это явление?

Во время солнечного затмения Луна закрывает от нас Солнце постепенно, и также постепенно гаснет исходящий от него свет. Звезды исчезают за краем лунного диска практически мгновенно. По крайней мере, так кажется наблюдателю, отмечающему момент покрытия визуально. Электронное устройство способ-

но не только заменить человеческий глаз, но и каждую тысячную долю секунды измерять количество света, идущего от звезды, и автоматически записывать эти показания.

Вследствие дифракции звезда исчезает за краем Луны совсем не мгновенно. И свет от нее угасает тоже не мгновенно, а в определенной зависимости, которую наглядно можно представить в виде синусоиды с затухающей амплитудой колебания. У каждой звезды — своя синусоида, ибо каждая звезда имеет присущие только ей особенности. Исследуя графическую «картинку» (синусоиду) на ЭВМ, можно получить ряд научных данных, в том числе и о самих звездах. Например, можно измерить их угловые диаметры, распределение яркости по диску, открывать новые двойные и кратные звездные системы и определять их характеристики.

Чтобы приступить к автоматическим измерениям, потребовалось преодолеть немалые технические трудности. Дело в том, что за тысячную долю секунды в приемник поступает очень мало света от звезды. В то же время Луна создает на ночном небе яркий фон рассеянного света, который буквально «заби-



вает» звезду: световой сигнал от звезды как бы тонет в нем. Чтобы выделить звезду на этом фоне, в телескопе используется диафрагма с небольшим отверстием, в которое практически видна только звезда. Но здесь сразу возникла новая трудность, связанная с необходимостью очень точного гидрирования. Эту задачу удалось решить, применяя высокоточный часовой механизм, который поворачивает телескоп синхронно суточному вращению небесной сферы.

А как записать показания электронного устройства, измеряющего интенсивность света каждую миллисекунду? Ведь для этого регистрирующий прибор должен ежесекундно производить тысячу записей!

Пришлось сконструировать и построить специальную мини-ЭВМ, которая запоминает все практически мгновенные измерения и затем выводит их на перфоратор, но со скоростью уже в 100 раз меньшей. ЭВМ автоматически выбирает из множества измерений такие, которые несут информацию о самом покрытии. Это и есть та самая синусоида, только в закодированном виде.

Измерения покрытий звезд Луной лишь тогда приобретают истинную

Изменение интенсивности излучения Альдебарана во время покрытия Луной. Момент геометрической тени определен как $1/4 I_0$, где I_0 — интенсивность излучения звезды в отсутствие экранирующего тела. Наблюдения В. Е. Васильева

научную ценность, когда они с высокой точностью привязаны к стандартной шкале времени. Для этой цели были построены электронные кварцевые часы и использован приемник сигналов точного времени. С их помощью привязка осуществляется с точностью ± 1 миллисекунда.

Современная электронная техника прочно входит в наблюдательную астрономию. Без нее сегодня уже невозможно достичь той точности, которая необходима для решения научных и народнохозяйственных задач. Наблюдая покрытия, ученые смогут решить такую важную проблему астрономии, как создание точной теории движения Луны, проследить за нерегулярными изменениями скорости вращения Земли.

О. Н. КОРОТЦЕВ

НЕАО-А: ПЕРВЫЕ НАБЛЮДЕНИЯ

Около двух лет прошло после запуска в США искусственного спутника НЕАО-А (High Energy Astronomical Observatory — Астрономическая обсерватория высоких энергий). Спутник несет научную аппаратуру массой более трех тонн и исследует небо в обширном диапазоне энергий — от 0,15 кэВ до 10 МэВ. Аппаратура НЕАО-А чувствительнее приборов, установленных на рентгеновских спутниках SAS-3 и «Арпэль». Точность определения координат рентгеновских источников достигает 0,5'.

Приборы НЕАО-А открыли немало слабых рентгеновских источников, наблюдали течение вспышек «временных» рентгеновских источников, уточнили координаты многих известных источников. 27 августа 1977 года приборы спутника зафиксировали вспышку источника Циркуль X-1 и обнаружили изменения рентгеновского блеска с периодом около 2,5 секунды. Наблюдения за рентгеновским источником, связанным с галактикой NGC 5128 в созвездии Центавра, позволили доказать, что источник расположен в центре этой галактики. Проводились исследования диффузного рентгеновского фона. Согласно наблюдениям, спектр фонового излучения соответствует спектру излучения абсолютно черного тела с температурой около 450 млн. градусов. Если фон создается горячим межгалактическим газом, то можно определить его плотность и найти среднюю плотность вещества во Вселенной. Оказалось, что величина этой плотности близка к критической (10^{-29} г/см³). Дальнейшие исследования позволят сделать выбор между открытой и закрытой моделями Вселенной.

Программа НЕАО-А далеко не исчерпана. Предполагается исследовать рентгеновские источники с очень коротким временным разрешением — до 0,005 секунды. Будут изучены все известные пульсары и остатки Сверхновых с целью поиска пульсаций рентгеновского излучения. Планируется новый обзор «рентгеновского неба», особенно на высоких галактических широтах, где число источников быстро растет с уменьшением интенсивности.

«Sky and Telescope», 56, 6, 1978.

НОВЫЙ ТИП РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ

В августе 1977 года приборы НЕАО-А обнаружили рентгеновское излучение от звезды HR 1099, принадлежащей к двойным системам типа RS Гончих Псов. Это — система с двумя звездами-субгигантами

спектральных классов G или K. Релятивистских объектов в таких системах нет. Расстояние до HR 1099 около 30 пс, и рентгеновская светимость ее невелика — около 10^{31} эрг/с, в миллионы раз меньше, чем светимость ярких рентгеновских источников, таких, например, как Геркулес X-1.

По сообщению американских ученых Ф. Уолтера, П. Чарлза и С. Бойера, в системе HR 1099 в рентгеновском диапазоне излучает плазма, нагретая до 10^6 К. Эта плазма может находиться в коронах звезд-субгигантов.

В декабре 1977 года приборы HEAO-A зарегистрировали рентгеновское излучение и от самой звезды RS Гончих Псов. Ее рентгеновская светимость оказалась несколько больше — около 10^{32} эрг/с.

Интересно, что еще 24 сентября 1976 года с борта английского спутника «Коперник» наблюдалась рентгеновская вспышка звезды HR 1099, продолжавшаяся около трех часов. Одновременно вспышку зафиксировали радиоастрономы, а в оптические телескопы наблюдатели отметили изменения интенсивности линий H_{α} и L_{α} в спектре HR 1099. Стабильный рентгеновский поток в то время не удалось обнаружить. Английские ученые Н. Уайт, П. Сэнфорд и Е. Вейлер считают, что мощность рентгеновской вспышки в 1000 раз превышала мощность ярких солнечных вспышек.

«Nature», 274, 5671, 1978.

ЗАПУСК HEAO-B

13 ноября 1978 года в США был запущен искусственный спутник Земли HEAO-B. Спутник выведен на круговую орбиту высотой около 440 км. На его борту находится зеркальный рентгеновский телескоп диаметром 60 см, на котором исследуются космические рентгеновские источники в диапазоне энергий от 0,15 до 4 кэВ. Спутник снабжен очень чувствительной рентгеновской аппаратурой; разрешение в центре поля зрения рентгеновского телескопа составляет 2". Это позволит

получить первые рентгеновские фотографии далеких скоплений галактик, остатков Сверхновых звезд и других протяженных объектов.

Аппаратура HEAO-B способна фиксировать источники, в тысячи раз более слабые, чем известные ранее. До полета HEAO-B было обнаружено около 500 рентгеновских источников, через полгода работы спутника HEAO-B число их, как ожидается, достигнет 5000. Программа наблюдений спутника обширна, она включает исследование скоплений галактик, квазаров, активных галактик, обычных звезд, белых карликов, остатков Сверхновых и диффузного рентгеновского фона.

«Sky and Telescope», 56, 5, 1978.

ОПТИЧЕСКАЯ ПЕРИОДИЧНОСТЬ ЛЕБЕДЯ X-1

Итальянские астрономы Д. Натали и Р. Месси в мае — июне 1976 года наблюдали звезду HDE 226868, отождествляемую с источником Лебедь X-1 («Земля и Вселенная», № 5, 1975, с. 34—38.— *Ред.*), и выявили изменения ее оптического блеска. Через каждые $61,9 \pm 0,1$ минуты блеск звезды менялся на 0,08 звездной величины, что соответствует примерно $1,6 \cdot 10^{36}$ эрг/с, или 50 светимостям Солнца.

По мнению Д. Натали и Р. Месси, такие колебания излучения не могут возникнуть в газовом диске около черной дыры. Если же излучает горячее пятно в диске, то расстояние этого пятна от черной дыры должно быть равно радиусу Солнца, что слишком много. Скорее всего, пульсирует видимая звезда-сверхгигант. Наблюдаемое изменение блеска можно объяснить, если радиус сверхгиганта изменяется на 4% с периодом 62 минуты. Такие колебания размеров звезды делают понятным и существование «активной фазы» у рентгеновского источника. Действительно, в обычном состоянии нормальная звезда в системе Лебедь X-1 не заполняет свою полость Роша лишь на 2—3%. Когда

атмосфера звезды расширяется, она «выплескивается» за пределы полости Роша. В сторону черной дыры интенсивно течет вещество, и светимость рентгеновского источника возрастает — источник входит в «активную фазу».

«Astronomy and Astrophysics», 67, 2, 1978.

ПЛАЗМЕННЫЕ ОБЛАКА В МАГНИТОСФЕРЕ

Изучение сверхнизкочастотных колебаний (СНЧ) с периодами 15—600 секунд, регистрируемых геостационарными спутниками, позволяет проникнуть в структуру физических процессов в магнитосфере Земли. На спутнике ATS-1 (спутник был запущен в 1966 году) обнаружен определенный вид СНЧ-колебаний, которые характеризовались значительной вариацией в северо-южном компоненте магнитного поля и одновременным понижением полного магнитного поля. Продолжительность их около 2 часов. Такие колебания имели период от 50 до 150 секунд и в подавляющем большинстве регистрировались в послеполюсном секторе.

Н. А. Бархатов (Горьковский радиофизический институт) изучал появление этих колебаний в магнитоспокойные периоды времени, охватывающие январь — июнь 1968 года, которым предшествовали сильные магнитные возмущения. Автор использовал записи полного магнитного поля, сделанные с разрешением 15 секунд спутником ATS-1. Наиболее часто такие колебания спутник регистрировал через 2—5 суток после магнитного возмущения. Анализ статистических закономерностей выделенных колебаний и сопоставление их с данными по плазменным уплотнениям позволяют сделать вывод, что эти колебания — собственные колебания плазменных облаков, которые отделились от плазмосферы во время магнитных возмущений.

«Геомагнетизм и аэрономия», 2, 1979.



Член-корреспондент АН СССР
Н. Н. ПАРИЙСКИЙ
Доктор технических наук
Л. П. ПЕЛЛИНЕН
Доктор технических наук
М. И. ЮРКИНА

Михаил Сергеевич Молоденский

(к 70-летию со дня рождения)

15 июня 1979 года исполнилось 70 лет выдающемуся советскому геодезисту и геофизику члену-корреспонденту АН СССР Михаилу Сергеевичу Молоденскому. В 1932 году М. С. Молоденский был приглашен в Центральный научно-исследовательский институт геодезии, аэрофотосъемки и картографии (ЦНИИГАиК) организатором этого института Ф. Н. Красовским. Тогда и начался славный путь М. С. Молоденского в геодезической науке.

Основным направлением работ М. С. Молоденского в области геодезии было создание строгой теории определения фигуры Земли и ее внешнего гравитационного поля по измерениям, выполняемым на земной поверхности. Следуя теории английского физика и математика Д. Стокса (1819—1903), геодезисты рассматривали эту задачу как изучение фигуры геоида — уровенной поверхности поля силы тяжести, совпадающей со средним уровнем Мирового океана. Предполагалось, что используемые в задаче измерения силы тяжести производятся на геоиде и что вне его не существует никаких масс. Так как в действительности оба эти условия не выполняются, то возникали проблемы, связанные с «переносом» геодезических измерений с физической поверхности Земли на геоид и регуляризацией Земли (удалением или перемещением внутрь Земли масс, расположенных вне геоида). Строго решить эти две проблемы не удавалось, так как было не-



Михаил Сергеевич Молоденский

известно, как распределена плотность внутри Земли.

В 30-е годы М. С. Молоденский, как и другие, пытался обойти затруднения, связанные с регуляризацией Земли, и построить теорию изучения фигуры геоида без перемещения расположенных вне его масс. Но попытки оказались безуспешными — сохранялась главная трудность теории Стокса: неизвестно было распределение плотности внутри Земли. Лишь в какой-то мере эту трудность можно ослабить, используя геологические данные, и многих специалистов даже привлекал такой путь решения сугубо геодезических задач.

Глубокое проникновение в сущность теории фигуры Земли позволило М. С. Молоденскому смело отказаться от господствующих взглядов, поставить и решить более трудную задачу, чем задача Стокса. Она по праву называется **задачей Молоденского**. Вместо определения фигуры геоида М. С. Молоденский предложил определять фигуру реальной физической поверхности Земли, на которой проводятся геодезические измерения. Таким образом, проблема переноса этих измерений на геоид полностью отпала. Теория, созданная М. С. Молоденским, позволяет изучать фигуру Земли и внешнее гравитационное поле, не прибегая к каким-либо гипотезам о внутреннем строении Земли, а точность результатов зависит лишь от точности измерений и того, насколько близко друг к другу располагаются на земной поверхности пункты измерений.

Исследование фигуры физической поверхности Земли можно трактовать как определение положения точек этой поверхности в некоторой пространственной системе координат. Такая система координат обычно связана с **эллипсоидом вращения** (земным эллипсоидом), близким к действительной фигуре Земли.

Для решения этой задачи, согласно теории М. С. Молоденского, нужны измерения силы тяжести и измерения геометрического характера: вертикальных и горизонтальных углов и длин сторон в геодезических

сетях, а также астрономические наблюдения широты, долготы и азимута. Главное внимание в этой теории уделено определению высоты над выбранным эллипсоидом — **геодезической высоты**. Раньше ее находили как сумму высоты физической поверхности над геоидом и высоты геоида над эллипсоидом. Первую получали из геометрического нивелирования, вторую определяли, решая задачу Стокса (с использованием либо гравиметрических, либо астрономических и геодезических данных). Но поскольку распределение плотности внутри Земли неизвестно, эти составляющие геодезической высоты не поддавались строгому определению. М. С. Молоденский представил геодезическую высоту как сумму **нормальной высоты и аномалии высоты**. Эти составляющие близки к высоте физической поверхности Земли над геоидом и высоте геоида над эллипсоидом. Откладывая нормальные высоты от физической поверхности Земли, можно получить фигуру **квазигеоида**, которая близка к геоиду и которую можно строго определить по наземным данным.

Нормальные высоты находят по данным геометрического нивелирования и гравиметрическим данным, аномалии высоты — по гравиметрическим либо астрономическим и геодезическим измерениям, используя в последнем случае метод астрономического нивелирования. Большая заслуга М. С. Молоденского и в разработке рационального метода, в котором сочетаются астрономо-геодезические и гравиметрические измерения, и в доведении его до практического применения. С помощью этого метода, который называется **астрономо-гравиметрическим нивелированием**, удалось составить точную карту высот квазигеоида над эллипсоидом Красовского. Карта успешно используется при строгой математической обработке данных астрономо-геодезической сети СССР.

Теория Молоденского позволяет определить по измерениям на физической поверхности не только фигуру Земли, но и любые элементы гравитационного поля в околоземном пространстве. С развитием кос-



мических исследований эта задача стала приобретать все большее значение.

М. С. Молоденский разработал также метод изучения фигуры Земли только по измерениям геометрического характера. Этот метод стал основой современной **пространственной, или трехмерной, геодезии**.

Свою теорию М. С. Молоденский впервые опубликовал в монографии «Основные вопросы геодезической гравиметрии» (Труды ЦНИИГАиК, вып. 42. М., Геодезиздат, 1945). Эта работа, представленная им на соискание степени доктора наук, была удостоена Государственной премии. В 50-е годы теория получила всемирное признание и стала основой современной теории фигуры Земли. В наиболее полном виде она содержится в книге М. С. Молоденского и его сотрудников «Методы изучения внешнего гравитационного поля и фигуры Земли» (Труды ЦНИИГАиК, вып. 131. М., Геодезиздат, 1960). Этой монографией широко пользуются специалисты всего мира.

Развитие техники приводит к появлению новых видов измерений элементов гравитационного поля. Совместное использование измерений силы тяжести на море с определением высот искусственных спутников Земли над поверхностью моря с помощью спутникового радиовысотомера позволит в перспективе изучать очень малые отклонения реальной морской поверхности от геоида. «Запас точности» теории Молоденского дает возможность решить эту задачу.

Наряду с теоретическими исследованиями в области геодезии,

М. С. Молоденский занимался разработкой гравиметрических приборов. За создание первого отечественного **статического гравиметра** он в 1951 году вместе с группой геофизиков был удостоен Государственной премии.

В 1946 году М. С. Молоденского пригласили в Сейсмологический институт АН СССР, а в 1947 году назначили заведующим отделом внутреннего строения Земли Геофизического института АН СССР. После смерти академика Г. А. Гамбурцева он некоторое время возглавлял этот институт.

В 1953 году вышла фундаментальная работа М. С. Молоденского «Упругие приливы, свободная нутация и некоторые вопросы строения Земли». В ней рассмотрен большой круг вопросов. Среди наиболее важных — **разработка практического метода решения уравнений теории упругости для твердой Земли** с любым распределением плотности и упругих свойств внутри нее, М. С. Молоденский сделал численные расчеты для 16 различных моделей Земли. Тогда это было большим достижением — ведь электронно-вычислительные машины еще не применялись. В той же работе М. С. Молоденский показал, что модуль сдвига в ядре Земли должен быть или очень малым или равным нулю, что характерно для жидкости.

Расчеты, сделанные Молоденским, показали, что о строении Земли можно судить по наблюдениям одних только приливных изменений силы тяжести (под действием Луны и Солнца), не используя наблюдений приливных изменений наклонов земной поверхности. Приливные изменения силы тяжести более стабильны по сравнению с приливными изменениями наклонов земной поверхности относительно отвесной линии. Стимулированные работой М. С. Молоденского наблюдения приливных изменений силы тяжести особенно быстро стали развиваться во время Международного геофизического года (1957/58). В своей работе М. С. Молоденский рассмотрел также влияние океанов на свободную нутацию или перемещение земного полюса.

Влияние это оказалось существенным.

Еще больший успех имела работа «Теория нутации и суточных земных приливов», выполненная им в 1961 году. Колебания твердого тела с жидким ядром исследовались многими учеными еще с конца прошлого века. М. С. Молоденский совершенно по-новому решил эту задачу. Используя две современные модели строения Земли (одна модель имела внутреннее твердое ядро), он точно рассчитал период **почти суточной нутации земной оболочки**. Наличие ее подтвердило представление о **жидком состоянии земного ядра**. Период новой нутации, вызываемой воздействием жидкого ядра, оказался для одной модели короче средних суток на 7 минут, для другой — на 7 минут 2 секунды.

В этой же работе было рассчитано явление резонанса между частотой новой нутации и суточными земными приливами. Амплитуды приливных волн в твердом теле Земли с периодами, близкими к периоду суточной нутации, должны искажаться тем сильнее, чем ближе их период к периоду суточной нутации. Такое воздействие жидкого ядра обнаружили уже в 1961 году, когда сотрудники Института физики Земли АН СССР наблюдали земные приливы в Ташкенте и Фрунзе. В апреле 1962 года эти результаты, подтверждающие теорию Молоденского, были доложены на пленуме Астрономической комиссии в Киеве. Было высказано пожелание искать новую нутацию по наблюдениям звезд. В 1963 году ее обнаружил полтавский астроном Н. А. Попов. Период нутации совпал с периодом, предсказанным М. С. Молоденским.

В «Теории нутации и суточных земных приливов» М. С. Молоденский с новых позиций рассчитал постоянные обычных вынужденных нутаций земной оси, вызванных воздействием Луны и Солнца. Расчеты, опирающиеся на предположение, что Земля абсолютно твердая, расходились с наблюдениями. Более реальные модели Земли, в которых М. С. Молоденский учитывал влияние жидкого ядра и упругой оболочки,

обеспечили почти полное согласие теории с наблюдательными данными.

Этот труд получил всемирное признание и вошел в основной фонд геофизики. До сих пор он продолжает стимулировать гравиметрические и астрономические работы за рубежом, связанные с изучением суточной нутации. В 1964 году в Брюсселе во время V Международного симпозиума по земным приливам французский ученый Г. Жобер (теперь директор Института физики Земли в Париже) прочел несколько лекций, в которых детально изложил теорию М. С. Молоденского.

За разработку теории гравитационного поля Земли, ее фигуры и тес. рии земных приливов в 1963 году М. С. Молоденскому была присуждена Ленинская премия. В последнее время он занимается теорией собственных колебаний Земли, возникающих после землетрясений. И в этой области ему удалось достигнуть многого. Создана новая теория собственных колебаний Земли с учетом ее вращения, теория долгопериодных колебаний вращающейся, неоднородной, сжимаемой и гравитирующей жидкости, заключенной в упругую оболочку. Получены также интересные результаты, связанные с влиянием вязкости на колебания Земли.

Михаил Сергеевич Молоденский сделал огромный и важный вклад в геодезию и геофизику нашего столетия. Его интенсивная творческая работа продолжается и по сей день, а идеи развивают в своих трудах его многочисленные ученики. Особенно актуальны и интересны сейчас идеи Молоденского, высказанные им еще в 1958 году, о путях изучения изменений фигуры и гравитационного поля Земли во времени и о причинах этих изменений, связанных с процессами внутри Земли. Исследования в этом направлении, которые объединяют геофизиков и геодезистов, получили интенсивное развитие в последние годы.



Заведующий Центральной сейсмологической обсерваторией
О. Е. СТАРОВОЙТ

Центральная сейсмологическая обсерватория

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ

Более десяти лет прошло с тех пор, как в Обнинске (Калужская область) была открыта новая геофизическая обсерватория Института физики Земли АН СССР («Земля и Вселенная», № 2, 1968, с. 58—64.— Ред.). В 1969 году ее переименовали в Центральную сейсмологическую обсерваторию (ЦСО).

Главная задача обсерватории — организация и систематическое проведение наблюдений сейсмического и гравитационного поля, наклонов земной поверхности и ее деформаций.

Несмотря на то, что обсерватория удалена от сейсмоактивных районов, ее высокочувствительные приборы ежегодно регистрируют несколько сотен землетрясений. В качестве датчиков используются магнитоэлектрические сейсмометры с широким набором частотных характеристик, различные преобразователи перемещений земной поверхности, гравиметры, наклонометры. Чтобы избавиться от температурных, атмосферных и промышленных помех, датчики размещаются на глубине 30 м под землей в специальной шахте. В камерах шахты поддерживается постоянная температура около $+8^{\circ}\text{C}$. Проведенная недавно модернизация шахты позволила ослабить влияние флуктуаций атмосферного давления и, таким образом, создать благоприятные условия для стабильной работы приборов.

Сигналы от датчиков записываются аппаратурой, размещенной в наземном лабораторном корпусе. Это — зеркальные гальванометры и современные электронные установки с регистрацией на магнитную ленту в ци-



фровом и аналоговом видах (данные записываются либо в виде кривых, либо цифрами, характеризующими параметры сейсмических волн от землетрясений). В наземном корпусе находятся также центральный пульт управления приборами и системы службы точного времени.

В обсерватории можно систематически регистрировать волны от землетрясений, происходящих на расстояниях от 1—1,5 тыс. до 16—17 тыс. км от Обнинска, а минимальная амплитуда колебаний почвы, которую «чувствуют» приборы, достигает 0,01—0,001 мкм. Характерная черта Обнинской обсерватории — **надежная фиксация сейсмических волн с периодами колебаний более 60—80 се-**

кунд (длиннопериодные волны). На сейсмических станциях страны они обычно записываются только при очень сильных землетрясениях. Поэтому и записи носят единичный, случайный характер. Чтобы накопить достаточное для статистики число таких наблюдений, требуются многие годы. В этом смысле наблюдения Обнинской обсерватории можно считать уникальными. Только за два-три года здесь зарегистрированы длиннопериодные колебания почти от 50 землетрясений.

В последнее время обсерватория превратилась в научно-экспериментальную базу Института физики Земли АН СССР — в ней проводятся испытания новых приборов, разрабатываемых в институте. В ЦСО были испытаны длиннопериодные сейсмографы, которые сейчас работают на многих сейсмических станциях страны,

■ *Новый лабораторный корпус Центральной сейсмологической обсерватории в Обнинске*

новые широкополосные сейсмометры, современные регистрирующие системы с записью на тепловую бумагу, магнитную и перфорационную ленты. Теперь в обсерватории стал применяться новый метод записи данных. Это — разработанные в институте цифровые системы регистрации на магнитном носителе. Они служат основой для создания автоматических средств записи и обработки сейсмической информации и характеризуют переход к новому этапу развития наблюдательной геофизики в нашей стране.

Непосредственно в ЦСО были разработаны, исследованы и стали применяться длиннопериодные гальванометры и стационарная установка для аналоговой низкочастотной магнитной регистрации. Эти работы ведутся в тесном содружестве с учеными ГДР и ЧССР.

ЦЕНТР СЕЙСМОЛОГИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

С 1977 года обсерватория стала выполнять функции Центра оперативной сейсмологической информации страны. Сюда входит служба срочных донесений о сильных землетрясениях. Каждую декаду обсерватория выпускает «Оперативный сейсмологический бюллетень Единой системы сейсмических наблюдений». В нем дается самая первая информация о месте и силе землетрясений, глубине их очагов, параметрах сейсмических волн, зарегистрированных различными станциями.

ЦСО соединена телефонно-телеграфными каналами связи более чем со 100 станциями Советского Союза и социалистических стран. Эта информация регулярно обрабатывается, и **результаты** выдаются заинтересованным организациям и специалистам. ЦСО ежегодно **обрабатывает и публикует данные более полутора тысяч землетрясений**, которые рассылаются в 120 геофизических учреждений нашей страны и более чем в 30 стран мира. Один раз в два-три дня здесь составляются срочные донесения о сильных и ощутимых землетрясениях.

Важным этапом в жизни обсерватории было введение в эксплуатацию



мощной ЭВМ типа ЕС-1030 и создание нового подразделения — **группы электронно-вычислительной техники**. Основная задача этой группы — автоматизировать обработку сейсмологической информации. Уже используется



Подземное сооружение, в камерах которого установлены приборы, преобразующие механические колебания в электрический ток

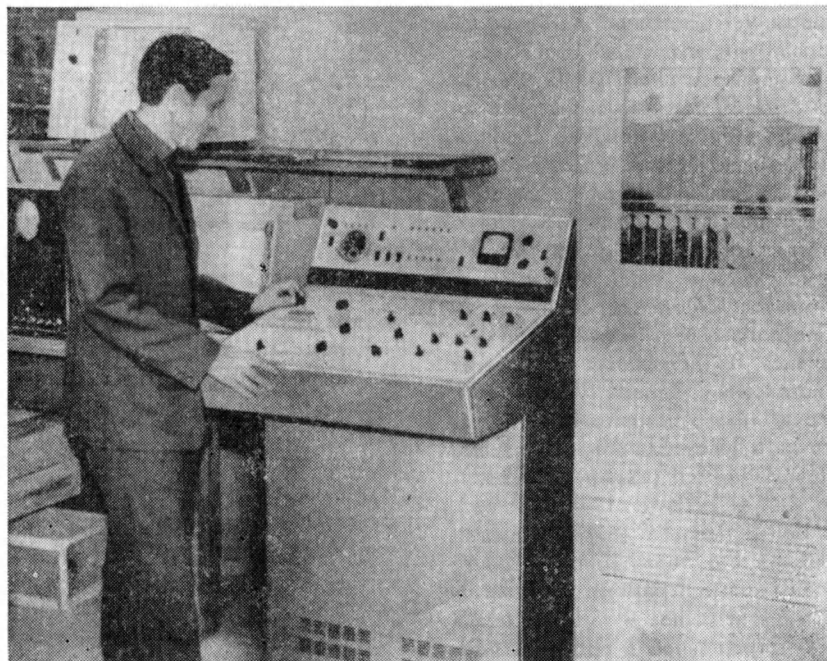
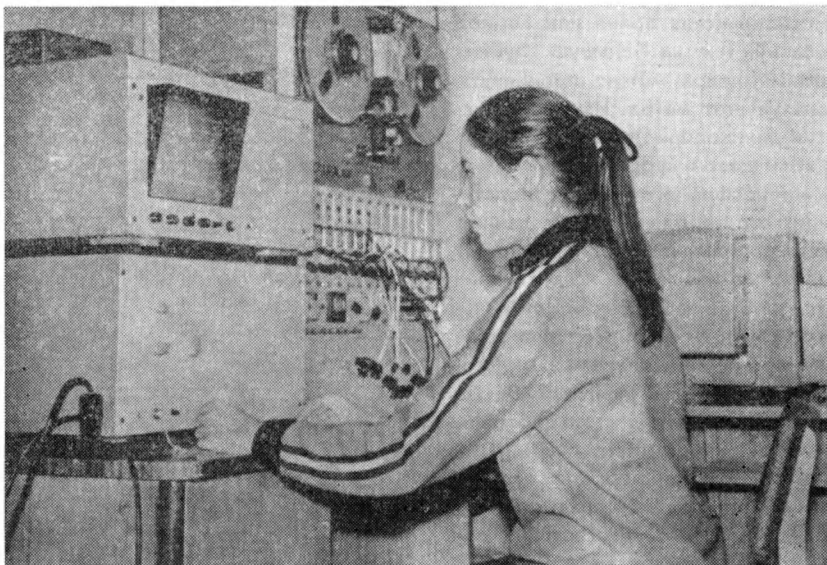
на практике новая, разработанная в Центре единой системы сейсмических наблюдений, программа расчета основных параметров землетрясений, а также несколько программ, по которым анализируются наблюдения, необходимые для решения научно-исследовательских задач. В обсерватории начали переводить весь информационный массив «Сейсмологический бюллетень» (он содержит основные параметры землетрясений

и данные о сейсмических волнах, зарегистрированных на станциях наблюдений) на магнитные носители ЭВМ. Это — важный шаг к созданию автоматизированной системы накопления, хранения, поиска и обработки сейсмологической информации.

К организации такой системы обсерватория приступила фактически еще лет 6—7 назад. Уже существуют в виде микрофильмов сейсмограммы опорной сети сейсмических станций, зарегистрировавшей около тысячи сильных землетрясений. Сейчас в архиве обсерватории около 100 тыс. микрофильмов. В подготовленном на перфокартах массиве «Сейсмологический бюллетень» имеются данные за 17-летний период наблюдений. Обсерватория располагает уникальной библиотекой сейсмологических бюллетеней станций и отдельных регионов нашей страны и зарубежных стран. Все это составляет сейсмологическую информационную базу создаваемой системы, и эта база постоянно пополняется и расширяется. Наблюдательный материал, полученный в самой обсерватории, ежегодно публикуется в «Сейсмологическом бюллетене ЦСО». Здесь впервые в нашей стране стала анализироваться динамика сейсмических волн в широком частотном диапазоне. Это позволяет расширить наши представления о спектральном составе сейсмических колебаний, полнее и точнее определять энергетические характеристики землетрясений и основные параметры сейсмических очагов.

ОСНОВА ДЛЯ РЕШЕНИЯ НАУЧНЫХ ПРОБЛЕМ

Наблюдения длиннопериодных колебаний помогают решать актуальные задачи, связанные с глубинным строением Земли и характеристиками очагов землетрясений. Например, ученых интересует связь строения земной коры и верхней мантии Земли. В частности, важно установить, на какой глубине залегает астеносферный слой, где свойства пород существенно изменяются («Земля и Вселенная», № 5, 1978, с. 36—42. — Ред.). Один из методов таких исследований — **измерение дисперсии скоростей поверхност-**



Установка для записи сейсмических колебаний на магнитную ленту в аналоговом виде

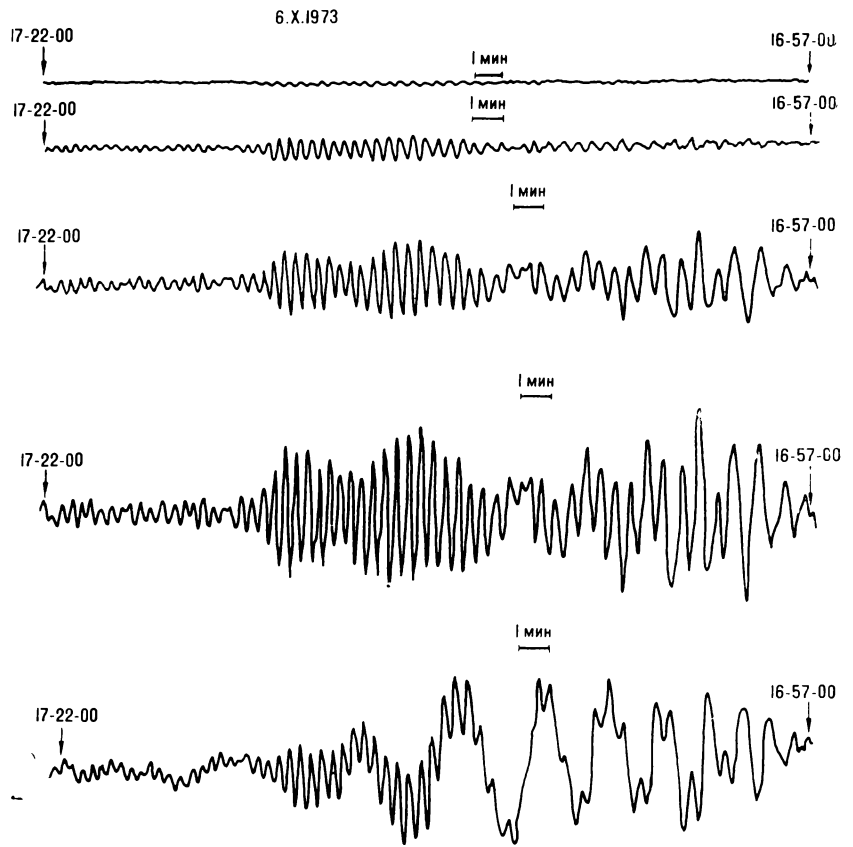
Установка для записи сейсмических колебаний на магнитную ленту в цифровом виде. Такие приборы работают на пяти сейсмических станциях нашей страны

ных сейсмических волн. И чем длиннее сейсмическая волна или период колебаний, тем на большую глубину в земные недра можно проникнуть, используя этот метод. Изучение дисперсии длиннопериодных поверхностных волн дает информацию о строении астеносферного слоя и подстилающих его породах, а также данные о горизонтальных неоднородностях строения Земли. Такие исследования начаты на базе наблюдений Центральной сейсмологической обсерватории.

Для построения современных глобальных моделей Земли необходимо иметь наблюдения частот собственных колебаний земного шара. При очень сильных сейсмических ударах Земля «гудит» подобно набатному колоколу. Мы этого не слышим, поскольку человеческое ухо не воспринимает такую низкую частоту колебаний ($1 \cdot 10^{-2}$ — $3 \cdot 10^{-4}$ Гц). Однако приборы, установленные в Обнинской обсерватории, улавливают этот «звон».

С помощью спектрального анализа сейсмограмм, которые записаны приборами, регистрирующими длиннопериодные колебания, удалось определить собственные колебания земного шара сфероида типа с частотами до $1 \cdot 10^{-3}$ Гц. По записям сейсмографов в нашей стране такие данные получены впервые.

В последние годы значительно расширились представления об очагах землетрясений. Теперь установлено, что очаг такого землетрясения — это не точка, а некоторая область разрыва материала Земли («Земля и Вселенная», № 6, 1978, с. 15—19. — Ред.). Для более полного описания очагов и оценок его характеристик сейчас введены новые параметры: сейсмический момент (силовая характеристика очага), сброшенное в процессе землетрясения напряжение, длина разрыва, скорость его образования. «Длиннопериодная» сейсмология дает информацию об этих характеристиках очагов. Например, сейсмический момент измеряется по интенсивности именно длиннопериодного излучения. Направление, протяженность разрыва и скорость вспарывания перемычек между трещинами в горной породе можно определить по амплитудам колебаний поверхностных сейсмиче-



ских волн. Волны длиной порядка сотен километров соизмеримы с протяженностью очагов сильных землетрясений, а неоднородности земной коры слабо искажают параметры этих волн.

Изучение сейсмических очагов теперь получило широкое распространение. Активно участвуют в этой работе и сотрудники обсерватории. Достаточно сказать, что при изучении очагов сильных землетрясений в Дагестане (1970 г.), на Камчатке (1971 г.), в Газли (1976 г.) использовались уникальные длиннопериодные коле-

бания, зарегистрированные в Центральной сейсмологической обсерватории.

За годы своей работы обсерватория выросла и расширилась. Выстроен новый лабораторный корпус, вмещающий электронно-вычислительный комплекс, сейсмологический архив, учено-исследовательские лаборатории, множительную технику, библиотеку и административно-хозяйственные службы. Все, что сделано в обсерватории, — это результат работы уже сложившегося коллектива, где есть и свои ветераны, и способная молодежь. Пройденный обсерваторией путь — лишь первый этап в создании высококлассного пункта геофизических наблюдений с автоматизацией процессов сбора, обработки и хранения сейсмологических данных.

Образцы записей поверхностных сейсмических волн, зарегистрированных в обсерватории различными сейсмографами. Нижняя кривая записана наиболее чувствительным прибором, на ней четко выделяются длиннопериодные колебания с периодом 100—200 секунд



ЭКСПЕДИЦИИ

Член-корреспондент АН СССР
В. Г. КОРТ

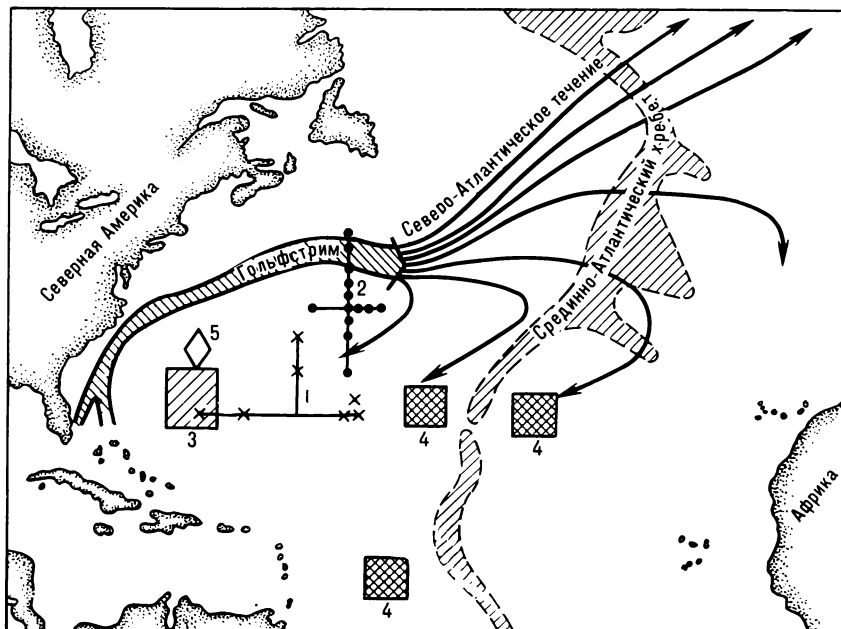
Эксперимент ПОЛИМОДЕ завершен

В июне 1977 года советские ученые приступили к экспериментальному исследованию синоптических вихрей в юго-западной части Северной Атлантики по советско-американской программе ПОЛИМОДЕ. Оно включало изучение кинематики, динамики и строения синоптических вихрей, их взаимодействия между собой и с движениями других масштабов (средними течениями, внутренними волнами, турбулентностью). Исследовалось также распределение вихревой энергии в пределах крупномасштабной системы циркуляции вод («Земля и Вселенная», № 2, 1977, с. 65—67; № 1, 1978, с. 36—40.—Ред.).

Кроме работ в океане по программе ПОЛИМОДЕ уже несколько лет ведутся теоретические исследования, которые необходимы для построения физико-математических моделей поля синоптических вихрей и создания численных методов расчета нестационарных океанских течений.

Советская часть программы ПОЛИМОДЕ осуществлялась на гидрофизическом полигоне размером 550×550 км², который выбрали между Бермудскими и Багамскими островами. 19 автономных буйковых океанографических станций, снаряженных измерителями течений и температуры воды, работали здесь непрерывно 13 месяцев. Их работу обеспечивали экспедиционные суда, которые и сами выполняли комплексные гидрофизические наблюдения на акватории всего полигона.

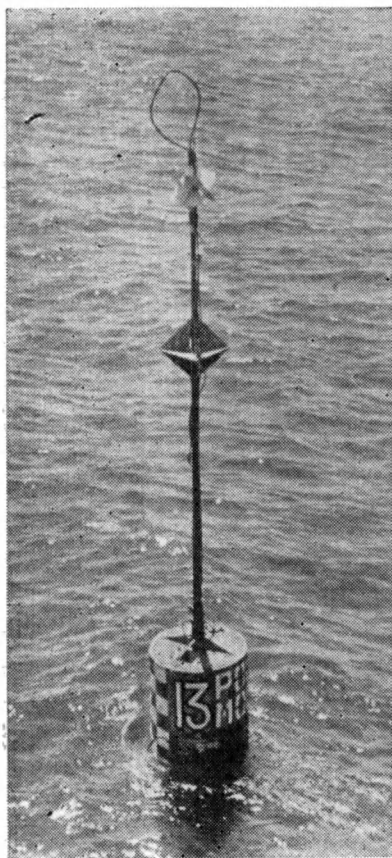
За время выполнения программы советские исследовательские суда «Академик Курчатов» и «Витязь» (Институт океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР), «Академик Вернад-



ский» и «Михаил Ломоносов» (Морской гидрофизический институт АН УССР), «Петр Лебедев» и «Сергей Вавилов» (Акустический институт АН СССР), «Виктор Бугаев» (Государственный океанографический ин-

Расположение советских и американских гидрофизических полигонов, на которых проводились исследования по программе ПОЛИМОДЕ. Условные обозначения: 1—МОДЕ (1974—1975), 2—МОДЕ-1 (1975—1976), 3—советский полигон ПОЛИМОДЕ (1977—1978), 4—группы буйковых станций США (1977—1978), 5—локальный динамический эксперимент (1978—1979)

ститут) в 14 рейсах провели 17 крупномасштабных океанографических съемок всего полигона, 14 съемок среднего масштаба (в районе буйковых станций) и 7 микросъемок. Микросъемки делались специально для прослеживания отдельных вихрей. Особенно крупные вихри синоптического масштаба, достигающие 200—400 км в поперечнике, удалось зарегистрировать 21 раз, а мелких вихревых образований обнаружено несколько десятков. Общий итог — более 6 млн. уникальных измерений важных гидрофизических характеристик. Работать приходилось в тяжелых условиях. Тропические ураганы трижды обрушивались на полигон, осенний и зимний сезоны изобиловали жестокими штормами, а летом

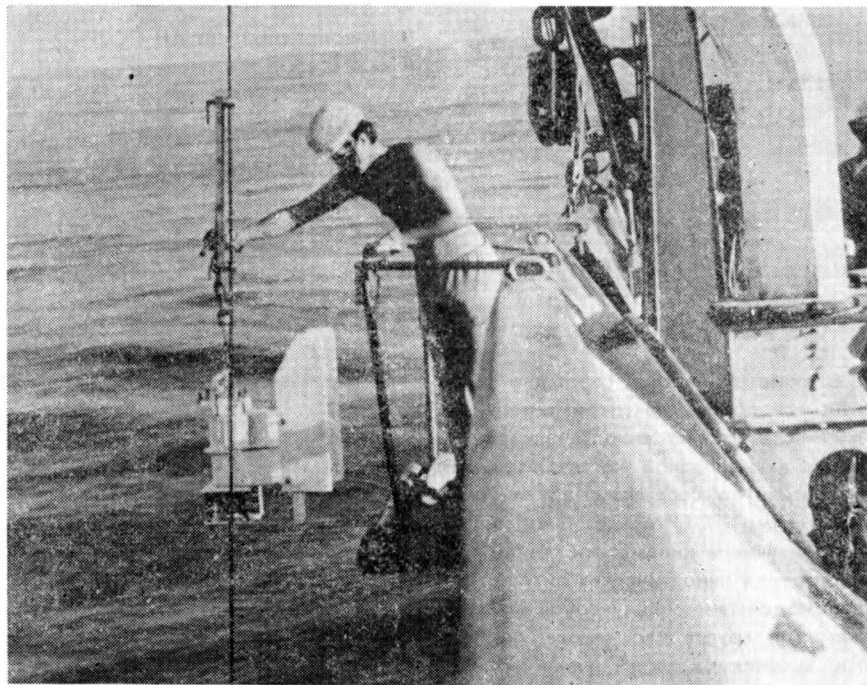


океан нагревался до 31°C , создавая изнурительную духоту и жару.

Сейчас институты — участники программы — приступили к анализу полученных материалов. Даже самые первые результаты оказались чрезвычайно важными и интересными.

Как уже говорилось, за год эксперимента через район полигона прошло более 20 синоптических вихрей. Эти огромные образования квазиэллиптической формы с горизонтальными размерами от 150 до 300—400 км перемещались на запад, проходя 3—10 км в сутки. Орбитальная скорость течения внутри самих вихрей изменяется от 30—35 до 10—15 см/с в интервале глубины 100—1400 км. Неодинакова скорость в разных частях вихрей: во фронтальной области она, как правило, больше.

Вертикальный компонент скорости течения в вихрях невелик, 10^{-3} см/с. Но при такой его величине в северном полушарии изотермические по-



верхности поднимаются в циклонах и опускаются в антициклонах. Амплитуда этих смещений 100—150 м. Из-за подъема вод циклонические вихри имеют в центре отрицательную аномалию температуры, и их называют «холодными». Антициклонические же вихри с положительной температурной аномалией — «теплые» вихри. «Теплые» и «холодные» вихри в океане создают особые условия для тепло- и влагообмена с атмосферой. Первые оценки кинетической энергии синоптических вихрей на полигоне ПОЛИМОДЕ показали, что она в несколько раз превышает энергию среднего (квазистационарного) течения.

■ Такие автономные буйковые океанографические станции работали на гидрофизических полигонах. Их устанавливали на дне, на глубине 5000 км

■ Цифровой интегральный измеритель течений и температуры воды укрепляют на тросе океанографической буйковой станции

По форме синоптические вихри похожи на усеченный конус, немного скрученный по часовой стрелке (в северном полушарии). Его вершина обращена вверх в циклонических вихрях и вниз — в антициклонах. Основание конуса, созданного замкнутыми изопикнами (линиями одинаковой плотности), — как правило, довольно сложная фигура, но в большинстве случаев ее можно аппроксимировать окружностью или эллипсом.

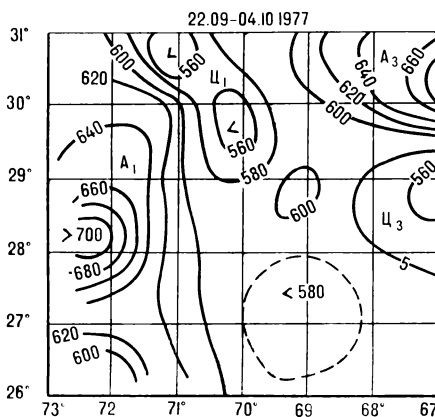
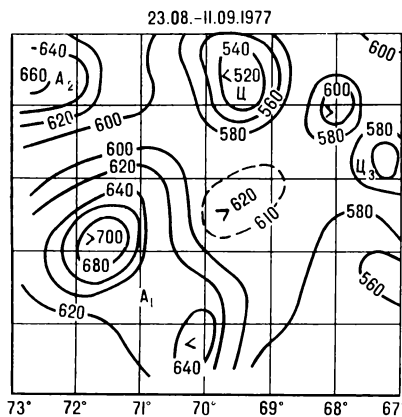
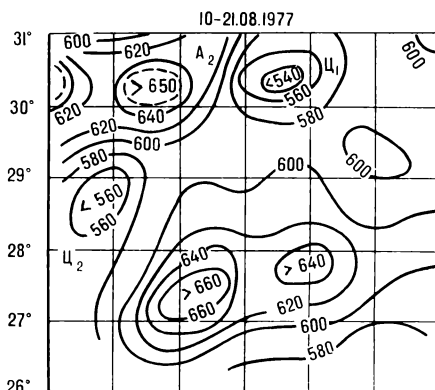
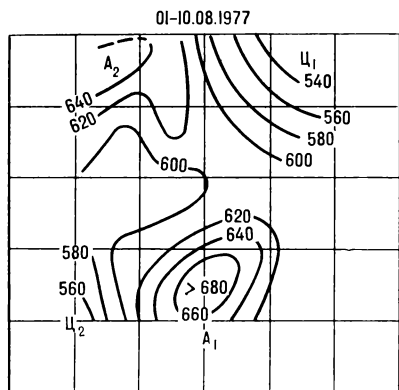
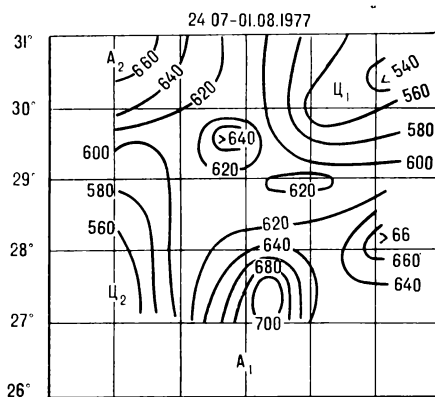
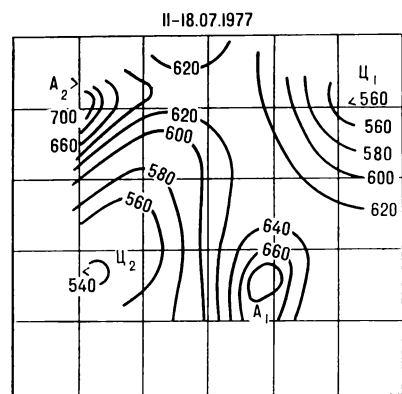
Анализ траекторий вихрей позволил установить, что движение крайне неравномерно (поступательная скорость вихрей изменяется в широких пределах — от единиц до нескольких сантиметров в секунду). Другая особенность — криволинейность их перемещения. Создается впечатление, что вихри движутся хаотически, сталкиваясь друг с другом, иногда несколько вихрей сливаются в один более мощный или, наоборот, ядро вихря распадается на несколько. Другими словами, вихри непрерывно взаимодействуют друг с другом, и это взаимодействие нарушает характер их движения и структуры.

Первой рекогносцировочной съемкой на полигоне ПОЛИМОДЕ, выпол-

ненной 11—18 июля 1977 года, были обнаружены циклонические вихри в северо-восточной и юго-западной частях полигона и антициклонические — в северо-западной и юго-восточной. Интересно проследить, как они развивались и перемещались. До конца июля северо-восточный циклон медленно (2—3 км в сутки) «наползал» на район полигона. Затем его скорость увеличивалась до 10 км в сутки и к середине августа он начал вытеснять из района северо-западный антициклон. Между этими вихрями образовалась зона сгущения изолиний, где скорость течения возросла в 2—3 раза. В конце августа — начале сентября северо-восточный циклон деформировался и незначительно переместился к югу. Центр его за это время продвинулся всего на 30—35 км, что объясняется, по-видимому, чрезвычайно медленным (до 2 км в сутки) продвижением на запад северо-западного антициклона. В течение сентября северо-восточный циклон еще больше деформировался и в нем сформировались два ядра.

Развитие юго-западного циклона менее сложное. Он медленно продвигался на юго-запад и к концу августа вышел за пределы полигона. Весьма интересной была эволюция юго-восточного антициклона. Этот вихрь, обнаруженный на полигоне в начале июля, до 20 августа перемещался на запад со скоростью 5—7 км в сутки. Затем он изменил направление на северо-западное. Изотермы вихря одновременно стали погружаться на большую глубину. Так, 15-градусная изотерма, располагавшаяся в июле на глубине 660 м, опустилась до 750 м в конце сентября. В августе юго-восточный антициклон распространился шире, чем в июле, и в нем выявились два ядра, окруженные общими изолиниями. В августе и сентябре эта система сместилась, повернувшись по часовой стрелке, но направление движения на северо-запад сохранилось. Перемещаясь на северо-запад, юго-восточный антициклон к концу сентября слился с северо-западным.

В конце сентября, таким образом, вся западная часть полигона оказалась занята многоядерным антицик-



лоническим образованием, которое создало своего рода барьер, препятствующий западному перемещению

двухъядерного северо-восточного циклона. Последний начал в это время трансформироваться в глубокую ложбину, вытянутую почти в меридиональном направлении. Одновременно с этим процессом в начале октября к северо-восточной периферии полигона подошли новые вихри — на этот раз северо-восточный антициклон на севере и восточный циклон южнее его. Такая инте-

■ Так изменялась картина распределения вихрей на полигоне ПОЛИМОДЕ в июле — октябре 1977 года. Ц — циклоны, А — антициклоны. Цифры обозначают глубину изотермической поверхности 15 °С в метрах



■
 На борту «Академика Курчатова» советские и американские ученые обсуждают первые научные результаты эксперимента ПОЛИМОДЕ. Докладывает сотрудник Института

океанологии АН СССР доктор физико-математических наук М. Н. Кошляков (слева). Крайний справа — председатель американского комитета ПОЛИМОДЕ профессор А. Робинсон

ресная и сложная картина взаимодействия и эволюции синоптических вихрей наблюдалась в начальный период работы экспедиции на полигоне ПОЛИМОДЕ. Правда, и в дальнейшем трансформации вихревого поля на полигоне были аналогичного характера.

Сложность динамики океана в области, где развиваются и действуют вихри, усугубляется еще и сложным взаимодействием вихрей с квазистационарными океанскими течениями, которые имеют свои сезонные и годовичные масштабы изменчивости. Все это чрезвычайно затрудняет прогнозирование изменчивости океанских течений. В то же время результаты комплексных исследований океанских вихрей синоптического масштаба говорят о том, что в водной толще океана создается своеобразная «погода», учитывать и прогнозировать которую очень важно для мореплавания и морского промысла. Холодные циклонические вихри, способст-



62-й и 63-й РЕЙСЫ «ГЛОМАРА ЧЕЛЛЕНДЖЕРА»

С 27 июля по 6 сентября 1978 года научно-исследовательское судно «Гломар Челленджер» совершало 62-й рейс. В рейсе принимали участие специалисты из США, СССР, ФРГ, Голландии, Франции, Великобритании, Японии, Норвегии.

Основной целью экспедиции было изучение осадочных пород морского дна в северной части Тихого океана.

Бурение проводилось в четырех пунктах: три были выбраны на под-

нятии Хесс и один вблизи Срединно-Тихоокеанского хребта, юго-западнее Гавайской подводной гряды.

Колонки грунта, взятые в северной части поднятия Хесс (глубина океана в пункте бурения достигала 4637 м), показали, что большая часть осадкообразующих остатков древней растительности и животных растворена донными водами. Древнейшая порода, которую удалось здесь поднять, — мел возраста около 100—107 млн. лет. Это говорит о том, что северная часть поднятия Хесс была тогда более мелководной. В последней колонке содержались базальты, относящиеся к вулканическим породам основания.

В двух пунктах бурения на юге поднятия, где глубина океана невелика (2161 и 2655 м), в мощном слое мягких осадочных пород обнаружено много остатков известковых организмов. Они свидетельствуют об изменении условий осадконакопления от тропических к умеренным. Условия изменялись, когда Тихооке-

анская плита перемещалась в северо-западном направлении. По мнению сторонников гипотезы глобальной тектоники, плита и ныне движется со скоростью около 30 км в 1 млн. лет. Под слоем осадков залегают толстый слой вулканического пепла (активная деятельность здешних вулканов завершилась, очевидно, около 100 млн. лет назад) и базальты.

Во всех четырех пунктах бурения практически не найдено осадков, относящихся к последним 110 млн. лет. Сохранившиеся осадочные породы свидетельствуют о быстром погружении Срединно-Тихоокеанского хребта и поднятия Хесс, которые вначале были вулканическими островами. Их погружение заняло всего 10—20 млн. лет.

В двух пунктах бурения обнаружены осадочные породы, содержащие большое количество пепла. Это говорит о вспышках вулканической активности, часто происходивших здесь 100—115 млн. лет назад. Вбли-

вующие подъему глубинных вод к поверхности, выносят водные массы, насыщенные биогенными элементами. Попадая в зону фотосинтеза, биогенные элементы увеличивают биологическую продуктивность в поверхностных слоях центральной части циклонического вихря. Таким образом, районы, где господствуют «холодные» океанские циклоны, могут быть перспективными для рыбного промысла в открытых частях океана.

Одновременно с работой советской экспедиции в той же области океана проводили исследования и американские ученые. Главной задачей американской части программы ПОЛИМОДЕ было изучение географического распределения синоптических вихрей, баланса энергии в вихревых образованиях и исследование того, как рельеф дна океана влияет на формирование вихрей. С этой целью более 20 буйковых океанографических станций работали к северу, востоку и югу от советского полигона, а у южной



оконечности Гольфстрима проводился локальный динамический эксперимент. Отдельные системы американских станций непрерывно регистрировали течения и температуру воды за период времени от шести месяцев до одного года. В районе локального динамического эксперимента кроме буйковых станций использовались также акустические поплавки нейтральной плавучести, свободно дрейфовавшие через район полигона на глубине 700 и 2000 м.

Теоретическая разработка гидродинамических моделей океанских вихрей осуществлялась усилиями советских и американских ученых. Сейчас разработано несколько моделей вихрей и по ним проводятся численные эксперименты. Данные экспедиционных наблюдений позволят проверить, насколько теоретические модели соответствуют природным условиям.

Эксперимент ПОЛИМОДЕ закончился в октябре 1978 года.

Хочется надеяться, что совместный анализ экспериментальных и теоретических исследований, проведенных по программе ПОЛИМОДЕ, даст возможность наиболее целесообразно решить главную задачу экспедиции — создать научные основы методики прогноза нестационарных динамических процессов в океане.

зи Срединно-Тихоокеанского хребта пепел перемешан с органическими остатками. Каким образом связаны высокая вулканическая активность и богатый приток органики, пока неясно.

В районе Срединно-Тихоокеанского хребта бурением пройдено 822 м, но вулканические породы под осадками так и не были достигнуты. Древнейшие осадочные породы, вскрытые здесь, имеют возраст около 117 млн. лет. Они сложились в условиях мелководного бассейна, окруженного рифовыми платформами, которые образовались вокруг прежних вулканических островов.

В ноябре 1978 года «Гломар Челленджер» завершил свой 63-й рейс. В этом рейсе принимали участие специалисты США, СССР, ФРГ, Великобритании, Японии и Мексики. Они изучали строение дна на востоке Тихого океана.

Скважины бурили в семи пунктах: три — у берегов южной части штата Калифорния (США), три — у за-

падного побережья штата Нижняя Калифорния (Мексика) и одну — в глубине Калифорнийского залива. Предполагалось выяснить, как отложения мягких илестых осадков и глин превращаются в твердые породы. Процесс этот сопровождается превращением раковин микроорганизмов в минерал кристобалит. Такая трансформация зависит от температуры и давления вышележащих слоев. Выяснение особенностей этого процесса поможет понять, как из органических осадков образуется нефть, следы которой были обнаружены в 63-м рейсе.

Считают, что около 20 млн. лет назад у берегов Калифорнии и Нижней Калифорнии существовал глубоководный желоб. С ним связывали вулканические породы, которые находили здесь ранее (по аналогии с вулканами Алеутской гряды и Японских островов, которые связаны с глубоководными желобами).

Однако результаты экспедиции «Гломара Челленджера» не подтвер-

ждают эту точку зрения. Кажется более вероятным, что существование этого желоба связано со срединно-океаническим центром спрединга (расширения морского дна). Центр располагается на Восточно-Тихоокеанском поднятии, которое около 17 млн. лет назад пересекало окраину континента в районе Калифорнии.

Ископаемые микроорганизмы, обнаруженные в колонках грунта, говорят об изменениях в структуре океанских течений, которые влияли на климат в отдаленную геологическую эпоху. Около 9—10 млн. лет назад климат в районе Нижней Калифорнии был, очевидно, более холодным, чем теперь.

«Deep Sea Drilling Project» (Scripps Institution of Oceanography), 277, 278, 1978.



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Кандидат физико-математических наук
В. Ф. КАРТАШОВ
Кандидат педагогических наук
Е. П. ЛЕВИТАН

Проблемное обучение астрономии

Усвоение учениками системы знаний, развитие познавательной активности, формирование диалектико-материалистического мировоззрения — эти функции обучения всегда обращали на себя пристальное внимание педагогов. Астрономия как учебный предмет в средних школах и средних профессиональных технических училищах (СПТУ) в значительной степени способствует решению перечисленных задач, поскольку не только дает правильное представление о строении Вселенной, материальном единстве мира, познаваемости мира, взаимосвязи явлений в нем, но и способен внести немалый вклад в формирование и развитие творческого мышления учащихся.

Передовые учителя и методисты нашей страны применяют различные методы и формы обучения, используя активизирующие вопросы и задания, элементы программированного обучения, межпредметные связи. Специфика учебного материала по астрономии, его структура и содержание стимулируют применение в практике преподавания и элементов **проблемного обучения** (проблемное изложение; специальный подбор вопросов, задач, практических работ).

Систематический курс астрономии школьники и учащиеся средних ПТУ изучают, соответственно, в 10 классе и на третьем курсе. Это позволяет в преподавании астрономии смелее внедрять проблемное обучение, которое в последнее время привлекает особое внимание педагогов и небезуспешно используется в различных предметах естественно-математического и гуманитарного циклов. Если цель традиционного обучения —

усвоение **результатов** той или иной науки, привитие учащимся определенной системы умений и навыков, то проблемное обучение предусматривает и усвоение тех **методов исследования**, с помощью которых современная наука получает свои результаты. В учебном процессе новое знание возникает в ходе разрешения проблемных ситуаций, своеобразных мыслительных затруднений, в которые преподаватель ставит учащихся.

Как на практике осуществляется проблемное обучение? Как создаются проблемные ситуации? Покажем это на отдельных примерах, число которых преподаватель всегда сумеет умножить и применить на уроках астрономии в средних школах и средних ПТУ и во внеклассной работе. Проблемная ситуация может быть создана на уроке особым образом сформулированным **вопросом**. Не каждый вопрос, задаваемый учащимся, можно считать проблемным. Например, чтобы ответить на вопрос «Какие телескопические открытия сделал Галилей?», ученику достаточно просто вспомнить текст учебника. А вот пример вопроса другого типа: «Можно ли, находясь на Луне, наблюдать метеоры, полярные сияния, кометы, затмения?». Прежде чем ответить на него, ученик должен вспомнить, что метеор — явление, возникающее при полете крохотного тела в атмосфере Земли; полярные сияния — свечение газов верхней атмосферы под действием высокоэнергичных частиц, «высыпающихся» из радиационных поясов в полярных областях Земли; кометы — реальные объекты Солнечной системы; затмения — явления, обусловленные

особым расположением небесных тел. Поскольку у Луны нет атмосферы, то на ней не могут наблюдаться ни метеоры, ни полярные сияния. Зато существование комет непосредственно от условий на Луне никак не зависит, то есть их можно увидеть с лунной поверхности. Ученик сообразит, что на Луне происходят затмения, причем лунное затмение для земного наблюдателя окажется солнечным — для лунного (и наоборот, солнечное затмение обращается в земное для лунного наблюдателя). Правильный ответ на такой «комплексный» вопрос ученик даст только в том случае, если он сумеет правильно проанализировать условия видимости явлений и объектов.

Познавательные задачи, как и вопросы, могут быть проблемными и непоблемными. Это зависит от способа их решения: либо способ решения вытекает из прежнего опыта учащегося, либо его необходимо придумать. К непоблемным относятся задачи, решение которых проводится по образцу, меняются лишь исходные данные («Какова большая ось орбиты кометы Галлея, период обращения которой 76 лет?»). Такие задачи полезны, если необходимо закрепить знания определенного раздела, привить учащимся навыки применения знаний. Однако активизация учебного процесса достигается при решении **творческих, проблемных задач**, когда их решает не один ученик, а весь класс (часто подобные задачи предполагают не одного, а несколько решений). Решение таких задач по форме мыслительной деятельности значительно отличается

от работы ученика над стандартными задачами. Проблемные задачи требуют применения анализа, систематизации, синтеза прежних знаний, возможно, полученных в курсах разных предметов, для выработки нового представления. Решая «обычные» задачи, ученики нового знания не получают, а лишь актуализируют имеющиеся у них сведения.

Подбирать проблемные задачи учитель должен постепенно. Сборников подобных задач пока нет (хотя необходимость в них ощущается!), но такие задачи преподаватель сумеет найти в задачниках, методических руководствах и пособиях по внеклассной работе. Здесь могут оказаться полезными широко известные книги по «занимательной астрономии», а также задачи, которые предлагались школьникам на астрономических олимпиадах.

Нередко проблемную ситуацию удается создать с помощью **учебных заданий**. Например, можно предложить учащимся определить, пользуясь **подвижной картой звездного неба**, созвездия, доступные наблюдению в 21 час местного времени в разные дни в западной и восточной части горизонта. Это, конечно, не проблемное задание. Но, получив ответы на поставленные вопросы, преподаватель может использовать эти ответы как необходимый исходный материал для изучения суточного вращения небесной сферы. В данном случае проблемная ситуация создана с помощью неproblemных заданий. Подвижной картой звездного неба учащиеся пользоваться уже умеют, и выполнение заданий для них — это лишь применение приобретенных знаний на практике.

Подвижная карта звездного неба помогает решать и другие учебные проблемы («Как, пользуясь картой, определить продолжительность дня?», «Каковы условия видимости того или иного светила?», «Как изменяется положение точек восхода и захода Солнца на протяжении года?» и т. д.).

Источником учебных заданий, кроме подвижной карты звездного неба, должны быть **иллюстрации в учебнике**. Их анализ позволяет получить некоторую информацию (определить

широту места наблюдения; сравнить размеры деталей на поверхности небесных тел; узнать, во сколько раз возрос блеск при вспышке новой звезды и т. д.). Отдельные иллюстрации в учебнике представляют интерес для организации простейших лабораторных работ, в ходе которых учащиеся в классе (а еще лучше — самостоятельно дома) могут оценить эксцентриситеты орбит малых планет, изучить движение вещества протуберанцев, определить по спектру лучевые скорости звезд и т. д. Вообще, надо отметить, что различные **наглядные пособия** (таблицы, учебные диафильмы) могут быть с успехом использованы для создания проблемных ситуаций на уроках астрономии. В этом отношении особенно перспективны **учебные диафильмы**, поскольку субтитры многих из них содержат уже сформулированные вопросы к учащимся.

Наблюдения в курсе астрономии также служат для постановки учебных проблем. Под руководством преподавателя учащиеся ведут немногочисленные наблюдения. Но самостоятельно (в порядке необязательных заданий) они способны выполнить довольно много простейших наблюдений. Например, зарисовать фазы Луны и ее положение среди звезд (наблюдения невооруженным глазом, в бинокль); наблюдать детали лунной поверхности и фазы Венеры (в школьный телескоп); зарисовать положение планет среди звезд (наблюдения невооруженным глазом); наблюдать спутники Юпитера (в бинокль, в школьный телескоп), Сатурн и его кольца (в школьный телескоп). Индивидуализируя задания, преподаватель всегда сумеет их усложнить. Он может предложить учащимся не только зарисовать положение Луны на фоне звезд, но и приближенно определить ее экваториальные координаты. Наблюдения планет могут помочь учащимся выявить петлеобразные планетные движения. Наблюдая спутники Юпитера, учащиеся должны обратить внимание на такие явления, как затмения, покрытия и прохождения.

Известно, что организация и проведение самих наблюдений представляет для учащихся немалую

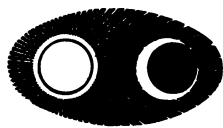


АСТРОНОМИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

«проблему», так как у них нет еще навыков в подобной работе. Им придется выбрать место для наблюдений и к ним соответствующим образом подготовиться. При зарисовке Луны и планет на фоне звезд учащиеся уже должны быть знакомы со звездным небом. Не нужно каждый раз на листе указывать положение звезд, окружающих объект. Их достаточно найти и отметить на карте, обращая внимание на то, образует ли объект и звезды какую-либо характерную геометрическую конфигурацию. Результаты наблюдений полезно представить в такой форме, чтобы их можно было продемонстрировать на уроке и на их основе создавать проблемную ситуацию, пытаясь выявить сущность наблюдаемых явлений.

Наблюдения под руководством преподавателя не должны ограничиваться простым обзором звездного неба. В процессе подготовки и в ходе выполнения этих наблюдений учащимся следует предложить ряд вопросов, отвечая на которые, они уяснят, почему и для чего звездное небо разделили на созвездия, усвоит принятую систему обозначения звезд, познакомятся со шкалой звездных величин, угловыми измерениями, а также с ориентировкой по звездам и координатами звезд. Продумывая методику проведения школьных астрономических наблюдений, каждый преподаватель сумеет включить в них элементы проблемного обучения. Это позволит заинтересовать учащихся и повысить их активность, а также приучить учащихся к выполнению самостоятельных наблюдений.

Таким образом, элементы проблемного обучения могут применяться и



АСТРОНОМИ
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

на уроках, и во время школьных астрономических наблюдений, и в самостоятельной домашней работе учащихся. Наибольшего эффекта достигают те преподаватели, которые используют не какой-нибудь один, а различные методы преподавания, включая и проблемные.

Проблемные методы объяснения нового материала тоже могут быть разными; особым образом построенный монолог, эвристическая беседа или довольно сложный исследовательский метод проведения урока. Эти, а также некоторые другие методы проблемного обучения различаются не только степенью перестройки учебного материала, формами деятельности преподавателя, но и степенью активности учащихся. Допустим, что надо объяснить учащимся, как определяют расстояния до звезд. Проще всего сформулировать **подпроблему**, то есть рассказать, зачем нужно знать расстояния до звезд. Затем напомнить учащимся методы измерения расстояний до тел Солнечной системы (третий закон Кеплера, горизонтальный параллакс, радиолокация, лазерная локация). После этого формулируется **основная проблема**: можно ли эти методы использовать для определения расстояний до звезд? Анализируя каждый из упомянутых методов, преподаватель подводит учащихся к выводу о том, что ни один из этих методов не может быть применен для решения интересующей нас задачи и для определения расстояний до звезд нужно взять в качестве базиса не радиус Земли, а радиус земной орбиты. Далее вводится понятие годичного параллакса и единицы изме-

рения расстояний до звезд. Проблемная ситуация создается в данном случае лишь для того, чтобы заинтересовать учащихся. Материал излагает учитель, но форма изложения такова, что учащимся приходится внимательно следить за ходом мысли преподавателя.

Урок может быть построен и на системе хорошо продуманных риторических вопросов. Рассуждая вслух, учитель показывает ученикам, пусть искусственно созданный, но все-таки некоторый образец постановки и решения проблемы. Стремясь активизировать учеников, учитель должен вовлечь их в беседу, расчлняя общую проблему на ряд небольших задач, которые можно решить с участием школьников. Проведение такой беседы — дело непростое, требующее известного мастерства. Метод эвристической беседы можно, например, использовать при объяснении светимости и абсолютной величины звезд. Проблему целесообразно сформулировать в виде конкретной задачи: «Какая из звезд ярче — Солнце или Сириус?» Намечая подход к ее решению, придется прежде всего напомнить учащимся, как вообще изменяется освещенность в зависимости от расстояния до источника света. Узнав, во сколько раз Сириус дальше от нас, чем Солнце, мы можем вычислить, во сколько раз уменьшится блеск Солнца, если его расположить на месте Сириуса. Когда нам это станет известно, легко установить, на сколько звездных величин уменьшится блеск Солнца и звездой какого блеска мы увидели бы Солнце, если оно находилось бы от нас так же далеко, как Сириус. Теперь уже не представляет труда дать ответ на вопрос задачи. Важно, что к этому ответу класс пришел в результате коллективного обсуждения. Учащиеся усвоили, что для сравнения звезд по блеску необходимо помещать их на одинаковое расстояние. Какое расстояние надо взять? Оно может быть любым; астрономы договорились принять его равным 10 пс. Затем учитель раскрывает понятие абсолютной звездной величины и выводит формулу, связывающую абсолютную и видимую звездные величи-

ны. К этому учащиеся уже подготовлены.

Известно, что у некоторых учителей проблемный урок не дает нужного эффекта. В чем здесь дело? Основная ошибка в том, что переоцениваются возможности ученика и применяются сразу такие сложные формы проблемного урока, к которым ученик не подготовлен и, следовательно, не может быть активен. Поэтому желательно постепенно приобщать учеников к системе проблемного изложения учебного материала.

«Все ли обучение должно быть проблемным?», — ставит вопрос академик АПН СССР М. И. Махмутов в своей книге «Организация проблемного обучения в школе». И отвечает: «Нет, не все, если под проблемным обучением иметь в виду только решение учебных проблем и только самостоятельное усвоение всего учебного материала. Да, все, если проблемное обучение понимать как систему методов, в которой самостоятельное усвоение знаний осуществляется путем решения учебных проблем, путем, в котором открытия сочетаются с репродуктивным усвоением знаний...». Надо сказать, что не все педагоги разделяют эту точку зрения, видя в самой постановке вопроса о проблемном обучении нечто надуманное, они полагают, что «проблемность» просто изначально присуща «здравому смыслу» педагогического опыта. В данном случае, как нам представляется, делается попытка распространить на всех опыт немногих высококвалифицированных педагогов, «стихийно» пришедших к необходимости внедрения в практику преподавания элементов проблемного обучения. Но не чаще ли, придя на урок астрономии, можно обнаружить, что учитель монотонно преподносит материал «в готовом виде», не увлекает учащихся в поиск, не заставляет соотносить узнаваемое с известным? Не в этом ли одна из причин многих неинтересных уроков по одному из самых увлекательных учебных предметов?

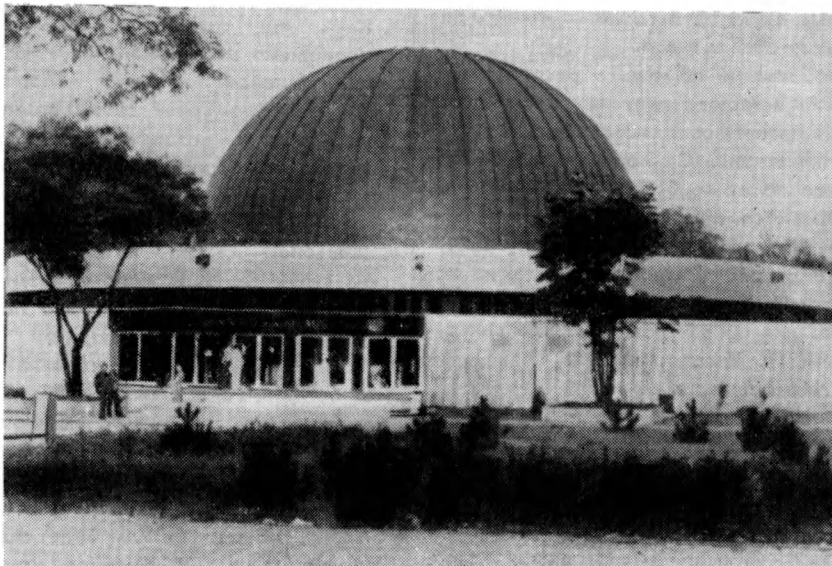


Юбилейный слет

В августе 1978 года в Будапеште проходил X слет Общества друзей астрономии Венгерской Народной Республики. Устав этого общества был утвержден 16 лет назад, в 1963 году на I слете.

Первые астрономические кружки начали создаваться в Венгрии более полувека назад по инициативе доктора Д. Кулина. В 1947 году на общественные средства была построена первая народная обсерватория «Урания», которой руководил до 1976 года Д. Кулин. Он же на протяжении многих лет был председателем Общества друзей астрономии. Сейчас венгерское любительское движение успешно развивается («Земля и Вселенная», № 5, 1976, с. 83—86.—Ред.). По словам Д. Кулина, на X слете он убедился, что все то, о чем он когда-то мечтал, воплотилось в жизнь.

Слет проходил в здании нового Будапештского планетария, где установлен аппарат Цейсса. На слете присутствовало около 300 членов общества, в большинстве — молодежь. Здесь были гости из ГДР, Румынии, СССР и Чехословакии. Председатель общества, директор планетария А. Понори рассказал об истории венгерского любительского движения и остановился на некоторых организационных вопросах. Раньше в общество зачисляли всех, кто выразил желание стать его членом и подписался на научно-популярный журнал «Земля и Небо» («Föld és Eg»). В обществе насчитывалось 13 000 человек и было неясно, кто из них ведет активную работу. Зачастую любители астрономии, живущие в одном и том же городе, работали изолиро-



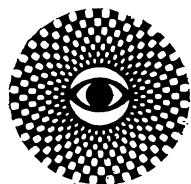
ванно, не зная друг о друге. В последние два года проходит перерегистрация членов общества, создаются его региональные отделения. Сейчас в обществе — 2831 человек. Активно функционируют кружки, проводятся областные встречи, слеты и летние лагеря любителей астрономии.

В своем выступлении А. Понори отметил значение народных обсерваторий в распространении астрономических знаний, в выработке научно-материалистического мировоззрения у молодежи. В Венгрии существ-

вует широкая сеть народных обсерваторий (их около двадцати). Они работают в основном при крупных промышленных предприятиях. Здание и установку телескопа строят предприятия, причем в строительстве добровольно участвуют люди разных профессий. Мастерская «Урания» обеспечивает народные обсерватории оптическими деталями.

Изготовление зеркал для любительских телескопов организовал и ныне возглавляет доктор Д. Кулин. Обычно в мастерской делают в день не менее одного диска. Блоки для дисков «Урания» получает со стеклозавода. Имеется договоренность с некоторыми предприятиями о передаче списанного оптического оборудования любителям астрономии. И на слете любители могли приобрести по низким ценам линзы, ахроматы, гото-

Будапештский планетарий, в котором состоялся X слет Общества друзей астрономии



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

вые окуляры, а также комплекты для искателей и гидов.

Большую помощь в распространении естественнонаучных знаний среди населения оказывает Будапештский планетарий. За первый год работы его посетили более 200 000 человек. Имеются программы, предназначенные школьникам младшего и старшего возраста, взрослым, а также короткая программа на немецком языке для приезжающих в Будапешт туристов. Участники слета познакомились с программами планетария.

На слете были прочитаны научные доклады, посвященные современным проблемам астрономии, космонавтики, задачам астрономов-любителей; работали четыре секции: наблюдателей, небесной фотографии, приборостроения и руководителей кружков. В вечернее время демонстрировались слайды и кинофильмы по астрономии.

Очень тепло встретили участники слета приветствие Центрального совета Всесоюзного астрономо-геодезического общества, которое по поручению ВАГО прочитал автор заметки. Венгерские любители полны желания расширять и укреплять контакты с советскими любителями астрономии.

Ю. Ю. ПАЛКО



Дельфин

Крохотное созвездие Дельфина расположено в северной части неба, именованной когда-то Морем. Пять наиболее ярких звезд созвездия, четыре из которых находятся в углах ромба, образуют фигуру, своими очертаниями напоминающую дельфина.

Дельфин — герой многих мифических сказаний. И в каждом сказании утверждалось, что именно его персонаж увековечен в созвездии.

В одной легенде рассказывается, как бог морей Посейдон, путешествуя по своим безбрежным владениям на дельфине, выбирал невесту среди nereид. Ему приглянулась юная Фетида. Однако вещие старцы предсказали, что сын Фетиды будет сильнее отца. Поэтому Посейдон отказался от своего намерения и решил жениться на nereиде Амфитрите. Обиженная тем, что Посейдон ее раньше не замечал, она укрылась у титана Атласа. Долго не мог найти бог морей прекрасную дочь Нерея. И только дельфин открыл ему убежище Амфитриты. За эту услугу Посейдон вознес дельфина на небо.

Согласно другой легенде, в созвездии увековечен дельфин, который



Созвездие Дельфина из «Уранометрии» И. Байера (1645 г.)



Созвездие Дельфина из атласа И. Боде (1800 г.)



Созвездие Дельфина из «Общепонятной астрономии» Ф. Араго (1861 г.)

Delphinus. T. XVII.



DELPHINUS



спас поэта и музыканта Ариона. Во время морского путешествия команда корабля, проведав о богатстве Ариона, задумала его убить и завладеть сокровищами. Поэт упросил моряков исполнить его последнее желание — разрешить ему спеть. Арион оделся в свои лучшие одежды, взшел на корму, взял в руки кифару и запел торжественную песню, в которой славил Аполлона. И полились над морем пленительные звуки. Прекрасная мелодия привлекла и очаровала стаю дельфинов. И как только моряки попытались схватить Ариона, он с кифарой в руках бросился в морскую пучину. Его подхватил дельфин и вынес на берег.

Известно много дельфинов-спасателей. Так, дельфины, сберегли жизнь Тару — основателю города Тарента в Южной Италии. Благодарные горожане отчеканили монету с изображением дельфина. Дельфины вынесли из моря и тело убитого греческого поэта Гесиода и помогли распознать убийц.

В средние века христиане усматривали в этом созвездии то образ Христа-спасителя, то крест Иисуса, то гроб Иовы.

Жители Псковщины называли созвездие Решеткой, украинцы — Криницей (колодець), эстонцы — Таэва Рист (звездным крестом). Арабы именовали созвездие дельфина аль-Кауд — верблюд для верховой езды. Разнообразны и латинские названия созвездия: Arolo — Аполлон (согласно древним мифам, бог Аполлон часто превращался в дельфина), *Musisium signum* — небесный музыкальный знак, музыкальная звезда (это название, по-видимому, связано с легендой о музыканте Арионе), *Carigis* — коляска (упряжь для дельфина) и др.

И. И. НЕЯЧЕНКО

АВТОМАТИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ «ГЕЛИОС»

Западногерманские межпланетные станции «Гелиос-1» и «Гелиос-2» были запущены 10 декабря 1974 года и 15 января 1976 года на сильно вытянутые эллиптические гелиоцентрические орбиты, лежащие в плоскости эклиптики. Расстояния в перигелии 0,31 и 0,29 а. е., периоды обращения вокруг Солнца 186 и 176 дней, соответственно. Основная задача запуска — исследование околосолнечного пространства и оценки воздействия Солнца на межпланетную среду.

На аппаратах «Гелиос» с помощью двух магнитометров, вынесенных на штангах длиной 2,8 и 4,6 м, изучалось межпланетное магнитное поле. Как показали измерения, усредненная за сутки величина магнитного поля в зависимости от расстояния до Солнца может быть выражена соотношением $B=5,53 R^{-1,6}$ (B — в гаммах, R — в а. е.). На фоне медленных изменений магнитного поля наблюдались также и быстрые. Зарегистрированы магнитные дыры — существенные понижения абсолютной величины межпланетного магнитного поля.

Концентрация пыли в межпланетном пространстве определялась на основании изучения зодиакального света. Измерения проводились тремя фотометрами, направленными под разными углами к плоскости эклиптики. Оказалось, что при изменении расстояния от Солнца с 1 до 0,31 а. е. интенсивность рассеянного излучения возрастает примерно в 10 раз. Такое изменение интенсивности света соответствует изменению концентрации пыли при удалении от Солнца по закону $n \sim R^{-1,3}$. Проведенный эксперимент позволяет сделать вывод, что указанная зависимость существует по крайней мере до расстояния 0,09 а. е. (ближайшая к Солнцу область, которая еще просматривалась фотометрами космического аппарата). Исследования показали, что плоскость симметрии пылевого облака наклонена к плоскости эклиптики под некоторым углом. Зон, свободных от пыли, не обнару-

жено. Измерения интенсивности и поляризации зодиакального света показывают, что свет рассеивается на частицах размером более 10 мкм, состоящих из пористого вещества, а не на мелких (меньше 1 мкм), как это считалось ранее.

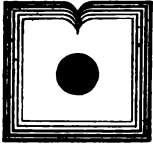
С помощью двух ионизационных датчиков производилась регистрация метеорных частиц. Отмечено возрастание частоты ударов по мере приближения к Солнцу. Так, на расстоянии 0,3 а. е. их было в 20 раз больше, чем на расстоянии 1 а. е.

В межпланетном пространстве на частотах от 10 Гц до 200 кГц зарегистрированы переменные электрические поля. Получены энергетические спектры электронов и протонов космических лучей средних энергий. Определена концентрация электронов в солнечной короне на разной высоте — от 3 до 215 солнечных радиусов. На расстоянии трех радиусов от Солнца она составляет $1,3 \cdot 10^{11} \text{ м}^{-3}$, а на расстоянии 215 радиусов — $7 \cdot 10^6 \text{ м}^{-3}$.

При одновременном полете обоих космических аппаратов в течение каждого оборота их вокруг Солнца существуют две пары точек, когда аппараты располагаются радиально от Солнца. Это позволяет исследовать распространение солнечной плазмы в межпланетном пространстве при разных условиях окружающей космической среды. Поскольку аппаратура, установленная на космических станциях, идентична, то получаемые данные легко сопоставить. Измерения в течение значительного промежутка времени в удаленных друг от друга областях межпланетного пространства позволили изучать модуляцию космических лучей во время солнечных вспышек, а также распространение частиц, испускаемых Солнцем.

Был проведен эксперимент по регистрации электронов от Юпитера в околосолнечном пространстве. В районе орбиты Земли их наблюдению мешает сильное магнитное поле нашей планеты. Станции «Гелиос» обнаружили электроны от Юпитера вплоть до расстояния 0,3 а. е.

Кандидат физико-математических наук
В. И. ЧЕСНОКОВ



КНИГИ
О ЗЕМЛЕ
И НЕБЕ

«Альберт Эйнштейн и теория гравитации»

К 100-летию юбилею величайшего мыслителя XX века А. Эйнштейна издательство «Мир» выпустило в свет книгу «Альберт Эйнштейн и теория гравитации». Это — сборник классических работ самого Эйнштейна и других ученых, внесших вклад в становление и развитие современной теории гравитации.

Сборник состоит из семи частей. Первая включает работы, идеи которых можно считать истоками общей теории относительности. Открывается книга фрагментами из знаменитого сочинения нашего великого соотечественника Н. И. Лобачевского «О началах геометрии» (1829 г.). Именно в этом произведении была подведена черта под тысячелетними попытками доказать пятый постулат Эвклида, создана первая неевклидова геометрия и впервые четко поставлен вопрос: какой геометрией описывается реальное физическое пространство? Далее помещен знаменитый мемуар Б. Римана «О гипотезах, лежащих в основании геометрии» (1854 г.), в котором заложены основы римановой геометрии, ставшей математическим фундаментом общей теории относительности, сформулированы не потерявшие актуальность до наших дней вопросы о геометрии пространства на малых расстояниях и возможной дискретности мира. Здесь же приведен отрывок из другого произведения Б. Римана, свидетельствующий о том, что Риман размышлял о природе тяготения, но еще не смог объединить гравитацию с искривлением пространства (и времени). Следующий этап становления неевклидовых геометрий связан с именем английского математика



В. Клиффорда. В сборник включена его статья «О пространственной теории материи» (1876 г.) и отрывок из книги «Здравый смысл точных наук» (вышла в 1885 году, уже после смерти В. Клиффорда). Примечательно, что в последней Клиффорд предсказал воплощенные в дальнейшем в общей теории относительности три качественно различных проявления искривленности пространства: постоянной кривизны (пространственные сечения в космологических моделях Фридмана), изменяющейся от точки к точке кривизны (например, искривление пространства — времени, создаваемое Солнцем) и изменяющееся во времени искривление (гравитационные волны). Однако и Клиффорд не смог поставить рядом геометрию и гравитацию.

Как известно (и это неоднократно подчеркивалось А. Эйнштейном), огромное влияние на развитие физики и взглядов великого ученого оказали физические идеи Э. Маха. В сборнике читатели найдут два раздела из книги Маха «Механика» (1883 г.) и главу из его книги «Познание и заблуждение» (1905 г.). Завершается первая часть сборника статьей А. Пуанкаре «О динамике электрона» (1906 г.), в которой была предпринята первая после Ньютона реальная попытка развить теорию гравитации. В статье ньютоновская теория тяготения обобщена на случай пространства — времени специальной теории относительности, где пространство и время уже объединены в одно четырехмерное многообразие.

Таким образом, в сборнике довольно полно обрисовано развитие представлений о геометрии физического пространства и времени от Н. И. Лобачевского до А. Эйнштейна.

Статьи, вошедшие во вторую часть сборника, отражают основные этапы становления общей теории относительности. Начинается эта часть с отрывка из работы А. Эйнштейна «О принципе относительности и его следствиях» (1907 г.), где он впервые касается теории гравитации. После работ А. Пуанкаре и А. Эйнштейна теория гравитации прочно вошла в сферу внимания физиков. Оставалось объединить два имеющихся направления: представления о геометрии пространства — времени и теорию гравитации. Этот шаг был сделан в совместной статье А. Эйнштейна и математика М. Гроссмана «Проект обобщенной теории относительности».



сти и теории тяготения» (1913 г.). В сборнике напечатана первая (физическая) часть статьи, где была вскрыта связь теории тяготения с метрическими свойствами пространства и времени. В этом же разделе опубликована важная работа Д. Гильберта (1915 г.), в которой на основе идей Эйнштейна вариационным методом были выведены уравнения, ныне известные как уравнения Эйнштейна. Заключает вторую часть сборника статья Эйнштейна «Основы общей теории относительности» (1916 г.). Именно эта работа завершила построение общей теории относительности в том виде, в каком она известна в наше время как теория Эйнштейна. 1916-й год считают по праву годом рождения общей теории относительности.

Последующие части сборника посвящены развитию общей теории относительности. Так, третья часть содержит важнейшие работы по «классической» теории гравитации. Сюда включены статьи К. Шварцшильда (1916 г.) и Р. Керра (1963 г.), где впервые были опубликованы важнейшие для физических приложений решения уравнений Эйнштейна, а также статья профессора Казанского университета А. З. Петрова (1954 г.), в которой предложена алгебраическая классификация пространств Эйнштейна. Три класса Петрова широко известны во всем мире. И, наконец, в эту часть сборника вошла работа академика В. А. Фока «Вывод уравнений движения тел из уравнений поля» (1939 г.). Этот важный результат был получен В. А. Фоком практически одновременно с А. Эйнштей-

ном, Л. Инфельдом, Б. Гоффманом.

Четвертая часть содержит исследования по космологии и релятивистской астрофизике. Первая работа в этом разделе — статья Эйнштейна, в которой предложена замкнутая статическая модель Вселенной, качественно обсуждавшаяся еще в работе Клиффорда. Затем помещена в сокращенном виде важная работа В. де Ситтера (1917 г.). Далее в сборник включены две знаменитые статьи советского ученого А. А. Фридмана «О кривизне пространства» (1922 г.) и «О возможности мира с постоянной отрицательной кривизной пространства» (1924 г.). В них найдены нестационарные однородные изотропные модели Вселенной (открытые и замкнутые). Трехмерные пространства этих моделей соответственно описываются неевклидовыми геометриями Лобачевского и Римана. Модели Фридмана составляют основу современной космологии. Предсказанное им расширение Вселенной было экспериментально обнаружено вскоре Э. Хабблом (1929 г.). В сборник вошли работы советских и зарубежных ученых, заложивших основу бурно развивающейся сейчас релятивистской астрофизики.

Пятый раздел сборника посвящен актуальному направлению современной теоретической физики — изучению соотношения закономерностей общей теории относительности и квантовой теории. Эта область исследований, сулящая новые фундаментальные открытия в учении о пространстве и времени, в данный момент далека от завершения. Поэтому пока трудно сформулировать критерий для отбора наиболее существенных работ в этом направлении. Однако ряд статей получили довольно широкую известность, часто цитируются, именно такие статьи и включены в сборник.

В шестой части сборника помещены пионерские работы, в которых предложены основные направления обобщений эйнштейновской теории гравитации, в развитии многих из них принял участие сам Эйнштейн. Прежде всего, сюда вошла важная работа Г. Вейля, который, как считают, впервые поставил проблему геометриза-

ции электрического поля, то есть построения единой теории гравитации и электромагнетизма. Следует заметить, что наброски этой программы можно усмотреть в уже упомянутых работах Клиффорда. Вейль предложил одно из обобщений римановой геометрии, основанное на зависимости длины от электромагнитного поля, а также определил новый вид симметрии — конформной, связанный с изменением геометрии, при котором сохраняются углы. В работах Э. Картана, одна из которых опубликована в сборнике, развита геометрия пространства с кручением. В последнее время такие геометрии привлекают пристальное внимание физиков-теоретиков. Интересное обобщение эйнштейновской теории разработал Т. Калуца, который показал, что в рамках пятимерной римановой геометрии удастся довольно естественно объединить теории гравитации и электромагнитного поля. Его работа также включена в сборник. Здесь же помещена небольшая статья П. Дирака (1937 г.), в которой он впервые высказал гипотезу о связи космологических и атомных констант и о возможности их совместного изменения.

Известно, что А. Эйнштейн около тридцати лет жизни посвятил созданию единой теории гравитации и электромагнитного поля, причем за это время он перепробовал ряд вариантов. В сборнике опубликован отрывок одной из его работ, где он излагает содержание последнего варианта единой теории поля (с несимметричной метрикой). Завершается этот раздел сборника статьей Дж. Уилера и Ч. Мизнера (1957 г.), в которой провозглашена программа построения геометрической динамики с «массами без масс», «зарядами без зарядов» на основе обобщения топологических свойств пространства — времени.

В заключительной, седьмой, части сборника рассказывается об экспериментальных основах общей теории относительности. Результаты первого эксперимента по проверке теории гравитации Эйнштейна — измерению отклонения света звезд при прохождении луча вблизи Солнца —

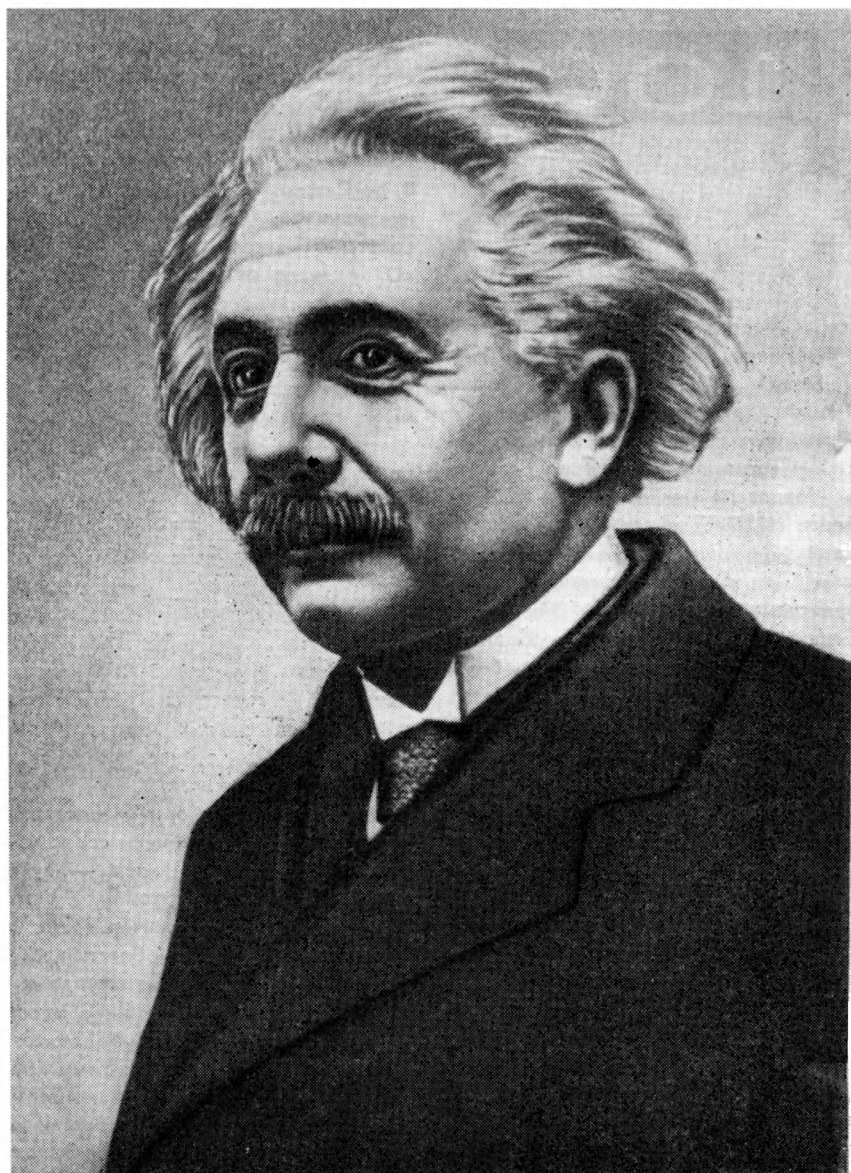
«УСПЕХИ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК» К ЮБИЛЕЮ ЭЙНШТЕЙНА

изложены в статье А. Эддингтона (1919 г.). В сборнике напечатаны аннотации последних экспериментальных работ, в ходе которых уточнялся принцип эквивалентности, измерялись отклонения света в гравитационном поле, смещение перигелия Меркурия и релятивистское красное смещение.

В сборнике везде, где это возможно, помещены высказывания самого А. Эйнштейна, комментирующие соответствующие результаты или направления исследований. Следует подчеркнуть, что составители сборника ограничились лишь оригинальными работами, опубликованными примерно до середины 60-х годов, значимость которых выдержала проверку временем.

Книга «Альберт Эйнштейн и теория гравитации» довольно полно отражает историю развития учения о геометрических свойствах пространства — времени в течение почти 150 лет и характеризует основные направления развития теории гравитации. Книга, несомненно, будет полезна всем, кто интересуется историей создания и физическим содержанием общей теории относительности; она окажется хрестоматией для изучающих теорию гравитации, ибо ничто не может заменить непосредственного знакомства с образом мысли самих творцов научных теорий.

**Доктор физико-математических наук
Ю. С. ВЛАДИМИРОВ**



Журнал «Успехи физических наук» посвятил Альберту Эйнштейну целый номер. В. П. Визгин и Я. А. Смородинский в статье «От принципа эквивалентности к уравнениям тяготения» подробно просле-

живают основные этапы формирования общей теории относительности, или современной теории тяготения. В статье кратко характеризуется состояние проблемы тяготения в период, предшествовавший работам Эйнштейна, затем рассказывается о долгом и трудном пути, который Эйнштейн прошел от первоначальных идей до создания окончательно-

■
Альберт Эйнштейн («Успехи физических наук», т. 128, вып. 3, 1979)

го варианта своей замечательной теории, о поисках адекватного ей математического аппарата и пересмыслении связанных с ним основных физических понятий. В конце статьи проанализирован вклад Д. Гильберта, который одновременно и независимо от Эйнштейна получил общековариантные уравнения гравитационного поля.

В номере опубликована статья академика В. Л. Гинзбурга «Об экспериментальной проверке общей теории относительности». Несмотря на то, что эта теория родилась еще в 1916 году, экспериментальная проверка ее остается актуальной задачей современной физики и астрономии. Статья не содержит детального изложения имеющихся экспериментальных результатов и проектов новых экспериментов; ее цель — дать общую картину современного состояния этой проблемы. Причем рассматриваются оба направления исследований: проверка основ теории, ее исходных предположений (прежде всего, справедливости принципа эквивалентности) и проверка следствий, вытекающих из общей теории относительности, а также предсказываемых ею явлений. К настоящему времени равенство тяжелой и инертной масс подтверждено с точностью, в несколько десятков раз большей, чем это было известно в момент создания теории. С различной степенью точности подтверждены также и главные следствия теории — гравитационное красное смещение частоты спектральных линий, отклонение лучей света, проходящих вблизи Солнца, и поворот перигелия Меркурия. Многообещающие возможности более точной проверки общей теории относительности связаны с развитием космических исследований. В статье подробно обсуждается также проблема границ применимости этой теории в сильных гравитационных полях.

В статье академика АН БССР М. А. Ельяшевича «Вклад Эйнштейна в развитие квантовых представлений» проанализированы работы Эйнштейна по различным аспектам квантовой теории. В ней рассмотрено данное Эйнштейном обоснование

существования квантов света и их применение к элементарным взаимодействиям света с веществом, рассказано о разработке основ квантовой теории теплоемкости, квантовой теории излучения, а также об отношении Эйнштейна к проблеме корпускулярно-волнового дуализма поля и вещества.

В статье академика А. М. Прохорова и Н. В. Карлова «Квантовая электроника и эйнштейновская теория излучения» показано, что в работах Эйнштейна, появившихся в 1916 году, заложены теоретические предпосылки для развития квантовой электроники. Особенно плодотворной авторы считают идею о существовании когерентных процессов, которая, по их мнению, и сегодня содержит в себе ряд практически еще не реализованных возможностей.

В 1915—1916 годах Эйнштейн опубликовал (частично с В. де Гаазом) три работы, в которых экспериментально доказывалось существование молекулярных токов Ампера. В результате этих работ был открыт эффект Эйнштейна — де Гааза. Об истории его открытия и эволюции взглядов Эйнштейна на природу спина электрона рассказывается в

статье В. Я. Френкеля «К истории эффекта Эйнштейна — де Гааза».

В эйнштейновскую серию статей журнал «Успехи физических наук» включил статью С. Г. Суворова «Эйнштейн: становление теории относительности и некоторые его гносеологические уроки». Проследив историю возникновения и становления специальной теории относительности, автор убедительно показывает, что в анализе проблем электродинамики движущихся тел Эйнштейн шел своим путем. Он высоко поднял значение исходных принципов, рассматриваемых как обобщение опыта, и роли физической теории, в которой природа отражена как целостность. Из такого подхода естественно вытекало отрицание абсолютности пространства и времени; именно на основе этого подхода Эйнштейн развил теорию относительности. В статье С. Г. Суворова обосновано также отрицательное отношение Эйнштейна к трактовке геометрии, как конвенционально (по соглашению) избираемому способу описания опыта, независимому от реальных физических взаимосвязей.

В. А. РУДОВ

«ВЕСТНИК АН СССР» К ЮБИЛЕЮ ЭЙНШТЕЙНА

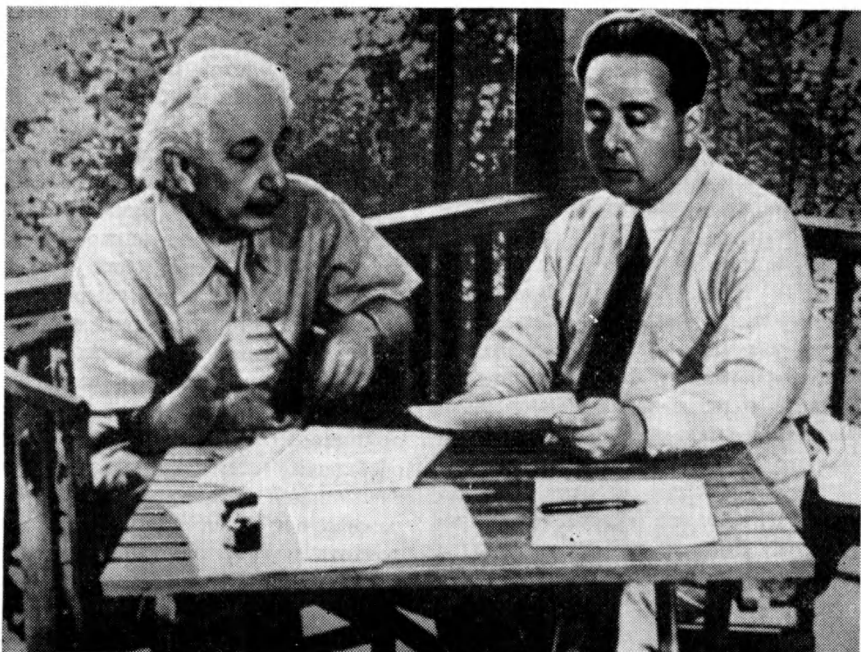
100-летие со дня рождения А. Эйнштейна «Вестник Академии наук СССР» отметил публикацией в нескольких номерах серии статей. Как журнал общенаучный «Вестник» стремился прежде всего раскрыть роль Эйнштейна в преобразовании естественнонаучной картины мира.

Философским проблемам теории относительности и квантовой механики посвящена статья члена-корреспондента АН СССР М. Э. Омеляновского «Эйнштейн, основания современной физики и диалектика». М. Э. Омеляновский демонстрирует диалектический характер основных положений теории относительности

и убедительно показывает, что правильное истолкование этой теории возможно только с позиций диалектического материализма.

Б. Г. Кузнецов в статье «Эйнштейн и классическая наука» раскрывает в свете научной революции, связанной с именем Эйнштейна, изменение наших представлений о закономерностях развития науки, о природе научной революции, о преемственности и новизне в науке.

Статья академика М. А. Маркова «Современные проблемы теории относительности» посвящена перспективам развития проблем, поставленных теорией относительности, преж-



де всего теории вакуума, космогонии, общей теории поля. Автор подчеркивает, что «общая теория относительности, которая всегда считалась примером чисто абстрактных умозрительных построений... постепенно становится наукой, где эксперимент начинает играть существенную роль». И тем не менее, статья заканчивается парадоксальным на первый взгляд выводом: «В понимании основ мироздания мы не очень далеко ушли от древних греков. Если древние греки рассматривали природу в виде совокупности четырех стихий (земля, вода, воздух, огонь), то мы рассматриваем мироздание как существование тоже четырех «стихий» — сильных, электромагнитных, слабых и гравитационных — полей. Так же, как и древние, мы пока не проникли в ту суть вещей, которая дается пониманием внутреннего единства этих «стихий» XX столетия... Понимание единства всех полей, включая гравитационное, явля-

ется задачей, к которой и будет стремиться наша наука».

Статья президента Международного союза истории и философии науки А. Т. Григорьяна «Эйнштейн как историк естествознания» посвящена вкладу великого физика в развитие современных историко-научных представлений, значению его знаменитых критериев «внешнего оправдания» и «внутреннего совершенства» научной теории для современной историографии и методологии науки. В статье много интересных сведений об отношении Эйнштейна к нашей стране, о его контактах с советскими учеными, общественными и политическими деятелями. Создатель теории относительности с неизменной симпатией относился к первому социалистическому государству. Эйнштейн говорил о В. И. Ленине: «Люди, подобные ему, хранят и обновляют совесть человечества».

Сегодня в нашем сознании твердо укоренился образ Эйнштейна-теоретика, далекого даже от экспериментальной работы, не говоря уже об инженерной деятельности. Совсем иным предстает Эйнштейн в статье В. Я. Френкеля и Б. Е. Явелова

«Штрихи к портрету», посвященной бернскому периоду жизни ученого — времени, когда он работал в патентном бюро. Будущий великий теоретик изумлял своих коллег по Бюро способностью легко выявлять суть всякого изобретения и сам не чурался изобретательства, которое, по его словам, было полно «теоретических наслаждений». Совместно с Л. Сцилардом он разработал оригинальные конструкции холодильной машины и электромагнитного насоса.

Значение трудов Альберта Эйнштейна выходит далеко за рамки теоретической физики. И редакция «Вестника Академии наук СССР» в серии юбилейных статей попыталась отразить всю многогранность творческого наследия великого мыслителя XX века.

Л. А. РЕЗНИЧЕНКО

Новые книги

«РОБЕРТ ГОДДАРД»

Так называется книга, написанная И. Н. Бубновым и изданная в 1978 году издательством «Наука». Это — научная биография выдающегося американского пионера ракетной техники и теоретической космонавтики, создателя первой в мире жидкостной ракеты. Автор начинает книгу с изложения важнейшей теоретической работы Годдарда — монографии «Метод достижения предельных высот». Так называется первая глава.

■
Альберт Эйнштейн и Лео Сцилард. 1939 год («Вестник АН СССР», № 2, 1979)

Вторая глава «От школьных сочинений к монографии» рассказывает о детстве и юности Р. Годдарда, учебе в Вустерском политехническом институте, работе в Принстонском университете, первых полученных им ракетных патентах.

Третья глава «Многочарная ракета — годы тщетных усилий» посвящена началу опытно-конструкторских работ. В это время (1917—1922 гг.) Р. Годдард занимался разработкой военной техники — многозарядной ракеты, противолодочной ракетной установки, глубинного противолодочного орудия.

Четвертая глава «Жидкостные ракеты» повествует о пути, который привел Р. Годдарда к запуску первой в мире жидкостной ракеты (1926 г.). Нужно сказать, что первая по времени публикации идея космической жидкостной ракеты принадлежит К. Э. Циолковскому (1903 г.). Название пятой главы «Вклад в теорию космонавтики» четко определяет ее содержание. В ней излагаются ранние идеи Р. Годдарда и пересказываются четыре «космических» доклада.

Последняя, шестая, глава посвящена ракетным разработкам, проводившимся Р. Годдардом в 30-х годах.

Заканчивается книга знаменательными датами жизни и деятельности Р. Годдарда и библиографией его трудов.

В ГЛУБИНАХ ПЛАНЕТ

В 1978 году издательство «Наука» выпустило в свет книгу В. Н. Жаркова «Внутреннее строение Земли и планет». Книга адресована широкому кругу читателей (она доступна тем из них, кто имеет среднее образование) и интересна специалистам смежных с геофизикой профессий.

Первая часть книги посвящена строению твердой Земли. Она знакома читателям с основными понятиями и представлениями сейсмологии и гравиметрии. В отдельных главах рассказывается о собственных колебаниях, магнетизме и электропроводности Земли, о распределении температур внутри нашей планеты и тепловом потоке из ее недр. Завершается первая часть книги анализом существующих моделей внутреннего строения Земли.

«По существу,— пишет автор,— сейчас становится все более очевидно, что ни один по-настоящему глубокий и принципиальный вопрос, касающийся строения и развития Земли, не может быть решен без привлечения данных о Луне и планетах, метеоритах и астероидах...» Вот почему вторая часть книги посвящена строению планет и Луны. В ней прежде всего рассматриваются планеты земной группы и приводятся основные сведения о моделях внутреннего строения Меркурия, Ве-

неры и Марса. Вторая глава этой части книги содержит данные о внутреннем строении планет-гигантов, Юпитера, Сатурна, Урана и Нептуна.

Книга завершается главой «Внутреннее строение Луны», в которой суммируются первые результаты зондирования Луны геофизическими методами.

ФИЗИКА МАРСА

В 1978 году издательство «Наука» выпустило монографию В. И. Мороза «Физика планеты Марс». «В течение последних пяти лет,— пишет автор в предисловии к своей книге,— мы узнали о Марсе больше, чем за предыдущие сто. Новые данные были получены в результате исследований, проведенных на американских и советских космических аппаратах; некоторый вклад внесли наземные наблюдения. Оказалось, что Марс — планета, гораздо более похожая на Землю, чем ранее предполагалось». Автор отмечает, что представления о Марсе настолько изменились, что книгами, изданными до 1970 года, вообще нельзя пользоваться...

Первая глава «Марс как планета Солнечной системы» содержит краткое историческое введение, сведения

СТАТЬИ И ЗАМЕТКИ О МАГНИТОСФЕРЕ ЗЕМЛИ, ОПУБЛИКОВАННЫЕ В «ЗЕМЛЕ И ВСЕЛЕННОЙ» В 1965—1978 ГОДАХ

I. СТАТЬИ

| | | |
|-----------------|---|-------------------------|
| Барсуков О. М. | Эксперимент в магнитно-сопряженных точках | 1965 г. № 4 с. 74—78 |
| Вайсберг О. Л. | Полярные сияния | 1965 г. № 6 с. 24—30 |
| Вайсберг О. Л. | Электрические поля в магнитосфере | 1971 г. № 2 с. 61—62 |
| Подгорный И. М. | Искусственный солнечный ветер | 1970 г. № 4 с. 16—19 |
| Подгорный И. М. | Космос в лабораторной установке | 1977 г. № 3 с. 32—38 |
| Пушков Н. В. | Ленинградский симпозиум по сол- | 1971 г. № 1 с. 57—62 |

нечно-земной физике

| | | |
|---|---|--|
| Рёдерер Х. | Частицы и поля в космической окрестности Земли | 1970 г. № 4 с. 12—15 |
| Скуридин Г. А., Плетнев В. Д., Шалимов В. П., Швачунов И. Н. | Солнечный ветер, магнитосфера и радиационный пояс Земли | 1965 г. № 3 с. 18—26; № 4, с. 12—22 |

II. ЗАМЕТКИ

| | |
|--|----------------------|
| О кольцевом токе Земли | 1968 г. № 2 с. 53 |
| Свечение земной магнитосферы | 1972 г. № 4 с. 65 |
| Телевизионные наблюдения искусственного полярного сияния | 1974 г. № 4 с. 43 |

об орбите и основных физических характеристиках. Во второй главе «Поверхность Марса» рассматриваются методы исследования, рельеф, физические свойства грунта, полярные шапки, рассказывается о поисках биосферы. Об атмосфере Марса говорится в третьей главе «Атмосфера».

Четвертая глава «Внутреннее строение» повествует о внутреннем строении планеты, ее гравитационном и магнитном поле, о моделях ее внутреннего строения.

Глава пятая «Проблема эволюции атмосферы и климата» посвящена гипотезам о происхождении атмосферы и гидросферы, моделям климатических вариаций.

В шестой главе «Фобос и Деймос» обобщены основные сведения об естественных спутниках Марса и гипотезах их происхождения.

Перспективы исследования Марса рассматриваются в «Заключении».

Книга рассчитана прежде всего на специалистов в области астрономии и физики, но может быть полезна специалистам смежных областей и квалифицированным любителям астрономии.

НЕДРА ЛУНЫ

В 1978 году в серии «Планета Земля и Вселенная» издательство «Наука» выпустило книгу И. Н. Галкина «Геофизика Луны».

Книга, написанная популярно, до-

ступна широкому кругу читателей, интересующихся новой информацией о структуре, составе и состоянии недр Луны.

В главе «Космическая Одиссея» дается краткий обзор полетов к Луне советских и американских космических станций.

«Сюрпризы лунной сейсмоки» — это рассказ о результатах первых сейсмических наблюдений на Луне.

В главе «Кора в сейсмических лучах» говорится о том, как была открыта лунная кора, каковы ее свойства, чем она отличается от земной коры.

Глава «Путешествие к центру Луны» знакомит читателя с «литосферой», «астеносферой» и ядром естественного спутника Земли.

«Можно ли предсказать лунотрясение?» — так названа глава, посвященная сейсмичности Луны, лунотрясениям и их причинам, а также проблеме прогноза лунотрясений.

В главе «Магнетизм. Тепло. Гравитация.» рассматриваются проблемы намагниченности поверхности Луны, глубинной электропроводности; обсуждаются данные о масконах и аномальном тепловом потоке.

Заключительная глава книги посвящена происхождению и эволюции Луны. «Взгляд на Землю сквозь испещренное кратерами запятое лунное окно», — пишет автор, — позволяет лучше понять догеологический этап развития Земли и грядущие перспективы, когда Земля станет пассивной остывающей планетой».

4 ИЮЛЬ АВГУСТ 1979

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

Орган Секции физико-технических и математических наук, Секции наук о Земле Президиума Академии наук СССР и Всесоюзного астрономо-геодезического общества

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:

Главный редактор
доктор физико-математических наук
Д. Я. МАРТЫНОВ
Зам. главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Ю. Д. БУЛАНЖЕ
Зам. главного редактора
кандидат педагогических наук
Е. П. ЛЕВИТАН
Член-корреспондент АН СССР
Г. А. АВСЮК
Доктор географических наук
А. А. АКСЕНОВ
Кандидат физико-математических наук
В. А. БРОНШТЭН
Доктор юридических наук
В. С. ВЕРЕЩЕТИН
Кандидат технических наук
Ю. Н. ГЛАЗКОВ
Доктор технических наук
А. А. ИЗOTOV
Доктор физико-математических наук
И. К. КОВАЛЬ
Член-корреспондент АН СССР
В. Г. КОРТ
Доктор физико-математических наук
Б. Ю. ЛЕВИН
Кандидат физико-математических наук
Г. А. ЛЕЙКИН
Академик
А. А. МИХАЙЛОВ
Доктор физико-математических наук
Г. С. НАРИМАНОВ
Доктор физико-математических наук
И. Д. НОВИКОВ
Доктор физико-математических наук
К. Ф. ОГОРОДНИКОВ
Доктор физико-математических наук
Г. Н. ПЕТРОВА
Доктор географических наук
М. А. ПЕТРОСЯНЦ
Доктор геолого-минералогических наук
Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ
Доктор физико-математических наук
В. В. РАДЗИЕВСКИЙ
Доктор физико-математических наук
Ю. А. РЯБОВ
Доктор физико-математических наук
Г. М. ТОВМАСЯН
Доктор технических наук
К. П. ФЕОКТИСТОВ

Адрес редакции: 103717, ГСП, Москва К-62, Подсосенский пер., д. 21, комн. 2

Телефоны: 227-07-45; 227-02-45

Художественный редактор Л. Я. Шимкина

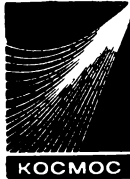
Номер оформили: А. Г. Калашникова, В. И. Кноп, Н. В. Новикова, Л. С. Новиков, М. С. Баландин, Р. И. Ходэс

Корректоры: В. А. Володина, Т. Н. Морозова

Сдано в набор 27/III 1979 г. Подписано к печати 28/V 1979 г. Т-08640. Формат бум. 84×108^{1/16}. Высокая печать. Усл. печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 10,6. Бум. л. 2,5. Тираж 53 000 экз. Цена 50 коп. Заказ 1679

Адрес издательства: 117864 ГСП-7, Москва В-485, Профсоюзная ул., 90.

2-я типография изд-ва «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



(Продолжение. Начало на 2-й стр.)

12 апреля 1979 года в 19 часов 35 минут московского времени спускаемый аппарат космического корабля «Союз-33» совершил посадку в заданном районе территории Советского Союза — в 320 км юго-восточнее города Джезказгана.

За осуществление орбитального полета на космическом корабле «Союз-33» и проявленные при этом мужество и героизм Президиум Верховного Совета СССР присвоил звание **Героя Советского Союза с вручением ордена Ленина и медали «Золотая Звезда»** гражданину НРБ космонавту-исследователю **Иванову Георгию Ивановичу** и наградил дважды Героя Советского Союза летчика-космонавта СССР **Рукавишникову Николая Николаевича орденом Ленина**.

Государственный совет НРБ присвоил почетное звание Герой Народной Республики Болгарии летчику-космонавту СССР **Н. Н. Рукавишникову**.

Первый космонавт НРБ **Г. И. Иванов** также удостоен почетного звания Герой Народной Республики Болгарии. Ему присвоено звание «Летчик-космонавт Народной Республики Болгарии».

14—15 апреля **В. А. Ляхов** и **В. В. Рюмин** выполнили на установке «Кристалл» два технологических эксперимента. Цель их — получение в условиях невесомости антимоноида индия и монокристалла германия. В соответствии с программой исследования природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды космонавты проводили визуальные наблюдения отдельных районов земной поверхности и акватории Мирового океана. На борту орбитального комплекса продолжались биологические эксперименты. С помощью прибора «Биограви-стат» экипаж провел цикл исследований по изучению развития высших растений в условиях искусственной гравитации.

16 апреля **В. А. Ляхов** и **В. В. Рюмин** проверяли бортовые системы, работали с технической документацией, готовили научную аппаратуру к предстоящим исследованиям.

17 апреля экипаж орбитального комплекса продолжал визуальные наблюдения и фотографировал отдельные районы земной поверхности и Мирового океана.

18 апреля космонавты контролировали работу аппа-

ратуры с биологическими объектами, регистрировали развитие растений в условиях космического полета, занимались физическими упражнениями.

20 апреля — день медицинских обследований. Исследовалась биоэлектрическая активность сердца, реакция кровообращения обоих членов экипажа во время выполнения ими физических упражнений с дозированной нагрузкой на велоэргометре. В программу дня был включен также биологический эксперимент по изучению динамики изменения газового состава в условиях замкнутого объема. На технологической установке «Кристалл» выполнен еще один эксперимент по космическому материаловедению: в условиях невесомости получен полупроводниковый материал — монокристалл германия.

22 апреля на установке «Кристалл» был выполнен очередной технологический эксперимент по космическому материаловедению.

23 апреля экипаж комплекса проводил визуальные наблюдения и фотографировал отдельные районы земной поверхности и акватории Мирового океана. На борту комплекса с помощью малогабаритного гамма-телескопа «Елена» измерялись потоки гамма-излучения и заряженных частиц в околоземном космическом пространстве.

24 апреля на установке «Сплав» космонавты провели очередной советско-французский эксперимент с целью получения в условиях микрогравитации монокристалла окиси ванадия.

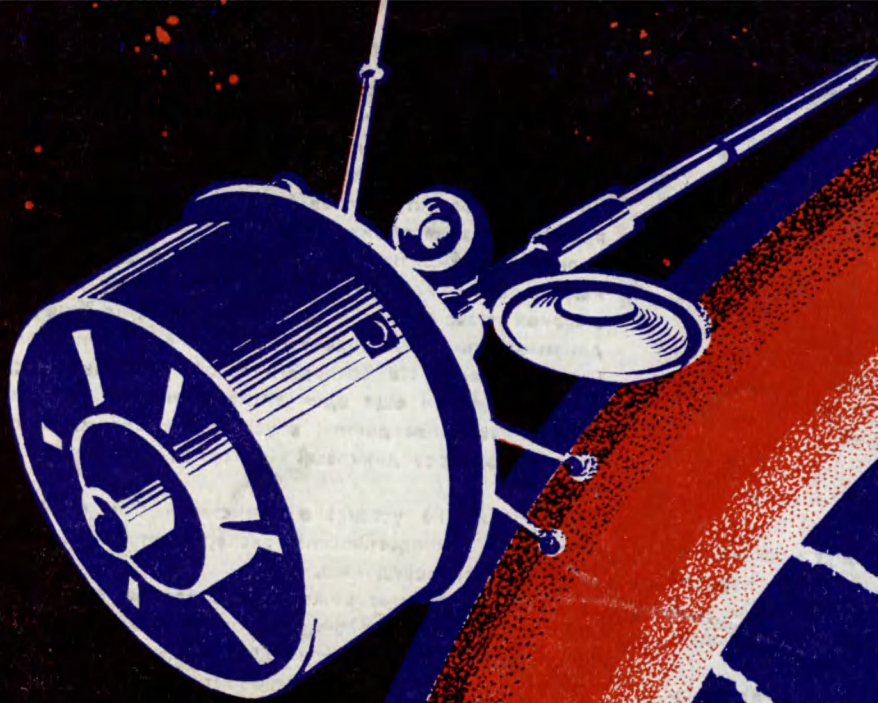
25 апреля **В. А. Ляхов** и **В. В. Рюмин** продолжали визуальные наблюдения и фотографирование земной поверхности, акватории Мирового океана и метеорологических явлений в атмосфере Земли. Они наблюдали также за развитием растений на борту комплекса, поддерживали необходимые условия в термостатах с биологическими объектами, занимались физическими упражнениями.

27 апреля **В. А. Ляхов** и **В. В. Рюмин** проводили последний из серии совместных советско-французских экспериментов по космическому материаловедению. В тот же день космонавты исследовали реакцию сердечно-сосудистой системы на имитацию действия гидростатического давления.

30 апреля экипаж орбитального комплекса проводил визуальные наблюдения и фотографирование отдельных районов земной поверхности и акватории Мирового океана. В частности, съемка велась во время полета станции над Забайкальем, Каспийским морем, Казахстаном, Кавказом и дельтой Волги. Продолжались эксперименты по измерению потоков гамма-излучения и заряженных частиц в околоземном космическом пространстве с помощью гамма-телескопа «Елена». Космонавты выполнили очередной цикл исследований по изучению развития растений в условиях искусственной гравитации на приборе «Биограви-стат».

(Продолжение следует)

По материалам сообщений ТАСС



ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“

ЦЕНА 50 КОП
ИНДЕКС 70336