

**5** 1974 **И** **ЗЕМЛЯ**  
**ВСЕЛЕННАЯ**

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·  
· ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·

## Полет космического корабля «Союз-15»

26 августа 1974 года в 22 часа 58 минут по московскому времени в Советском Союзе произведен запуск космического корабля «Союз-15», пилотируемого экипажем в составе командира подполковника Сарафанова Геннадия Васильевича и бортинженера полковника-инженера Демина Льва Степановича.

Цель запуска корабля «Союз-15» — продолжение научных исследований и экспериментов в космическом пространстве, начатых 3 июля этого года в полете транспортного корабля «Союз-14» и станции «Салют-3».

После коррекции траектории, проведенной утром 27 августа, параметры орбиты корабля «Союз-15» были: расстояние от поверхности Земли в апогее 275 км, в перигее — 254 км, период обращения — 89,6 минуты, наклонение орбиты — 51°,6.

**Геннадий Васильевич Сарафанов** родился в 1942 году. В рядах Советской Армии с 1959 года. После окончания военного авиационного училища служил летчиком, освоил несколько типов самолетов. С 1963 года — член КПСС. В отряде космонавтов с 1965 года; прошел полный курс подготовки к космическим полетам на различных пилотируемых аппаратах.

**Лев Степанович Демин** родился в 1926 году. Трудовую деятельность начал в 1942 году токарем на заводе буровых машин. В рядах Советской Армии с 1945 года. Окончил военное авиационное училище связи, а затем Военно-воздушную инженерную академию имени Н. Е. Жуковского. Работал старшим научным сотрудником в одной из научно-исследовательских организаций ВВС. С 1956 года — член КПСС. В 1963 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. В отряде космонавтов с 1963 года; прошел полный курс подготовки к космическим полетам.

В ходе полета космического корабля «Союз-15» товарищи Г. В. Сарафанов и Л. С. Демин выполняли эксперименты по отработке техники пилотирования кораблем в различных режимах полета. В процессе маневрирования «Союз-15» неоднократно сближался со станцией «Салют-3». Космонавты контролировали работу всех систем корабля и наблюдали за этапами сближения.

Перед спуском с орбиты была осуществлена ориентация корабля и в расчетное время включена тормозная двигательная установка. По окончании работы двигателя произошло разделение отсеков корабля, и спускаемый аппарат перешел на траекторию снижения.

После торможения в атмосфере была введена в действие парашютная система, непосредственно у Земли сработали двигатели мягкой посадки и спускаемый аппарат плавно приземлился 28 августа в 23 часа 10 минут по московскому времени в расчетном районе (в 48 км юго-западнее г. Целинограда).

Поисково-спасательный комплекс в сложной метеорологической обстановке обеспечил быстрое обнаружение спускаемого аппарата, совершавшего посадку в ночных условиях, и эвакуацию космонавтов.

Проведенное на месте приземления медицинское обследование показало, что состояние здоровья товарищей Сарафанова и Демина хорошее.

Данные, полученные в ходе полета, обрабатываются и изучаются.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 2 сентября 1974 года за успешное осуществление орбитального полета на космическом корабле «Союз-15» и проявленные при этом мужество и героизм товарищам Г. В. Сарафанову и Л. С. Демину присвоено звание Героя Советского Союза с вручением ордена Ленина и медали «Золотая Звезда» и звание летчика-космонавта СССР.

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

# 5 СЕНТЯБРЬ ОКТАБРЬ 1974

# ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

## В номере:

А. И. Лазарев, Е. В. Хрунов — Зеркальное отражение от атмосферы . . . . .	4	
Л. В. Ксанфомалити — «Марс-5»: поверхность и атмосфера красной планеты . . . . .	7	
В. А. Бронштэн — Полет двух «десяток» . . . . .	12	
О. И. Савун — Орбитальный полет и радиация . . . . .	16	
А. М. Городницкий, О. Г. Сорохтин, С. А. Ушаков — Дрейф континентов и современные представления об эволюции Земли . . . . .	20	
А. Ф. Грачев — Рифтовые зоны . . . . .	28	
А. А. Никонов — Вулканы и современные движения земной коры . . . . .	35	
М. А. Колосов, О. И. Яковлев — Радиоволны исследуют Солнечную систему . . . . .	42	
С. Б. Новиков — Оптические телескопы — проблемы настоящего и перспективы будущего . . . . .	47	
<b>ЛЮДИ НАУКИ</b>		
Б. Ю. Левин — Джерард Койпер . . . . .	56	
<b>ЭКСПЕДИЦИИ</b>		
В. И. Войтов — «Дмитрий Менделеев» в Индийском океане . . . . .	59	
<b>ГИПОТЕЗЫ, ДИСКУССИИ, ПРЕДЛОЖЕНИЯ</b>		
И. А. Климишин — Стоунхендж — вычислительная машина каменного века . . . . .	63	
<b>ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ</b>		
С. С. Войнов — Лето юных астрономов . . . . .	67	
И. Т. Зоткин — Страничка наблюдателей метеоров . . . . .	70	
<b>ПО ВЫСТАВКАМ И МУЗЕЯМ</b>		
В. В. Балан — Юбилейная экспозиция . . . . .	72	
<b>КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ</b>		
А. Я. Салтыковский — Хронология извержений . . . . .	75	
Ю. А. Иванов — «Большая волна» . . . . .	76	
<b>ОТВЕТЫ НА ВОПРОСЫ ЧИТАТЕЛЕЙ . . . . .</b>		<b>77</b>
<b>НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ</b>		
Полет «Союза-14»: день за днем [2]; Геодезические работы на Памире в 1909—1912 годах [34]; «Год айсбергов» в Атлантике [41]; Вспышки рентгеновских Новых [54]; Солнечные протоны и жизнь [55]; Радиолинии ОН в спектре кометы Когоутека [55]; Уникальный телескоп [74]; Светимости рентгеновских источников и массы сверхплотных звезд [74]; Новое о составе межзвездной среды [74].		



## Полет «Союза-14»: день за днем

Космический корабль «Союз-14» был выведен на орбиту 3 июля 1974 года. Корабль пилотировал экипаж в составе командира корабля Героя Советского Союза, летчика-космонавта СССР полковника Поповича Павла Романовича и бортинженера подполковника-инженера Артюхина Юрия Петровича.

Павел Романович — один из пионеров освоения космоса; он в 1962 году совершил полет на космическом корабле «Восток-4». Юрий Петрович на «Союзе-14» отправился в космос впервые. Оба космонавта — коммунисты, оба окончили Военно-воздушную инженерную академию имени Н. Е. Жуковского, оба — 1930 года рождения. П. Р. Попович в отряде космонавтов с 1960 года, а Ю. П. Артюхин — с 1963 года.

Космонавты хорошо перенесли выведение на орбиту и переход к состоянию невесомости. Им предстояло выполнить совместные эксперименты с орбитальной научной станцией «Салют-3», которая была выведена на орбиту 25 июня 1974 года и осуществить комплексную проверку усовершенствованных бортовых систем корабля «Союз» в различных режимах полета. Кратко напомним о том, как день за днем работал в космосе экипаж «Союза-14».

5 июля. В этот день была осуществлена стыковка корабля «Союз-14» со станцией «Салют-3». Космонавты перешли в помещение станции. В околоземном космическом пространстве начала функционировать научная пилотируемая станция «Салют-3», параметры траектории движения станции были: высота в апогее 276 км, в перигее — 265 км, период обращения

89,7 мин., наклонение орбиты  $51^{\circ},6$ . После выполнения первых операций по расконсервации станции космонавты отдыхали.

6 июля. Экипаж продолжал расконсервацию станции и проверку бортовых систем и научной аппаратуры. По программе медико-биологических экспериментов проводилось полное электрокардиографическое обследование космонавтов.

7 июля. Продолжая медицинские эксперименты, космонавты изучали воздействие невесомости на реакции сосудистой системы головного мозга. Начались тренировки на тренажере, позволяющем выполнять разнообразные физические упражнения. Тренировки проходили в специальных костюмах, обеспечивающих фиксацию космонавтов и поддерживающих необходимую структуру их движений при выполнении упражнений. Используя многофункциональный аппарат «Полином-2М», космонавты провели медико-биологические эксперименты по изучению гемодинамики в условиях невесомости. Это позволило получить данные о состоянии кровообращения, скорости распространения пульсовой волны по артериям, а также об ударном и минутном объемах сердца. Эксперименты свидетельствовали о том, что у обоих космонавтов функции кровообращения не претерпели существенных изменений по сравнению с предполетным периодом.

8 июля. Наблюдалась поляризация солнечного света, отраженного поверхностью и атмосферой Земли. Данные измерений будут использоваться для совершенствования методик исследования природных ресурсов и

для создания приборов автономной навигации космических аппаратов.

9 июля. Проводились технические эксперименты по обработке и испытанию усовершенствованных бортовых систем и аппаратуры станции. Один из них — работа с оптическим прибором наружного кругового обзора. С помощью этого прибора можно наблюдать за состоянием элементов конструкции станции. Кроме того космонавты занимались отработкой средств и методов радиосвязи с Землей, а также исследовали параметры атмосферы в отсеках станции. (Во все дни строгий распорядок предусматривал чередование работы с отдыхом и физическими упражнениями). Космонавты занимались исследованиями земной поверхности и атмосферы. Они наблюдали ночной, сумеречный и дневной горизонт, исследовали структурные особенности излучения верхней атмосферы нашей планеты.

10 июля. Используя медицинскую аппаратуру, космонавты занимались исследованием легочной вентиляции и брали пробы выдыхаемого воздуха (для последующего лабораторного анализа на Земле). Подобные исследования необходимы для определения уровня энергозатрат космонавтов в покое и при работе в условиях невесомости.

11 июля. Космонавты проводили спектрографирование дневного горизонта Земли и сумеречного ореола на заходе и восходе Солнца (при различных углах погружения Солнца за горизонт). Данные таких наблюдений будут положены в основу построения вертикальных профилей яркости атмосферы. Работы по космической ат-

мосферной оптике имеют важное научное и народнохозяйственное значение, позволяя исследовать глобальное распределение газовых и аэрозольных компонентов атмосферы. Продолжались и технические эксперименты: экипаж проверял функционирование блока регенерации воды из конденсата атмосферной влаги и работу усовершенствованной системы терморегулирования станции.

12 июля. Экипаж провел очередной цикл исследований земной атмосферы и околоземного космического пространства. Фотографируя сумеречный и дневной горизонты Земли и горизонт Луны, космонавты получили данные, которые будут использоваться для изучения верхних слоев земной атмосферы и для дальнейшей отработки средств и методов автономной навигации космических аппаратов. Кроме того, космонавты выполнили ряд медико-биологических экспериментов: определялась степень адаптации вестибулярного аппарата к состоянию невесомости, исследовалась сердечно-сосудистая система, проводились эксперименты с микробиологическим культиватором (с целью изучения развития бактерий в состоянии невесомости космонавты ежедневно высевали культуры бактерий на питательную среду и следили за функционированием биологического блока).

13 июля. Проведя несколько экспериментов по отработке систем ручного управления и выполнив исследования поляризации света в земной атмосфере, космонавты занимались уборкой помещений, физическими упражнениями, а затем отдыхали, играя в шахматы и слушая музыку.

14 июля. Космонавты проводили съемку характерных геологоморфологических образований (обширных

равнинных и горных районов республик советской Средней Азии и Памира). Получены данные для решения важных народнохозяйственных задач, связанных с перспективами поиска полезных ископаемых, исследованием почвенных ресурсов, изучением движения ледников. Космонавты проверили новый прибор солнечно-планетной ориентации.

15 июля. В этот день продолжались наблюдения и фотографирование характерных геологоморфологических образований (районы Кавказа и плато Устюрт). Продолжены исследования по атмосферной оптике и медико-биологические эксперименты с аппаратурой «Полином-2М».

16 июля. Выполнялось спектрографирование отдельных типов природных образований на поверхности Земли (получен материал для каталога спектров). Используя оптический визир, космонавты следили за состоянием и развитием облачности, а также фотографировали облачные образования. Экипаж выполнил ряд наблюдений небесных светил, что необходимо для совершенствования средств и методов автономной навигации.

17 июля. Космонавты фотографировали отдельные районы земной поверхности в различных участках спектра. Они использовали горячую и холодную регенерированную воду для приготовления пищи из сублимированных продуктов. С борта «Салюта-3» и метеорологического спутника «Метеор» одновременно фотографировалась поверхность Земли и атмосферы над акваторией Атлантического океана, где проводились комплексные исследования глобальных процессов по международной программе «Тропэкс-74».

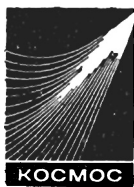
18 июля. Начались операции, предшествующие посадке на Землю спус-

каемого аппарата транспортного корабля «Союз-14». Космонавты проверили стыковочный узел, системы управления и другие системы корабля, начали переносить из станции в корабль документацию и материалы с результатами проведенной работы. Во время одного из репортажей миллионы телезрителей были свидетелями демонстрационного эксперимента: космонавты показали, как под действием вибраций маятника поворачиваются в направлении вибраций. Это явление приводит к тому, что в условиях невесомости нарушается работа точных и тонких приборов, содержащих маятниковые системы. Продолжались и медико-биологические исследования.

19 июля. В 15 часов 21 минуту по московскому времени после успешного выполнения пятнадцатисуточной программы, космонавты П. Р. Попович и Ю. П. Артюхин возвратились на Землю. Приземление спускаемого аппарата произошло в заданном районе территории Советского Союза, в 140 км юго-западнее г. Джезказгана.

В течение всего полета связь с космическим кораблем «Союз-14» и станцией «Салют-3» надежно обеспечивалась средствами наземного командно-измерительного комплекса, включающего измерительные пункты, расположенные на территории Советского Союза, и находящиеся в акватории Атлантического океана научно-исследовательские суда АН СССР «Космонавт Юрий Гагарин», «Космонавт Владимир Комаров», «Кегостров» и «Моржовец». Станция «Салют-3» продолжает полет в автоматическом режиме.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 20 июля 1974 года за успешное осуществление полета на орбитальной научной станции «Салют-3» и транспортном корабле «Союз-14» и проявленные при этом мужество и героизм П. Р. Попович награжден орденом Ленина и второй медалью «Золотая Звезда», а Ю. П. Артюхину присвоено звание Героя Советского Союза с вручением ордена Ленина и медали «Золотая Звезда» и звание «Летчик-космонавт СССР».



Доктор технических наук  
А. И. ЛАЗАРЕВ

Кандидат технических наук  
летчик-космонавт СССР  
Е. В. ХРУНОВ

## Зеркальное отражение от атмосферы

### НАБЛЮДЕНИЯ ИЗ КОСМОСА

Существуют различные типы зеркального отражения: отражение от металлических полированных поверхностей, полное внутреннее отражение и частичное отражение от поверхности раздела двух сред, которое обычно называют френелевским. Со школьной скамьи все помнят закон зеркального отражения: «Угол падения равен углу отражения». Но иногда забывают, что луч падающий, луч отраженный и нормаль в точке падения лежат в одной плоскости и что зеркальное отражение можно наблюдать только в ней. Этот закон — один из основополагающих в зеркальной оптике. Он оказался применимым и к земной атмосфере при наблюдениях из космоса. Предположение о способности атмосферы Земли зеркально отражать солнечное излучение при небольших углах скольжения (угол скольжения — дополнительный к углу отражения) впервые был сделан при анализе результатов визуальных наблюдений, проведенных летчиком-космонавтом СССР А. А. Леоновым с пилотируемого космического корабля «Восход-2» в марте 1965 года. Возвратившись из полета, Алексей Леонов написал картину «На орбите — большая космическая станция», где изображен восход Солнца при наблюдении с высоты около 500 км. Когда над горизонтом взошла часть диска Солнца, эта же часть диска появилась в виде зеркального отражения от атмосферы Земли. Этот эффект наблюдался над территорией Австралии, когда корабль «Восход-2» пролетал Индийский океан на высоте 495 км 19 марта 1965 года в 2 часа

**Советские космонавты обнаружили неизвестное ранее оптическое свойство земной атмосферы зеркально отражать солнечные лучи.**

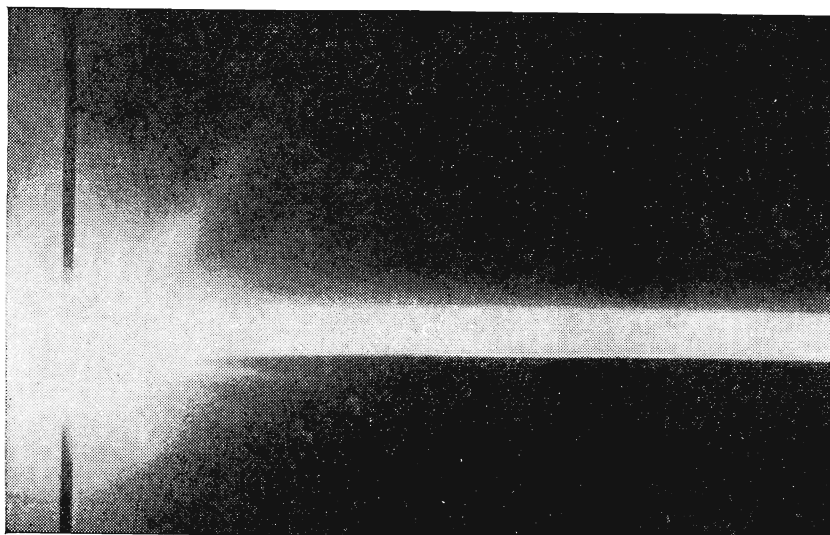
21 минуту по московскому времени, на двенадцатом витке вокруг Земли. Кроме того А. Леонов наблюдал на сумеречном и ночном горизонте Земли еще ряд оптических эффектов: солнечную корону, голубой пояс Земли, слоистый сумеречный ореол. На основе своих наблюдений А. Леонов написал картины «Утро в космосе», «Голубой пояс Земли» и др.

Юрий Алексеевич Гагарин в предисловии к первому альбому картин А. А. Леонова и А. А. Соколова «Ждите нас, Звезды!» (М., «Молодая гвардия», 1967 г.), написанных после полета пилотируемого корабля «Восход-2», отмечал: «В рисунках, опубликованных в альбоме, через призму художественного восприятия, рассказывается о том, что уже известно науке, о том, чего ученые еще сегодня не знают. В научных исследованиях часто бывают «неожиданные» результаты и «неожиданные» гипотезы. Так поступают иногда и авторы рисунков». Это предвидение Ю. А. Гагарина прекрасно подтверждается анализом оптических явлений, запечатленных в картинах А. А. Леонова.

Способность земной атмосферы зеркально отражать подтверждается photographиями Солнца, солнечной короны и околосолнечного ореола, которые были получены с пилотируемых космических кораблей «Союз-5», «Аполлон-12», «Союз-13» и орбиталь-

ной станции «Салют» под небольшими углами возвышения или погружения Солнца относительно видимого горизонта Земли. В январе 1969 года с борта «Союза-5» одновременно зарегистрированы и прямое изображение части диска Солнца с околосолнечным ореолом и зеркальное их отражение от земной атмосферы. На кадрах, снятых перед восходом Солнца, до появления околосолнечного ореола, зарегистрирован светящийся сумеречный слой с угловым размером около  $1,5^\circ$ . На кадрах, сделанных после выхода диска Солнца из-за горизонта, кроме сумеречного слоя запечатлены одновременно прямое и зеркально отраженное от атмосферы Земли изображения части диска Солнца и околосолнечного ореола.

В ноябре 1969 года с космического корабля «Аполлон-12», на трассе Луна — Земля сделаны цветные фотографии сумеречного ореола Земли и части солнечной короны, когда Солнце находилось за краем диска Земли под небольшим углом погружения. Эта же часть солнечной короны зарегистрирована ниже горизонта Земли в виде зеркального отражения от атмосферы Земли под небольшим углом скольжения. Цветные фотографии сумеречного ореола Земли и околосолнечного ореола, подтверждающие способность земной атмосферы зеркально отражать под небольшими углами скольжения, доставлены также с пилотируемой орбитальной станции «Салют» в июне 1971 года. Визуальные наблюдения и фотографирование френелевского отражения Солнца от атмосферы Земли были выполнены П. И. Климунком с



космического корабля «Союз-13» в декабре 1973 года. В течение нескольких секунд после восхода Солнца над видимым горизонтом были сфотографированы край солнечного диска и его зеркальное отражение.

С орбитальной станции «Скайлэб» в декабре 1973 года, по-видимому, с помощью коронографа удалось зафиксировать зеркальное отражение Солнца от газо-пылевого хвоста кометы Когоутека. Это уникальное явление, возможно, имеет ту же природу, что и ранее зарегистрированное с космических кораблей «Восход-2», «Союз-5», «Аполлон-12», «Салют» и «Союз-13» френелевское отражение Солнца, солнечной короны и около-солнечного ореола от земной атмосферы. Тщательный анализ всех условий регистрации зеркального отражения Солнца от кометы Когоутека позволит сделать более определенные выводы. Сейчас же можно высказать предварительные соображе-

*Снимок сумеречного горизонта Земли, полученный с борта «Союза-5» на шестом витке 15 января 1969 года в 18 часов 23 минуты. Выше горизонта Земли кроме сумеречного ореола — прямое изображение части солнечного диска и верхняя часть околосолнечного ореола. Ниже горизонта Земли зарегистрированы те же части солнечного диска и околосолнечного ореола, зеркально отраженные от атмосферы под небольшим углом скольжения.*

ния. 28 декабря 1973 года комета Когоутека находилась в перигелии, на расстоянии от Солнца около 0,15 а. е. и угловом расстоянии около 1,°3. Если регистрация с орбитальной станции «Скайлэб» проводилась во время про-

Угол скольжения (мин):	6	12	18	24	30	36	42	48	54	60
Коэффициент зеркального отражения (%):	0,75	0,56	0,42	0,32	0,24	0,19	0,14	0,11	0,09	0,07

Естественно, эти оценки дают только приближенное представление о значении коэффициентов френелевского отражения от реальной атмосферы Земли. В частности, значения показателя преломления взяты для чистой атмосферы без учета влияния примесей, а сама атмосфера рассматривалась в виде однородных слоев. И все-таки из полученных данных видно, что при углах скольжения менее 15' коэффициент зеркального отражения, по-видимому, превышает 0,5%, то есть яркость зеркально отраженного изображения Солнца может достигать почти половины его реальной яркости. Если учесть, что яркость рассеянного атмосферой солнечного излучения не превышает 0,01% яркости Солнца, то ясно, что при небольших углах скольжения можно всегда наблюдать зеркальное отражение Солнца от земной атмосферы. Отсюда можно сделать вывод, что при наблюдении Солнца вблизи горизонта с целью исследо-

хождения кометой перигелия, то угол скольжения составлял около 40'. По яркости зеркального изображения Солнца можно оценить коэффициент отражения для соответствующего угла скольжения, а также оценить показатель преломления и плотность газо-пылевого хвоста кометы Когоутека.

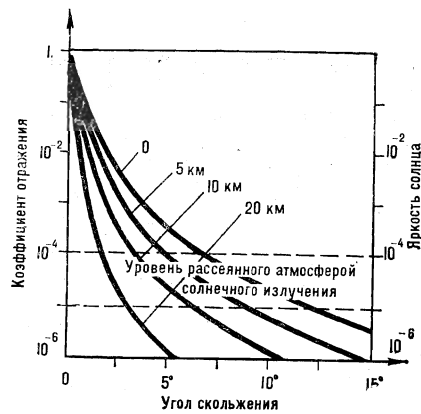
Для числовой характеристики оптических наблюдений были подсчитаны коэффициенты зеркального отражения всей атмосферы Земли:

влияния прозрачности атмосферы уменьшение яркости солнечного диска происходит не только из-за ослабления, но также и в результате зеркального отражения от атмосферы.

Зеркальное отражение солнечного излучения происходит как при входе в плотные слои атмосферы, так и при выходе за ее пределы. Зеркальное отражение при выходе за пределы плотных слоев наблюдалось с «Союза-5» перед восходом Солнца в виде узкой полосы в направлении солнечного вертикала. Над краем горизонта, в надсолнечной области, появляется розовая полоса с красноватой вертикальной «черточкой», быстро превращающейся в светящийся овал, который в дальнейшем виден как часть диска Солнца, постепенно поднимающегося над горизонтом.

#### НАБЛЮДЕНИЯ НА ЗЕМЛЕ

Зеркальным отражением солнечного излучения от плотных слоев ат-



мосферы, по-видимому, удастся объяснить таинственные огни Мпары. Это явление наблюдают вечерами недалеко от танзанийской деревни Кильва-Масохо, расположенной на побережье Индийского океана. На юго-запад от деревни, на расстоянии 12 км, тянется горная цепь Мпара. Вечером на склонах гор появляется свет, напоминающий отблеск пламени. Пытаясь узнать происхождение этого «пламени», в горы много раз поднимались отважные альпинисты, однако они не увидели там ни огня, ни его источника.

Феномен был отмечен еще в старой арабской хронике. В 1934 году загадочным сиянием заинтересовались ученые. Они высказали различные гипотезы, например, что световой эффект вызывается электрическими разрядами, что загадочное свечение сопутствует распаду радиоактивных материалов и т. п. Однако ни одна из подобных гипотез не подтвердилась.

Достаточно частое появление огней Мпары, по-видимому, объясняется весьма благоприятными условиями во время наблюдений отраженного солнечного излучения на фоне сумеречного неба. Дело в том, что горная цепь Мпара значительно уменьшает яркость сумеречного неба, экранируя часть рассеивающего слоя атмосферы. И то, и другое приводит к заметному уменьшению яркости сумеречного неба, то есть повышает контраст отраженного солнечного излучения. Интересно, что огни Мпары наблюдаются только в определенном направлении и на большом расстоянии от горной цепи. Исчезновение огней Мпары с приближением к кающему-

ся источнику свидетельствует о строгой направленности идущего от них излучения и является дополнительным подтверждением того, что огни возникают вследствие зеркального отражения Солнца при выходе из более плотных слоев атмосферы, которая имеет достаточно узкий световой пучок.

Зеркальным отражением солнечного излучения при выходе за пределы плотных слоев атмосферы можно объяснить и зеленый луч. В настоящее время существуют два объяснения этого оптического эффекта. Одно связывает зеленый луч с рассеянием и избирательным ослаблением в атмосфере солнечных лучей в момент, когда над горизонтом находится верхний край солнечного диска, другое сводится к тому, что атомы атмосферного кислорода под воздействием солнечных лучей могут излучать в зеленой линии, которая и создает зеленый луч. Третье объяснение природы зеленого луча может быть теперь предложено в связи с зеркальным отражением солнечного излучения при выходе за пределы плотных слоев атмосферы. Зеленый цвет видимых наблюдателю отраженных лучей, по-видимому, можно объ-

яснить увеличением коэффициента зеркального отражения атмосферы в зеленой линии (или полосе) поглощения атмосферы вследствие аномалии показателя преломления.

Здесь уместно вспомнить и о других оптических явлениях. Очень часто в штилевую погоду, когда воздух прозрачен, острова в море, наблюдаемые с расстояния 15—20 км, кажутся повисшими в воздухе. Это явление один из авторов часто наблюдал летом в утренние часы с северного берега Финского залива. Кронштадт, остров Котлин и, особенно, форт у Сестрорецка кажутся парящими над заливом. Можно предположить, что этот эффект вызван заметным френелевским отражением прибрежной полосы моря. Зеркально отраженное излучение поверхности моря, по-видимому, всегда можно наблюдать в штилевую погоду, если атмосфера очень прозрачна, а углы возвышения малы. Однако на светлом фоне дневного неба у горизонта зеркальное отражение не имеет достаточного для наблюдения контраста, но хорошо заметно на темном фоне острова. Так создается зрительный эффект парения.

#### «ПЛАНЕТНЫЕ ЗЕРКАЛА»

Зеркальное отражение от атмосферы Земли можно наблюдать из космоса либо при безоблачной атмосфере, либо при низкой облачности, так как оно формируется главным образом в плотных слоях. Толщина эффективно отражающего слоя атмосферы, создающего заметное зеркальное отражение, составляет около 10—15 км. В связи с этим при наблю-

*Зависимость коэффициента зеркального отражения атмосферы Земли от угла скольжения на разных высотах во время наблюдений из космоса. Возможность наблюдения зеркального отражения Солнца определяется уровнем яркости рассеянного атмосферой солнечного излучения*



## «Марс-5»: поверхность и атмосфера красной планеты

дении зеркального отражения от атмосферы из космоса существенную роль играет высота полета космического корабля, так как от высоты будет зависеть угловой размер отражающего слоя: с высоты 100 км — около  $1^\circ$ , с высоты 500 км — около  $20'$ , с высоты 1000 км — менее  $15'$ . Поэтому зеркально отраженное земной атмосферой Солнце (или другие источники излучения) при наблюдении с небольшой высоты будет менее четким, чем при наблюдении с больших высот. Этот вывод подтверждается качеством изображений зеркально отраженного Солнца, около-солнечного ореола и солнечной короны, которые были зарегистрированы с пилотируемых космических кораблей «Союз-5», «Аполлон-12» и «Салют».

Способностью зеркально отражать солнечное излучение, по-видимому, обладают и другие планеты и кометы. Зеркальные свойства планет и комет могут быть использованы для исследования их атмосфер. Особенно интересные результаты можно ожидать от исследований зеркального отражения в области атмосферных линий и полос поглощения, где наблюдаются аномалии в показателе преломления атмосферы.

Визуальные наблюдения с космических кораблей позволили обнаружить ряд неизвестных оптических эффектов в земной атмосфере и ближнем космосе. Благодаря этому удалось дать новое объяснение и некоторым давно знакомым, но необычным атмосферно-оптическим эффектам. Нет сомнений, что последующие полеты в космос принесут много интересного для космической оптики.

**В феврале — марте 1974 года космические аппараты «Марс-4, -5, -6 и -7», запущенные в августе 1973 года, приблизились к красной планете. Наряду с большим объемом научных измерений «Марс-4 и -5» передавали с расстояния более 200 млн. км фотографии поверхности планеты.**

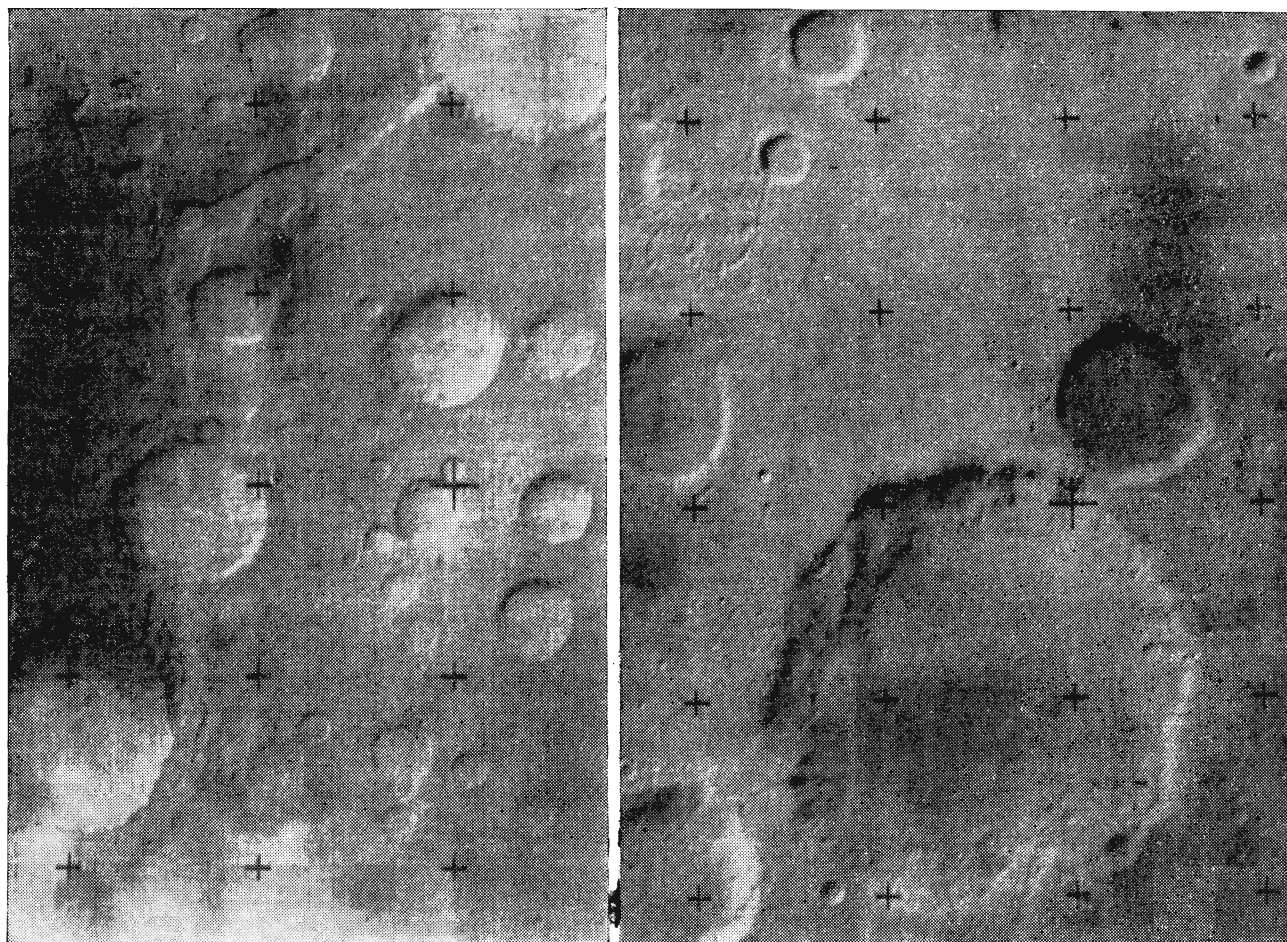
Задачи вывода искусственного спутника Марса и доставки спускаемого аппарата на его поверхность на этот раз были разделены: «Марс-4 и -5» должны были стать его спутниками, а «Марс-6 и -7» имели на борту спускаемые аппараты. 12 февраля 1974 года «Марс-5» вышел на орбиту искусственного спутника Марса и вскоре начал научные измерения. Через месяц цели достиг и «Марс-6», спускаемый аппарат которого совершил посадку на поверхность планеты. Результаты научных измерений передавались со спускаемого аппарата на станцию «Марс-6» и далее ретранслировались на Землю. Как сообщалось, в непосредственной близости от поверхности планеты радиосвязь со спускаемым аппаратом прервалась.

Аппарат «Марс-4» из-за неполадок в одной из бортовых систем не вышел на орбиту искусственного спутника Марса. Он пролетел на расстоянии 2200 км от его поверхности и выполнил фототелевизионную съемку. Спускаемый аппарат «Марса-7» также прошел на расстоянии 1300 км от поверхности планеты.

Большое количество научной информации, полученной от «Марса-5», существенно расширяет наши знания

о красной планете. Аппарат «Марс-5» — это орбитальная астрофизическая обсерватория. Результаты работы астрофизических комплексов «Марс-2 и -3» и «Маринера-9» в 1971—1972 годах высоко оценены учеными. («Земля и Вселенная», № 5, 1973 г., стр. 2—17.—Ред.) «Марс-5» по сравнению со своими предшественниками несет значительно большую научную нагрузку. Эксперименты, проводившиеся с борта «Марса-3», существенно развиты и дополнены новыми, в том числе и поставленными впервые. Что же касается приборов, которые продолжают исследования, начатые в 1971—1972 годах, то они претерпели значительные изменения, расширявшие их возможности, точность или чувствительность. Общее количество экспериментов на борту «Марса-5» превышает два десятка. Мы расскажем о некоторых из них.

Задачи, решенные «Марсами-2 и -3» и «Маринером-9», поставили на очередь новые проблемы. Куда делась вода, оставившая столь мощные следы на поверхности Марса? Сколько лет древним руслам? Почему атмосферное давление у поверхности планеты подозрительно близко к тройной точке фазового состояния воды, которой почти нет в атмосфере? Каким было атмосферное давление, когда на поверхности Марса текли реки? Почему в атмосфере не обнаружен азот? Какие механизмы действуют в верхней атмосфере, где поглощается коротковолновая часть приходящей солнечной радиации? Эти и множество других вопросов не только требовали новых экспериментов, исследователи должны были свыкнуться с новыми представлениями о Марсе,



чтобы увидеть взаимосвязь обнаруженных явлений.

«Марс-5» вышел на орбиту, очень близкую к расчетной. Период его обращения — 24 часа 53 минуты — почти

■ *Познакомьтесь с некоторыми снимками, переданными «Марсом-5». На них запечатлены районы Эритрейского моря и Босфора (южная субтропическая зона Марса). Кратеры, размеры которых не превышают 130 км, соединены широкой долиной. Слева вверху — извилистое русло древней реки*

■ *Эти два кратера видны правее центра предыдущего кадра. Большое разрешение снимка позволяет детально изучить структуру марсианских кратеров. Крупные кратеры имеют плоское дно и склоны, сильно разрушенные ветровой эрозией. У мелких кратеров — чашеобразная форма*

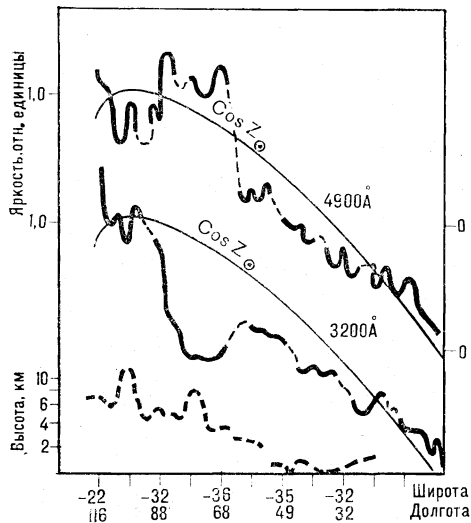
совпадал с марсианскими сутками. Благодаря этому семь трасс измерений пришлось на один и тот же район, что позволило довольно детально его изучить. Трассы начинались вблизи экватора, у  $130^\circ$  долготы (область *Methonia*), отклонялись к югу до  $-36^\circ$  в районе *Vosporus*, пересекали терминатор между долготами  $10-20^\circ$  в области *Margaritifer Sinus*, а затем в северном полушарии сходили с планеты в светлой области *Arabia*, на широте около  $10^\circ$  и долготе около  $320^\circ$ .\* Если пользоваться старыми картами, большинство пересекаемых областей — темные, хотя фотометри-

\* Перевод на русский язык латинских названий деталей марсианской поверхности содержится в статье Д. Я. Мартынова «Что есть что на Марсе» («Земля и Вселенная», № 3, 1974 г., стр. 21—27) или в третьем издании БСЭ.— Ред.

ческие измерения не всегда подтверждают это.

Во время работы «Марса-5» в южном полушарии планеты была осень. В 1974 году атмосфера Марса оказалась довольно прозрачной. Это сыграло немалую роль в фотографировании поверхности планеты. На одном из многочисленных снимков ученые увидели уже известное извилистое русло пересохшей реки, изображение которого в 1972 году передал «Маринер-9». С тех пор у него уже появилось название: Ниргал. Сейчас можно с большей определенностью судить о возрасте этого образования. Вероятно, ему много миллионов, может быть, даже миллиард лет. Иными словами, Ниргал может оказаться в 10 раз старше Индийского океана.

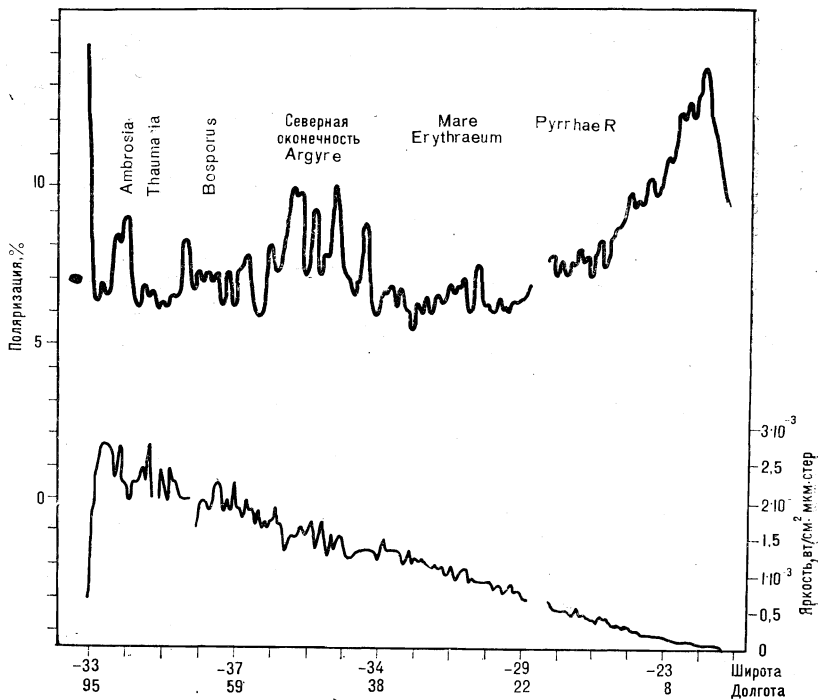
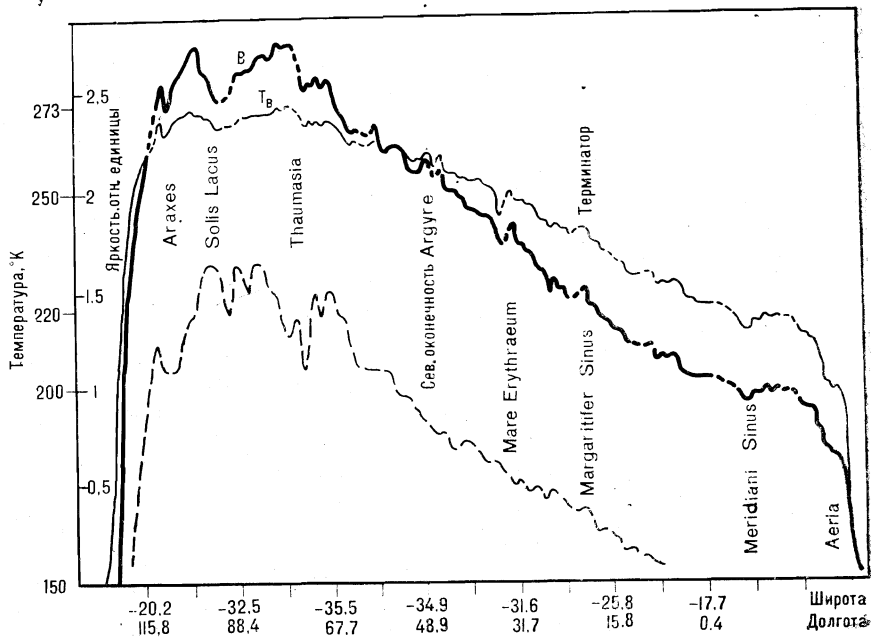
Часть снимков выполнена с очень высоким разрешением — до десятых



Рельеф (пунктирная линия), теоретические профили яркости, соответствующие закону отражения Ламберта (кривые  $Z_0$ ), и яркость марсианской поверхности, зарегистрированная фотометром «Марса-5». В районе гор на длине волны 3200 Å яркость поверхности резко уменьшается, на длине волны 4900 Å (голубой цвет) — увеличивается

Яркостные температуры поверхности ( $T_B$ ) и тепловые потоки ( $B$ ) вдоль трассы 23 февраля 1974 года. Пунктиром показана кривая яркостей на длине волны 1,78 мкм (отраженный солнечный свет)

Поляризация света и яркость поверхности на длине волны 6000 Å вдоль трассы 23 февраля 1974 года. Область повышенной поляризации соответствует северной оконечности Argyre и связана с большим размером частиц на поверхности. Из кривой яркости следует, что эта область одна из самых темных



долей километра, другие охватывают обширные участки поверхности. Получены цветные фотографии поверхности Марса. На них дно некоторых кратеров имеет сине-зеленый оттенок, резко выделяющийся на общем оранжевом фоне. Если правильность цветопередачи будет подтверждена, это может означать, что дно таких кратеров сложено из других пород, нежели окружающая поверхность. Впрочем, может быть, на Марсе все же существует растительность, которая прячется в кратерах?

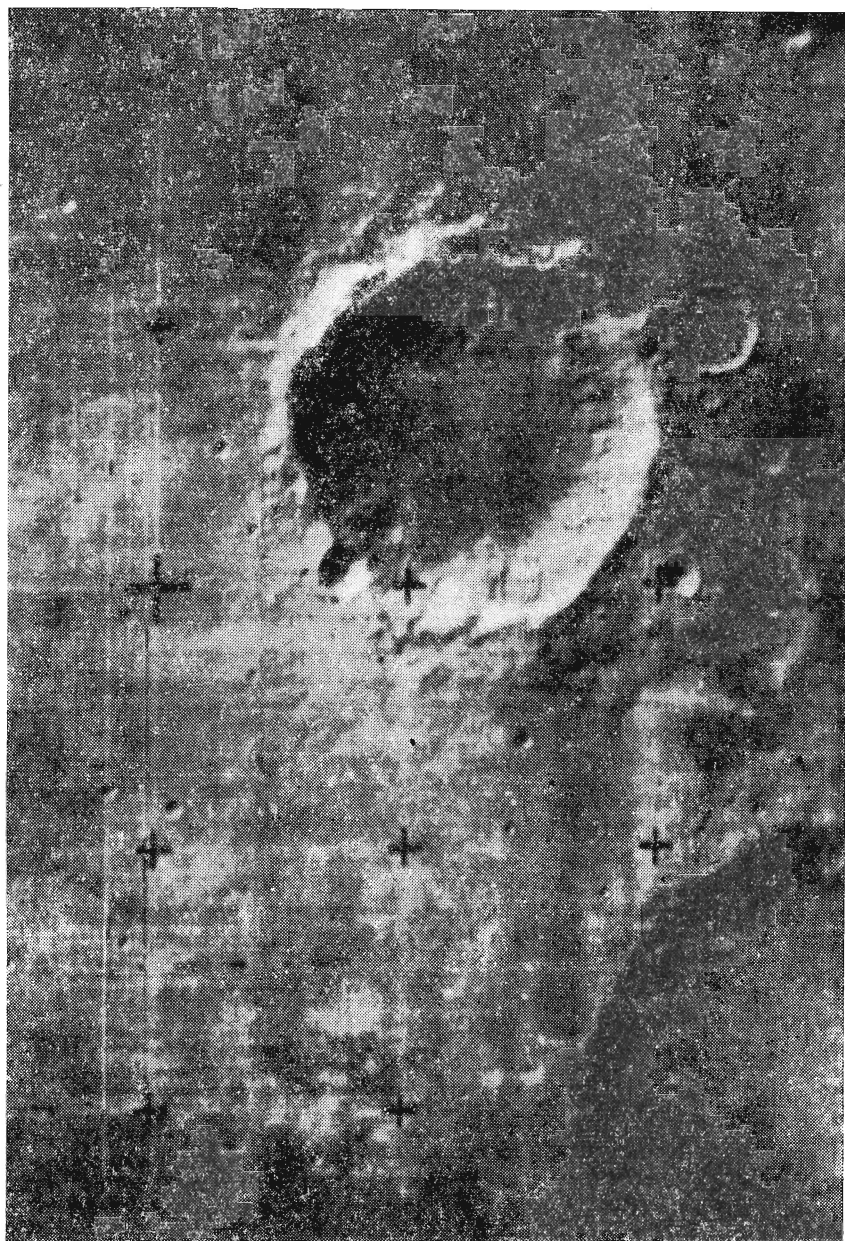
Фототелевизионные изображения красной планеты были получены не только с «Марса-5», но и с «Марса-4», который пролетел около Марса. Очень интересны панорамы поверхности, переданные «Марсом-4 и -5».

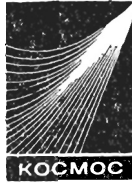
12 марта 1974 года — большой день программы «Марс-73»: спускаемый аппарат станции «Марс-6» достиг поверхности планеты. Спускаясь в атмосфере, он определял ее состав, измерял давление и температуру. Результат определения состава атмосферы оказался неожиданным. До полета «Марса-3» и «Маринера-9» содержание аргона в марсианской атмосфере не было известно. Оно осталось неизвестным и после детального анализа данных, полученных этими аппаратами. А вот масс-спектроскопический газоанализатор «Марса-6» установил: аргона в марсианской атмосфере  $35 \pm 10\%$ . Это очень много. Концентрация инертных газов в атмосфере связана не только с составом поверхности планеты, но и с ее историей и условиями формирования. Поэтому столь высокое содержание аргона сразу же потребовало объяснения. Если выделение аргона с поверхности

Марса такое же, как у Земли, первичная концентрация его в атмосфере также должна составлять единицы процентов. Было высказано предположение, что по мере замораживания углекислоты в полярных шапках атмосфера должна обогащаться аргоном, который не замерзает при существующих на Марсе температурах.

■ Кратер диаметром 30 км с хорошо сохранившимся валом

Вот еще несколько новых результатов, относящихся к атмосфере Марса. По изменению фазы сигналов бортовых радиопередатчиков впервые





найдена концентрация электронов в ночной ионосфере. Она составила  $6 \cdot 10^3$  электронов в  $1 \text{ см}^3$ , в то время как днем их содержание возрастает до  $1,5 \cdot 10^5$ . Таким образом, будущие экспедиции на Марс, вероятно, смогут поддерживать радиосвязь между собой на волнах длиннее 500—1000 м.

В атмосфере Марса сейчас гораздо больше водяного пара, чем в период работы «Марса-3». Количество осажденной воды местами достигает 60—70 мкм, что в 3—5 раз выше значений, полученных «Марсом-3». Интересно также, что распределение этой влаги над поверхностью неравномерное.

На борту «Марса-5» имелись два поляриметра, предназначенные для изучения структуры и фотометрических свойств поверхности. Этот эксперимент был поставлен совместно советскими и французскими учеными. Поляризация света, которая возникает при его отражении от поверхности планеты, несет в себе косвенную информацию о самой поверхности. Результаты поляриметрического эксперимента показали, что поляризация света существенно ниже, чем ожидалось. Наибольшая поляризация, отмеченная вблизи северной оконечности кратерного моря Argyre, едва достигает 10%, что в 2—3 раза меньше таких же значений для Луны. Значит, поверхность Марса покрыта слоем сильно измельченного вещества с заметно различающимися вдоль трассы свойствами. Для исследованных земных образцов характерны, как правило, гораздо большие значения поляризации. Есть предположение, что сильно измельченные смеси гетита с

риолитом при размере зерен от 25 до 60 мкм дадут похожие результаты.

О большой раздробленности поверхностных пород свидетельствуют также данные, переданные инфракрасным радиометром. Измеренные вдоль трассы яркостные температуры (практически — температуры поверхности) очень близки к теоретическим температурам сильно измельченной породы. Максимальная зарегистрированная температура составляет  $272^\circ \text{K}$  ( $-1^\circ \text{C}$ ) и относится к 13 часам местного времени. Как это ни удивительно, такой же пик температур наблюдался в районе Claritas в 11 часов 30 минут по местному времени. Здесь отмечается необычный ход кривых яркости в диапазоне 1,5—2,0 мкм, которые коррелируют с ходом температур, хотя должна быть обратная зависимость. При заходе Солнца температура падает до  $230^\circ \text{K}$ , а в 21 час местного времени — до  $200^\circ \text{K}$ . Интересно, что пока не найдена зависимость между рельефом и температурой.

А рельеф вдоль трассы как раз изобилует большими перепадами высот. Это обнаружил специальный спектроальтиметр, установленный на борту «Марса-5». В районе Claritas — Thaumasia, который по данным «Маринера-9» считался высокогорным плато, альтиметр зарегистрировал ряд горных цепей с высотами 8—11 км и очень пологими склонами. Здесь же (Ambrosia) отмечается повышенная поляризация, свидетельствующая об отличиях в структуре поверхности. Однако ни высоты, ни структура поверхности не исчерпывают сюрпризов этого района. В составе научной аппаратуры было несколько фотомет-

ров, охватывающих спектральную область 3200—7500 Å. Наиболее коротковолновый диапазон можно также использовать для измерения высот. Профиль яркостей на длине волны 3200 Å показывает в горном районе глубокий провал. Зато на длине волны 4900 Å профиль яркостей испытывает резкий подъем в районе гор, причем на длине волны 4100 Å подъем уже значительно меньше. Таким образом, можно утверждать, что эти горы имеют голубой оттенок.

Обработка данных «Марса-5», который сообщил много новых сведений о планете, пока дала только самые предварительные, но очень интересные результаты. Впереди — новые сопоставления и новые выводы.



Кандидат физико-математических наук  
В. А. БРОНШТЭН

## Полет двух «десяток»

Четырехмесячный интервал с 1 декабря 1973 по 1 апреля 1974 года войдет в историю космических исследований, как период «массированной атаки» на планеты Солнечной системы. Четыре советские автоматические межпланетные станции серии «Марс» достигли в феврале — марте 1974 года района планеты Марс, передали на Землю крупномасштабные фотографии этой планеты и результаты многочисленных измерений параметров ее атмосферы и поверхности. (См. статью, опубликованную в этом номере журнала.)

Американская станция «Маринер-10» 5 февраля 1974 года прошла около Венеры, а 30 марта — около Меркурия, передав изображения этих планет с близкого расстояния. Еще раньше, 4 декабря 1973 года, другая американская космическая станция «Пионер-10» после почти двух лет полета приблизилась к Юпитеру. С «Пионера-10» получены фотографии планеты и много интересной информации.

«Маринер-10» был запущен 3 ноября 1973 года и после 94 суток полета, 5 февраля 1974 года, он подлетел к Венере. С борта космического аппарата два магнитометра измеряли магнитные поля Венеры и Меркурия, а также межпланетные магнитные поля, два ультрафиолетовых спектрометра и регистратор заряженных частиц исследовали солнечный ветер, а электронный спектрометр и электрический анализатор — энергичные протоны и электроны солнечного ветра. Радиопередатчик «Маринера-10» использовался для зондирования атмосферы Венеры методом радиозатемнения, инфракрасный радиометр —

**Космические зонды «Маринер-10» и «Пионер-10» передали фотографии Венеры, Меркурия и Юпитера.**

для определения тепловых характеристик Меркурия, две телекамеры — для передачи изображения обеих планет.

5 февраля в 17 часов 1 минуту по Всемирному времени «Маринер-10» прошел в 3600 км от поверхности Венеры. Он приближался к ней с ночной стороны, поэтому эксперименты проводились в такой последовательности: с 17 часов 7 минут до 17 часов 28 минут — эксперимент по радиозатемнению, затем, после выхода аппарата на линию Солнце — Венера, фотографирование и фотометрические измерения дневного полушария планеты. Фотографирование началось в 18 часов 20 минут и продолжалось несколько суток, причем по мере удаления аппарата от Венеры наблюдению становилась доступной все большая часть планеты (вследствие увеличения угла фазы). На Землю передано около 3400 снимков Венеры.

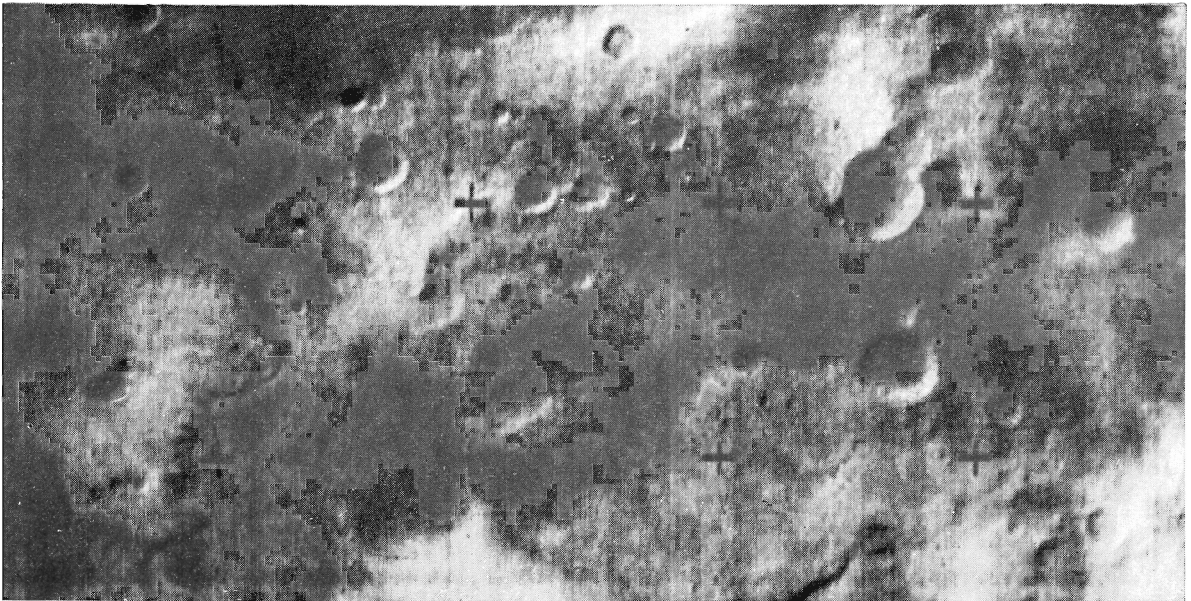
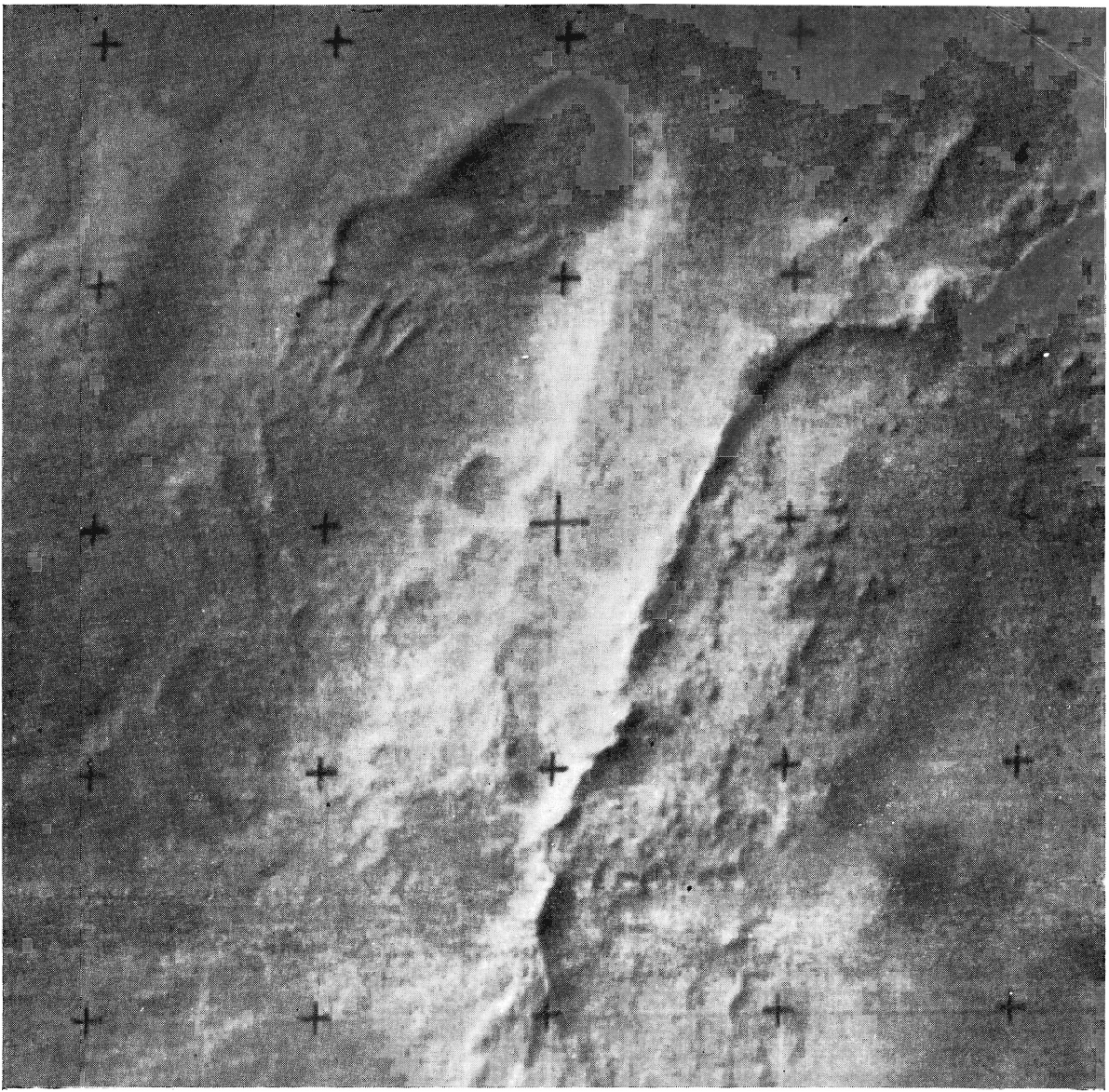
На фотографиях, полученных из космоса, видно, что вся Венера покрыта темными и светлыми облачными поясами, расположенными почти вдоль параллелей или под некоторым углом к ним. Очертания темных полос близ экватора похожи на латинскую букву Y, положенную набок. Столь необычную конфигурацию еще в 60-е годы обнаружили французские наблюдатели Ш. Буайе и П. Камшель по наземным фотографиям в ультрафиолетовых лучах. Эти же снимки помогли установить в свое время четырехсуточный период цир-

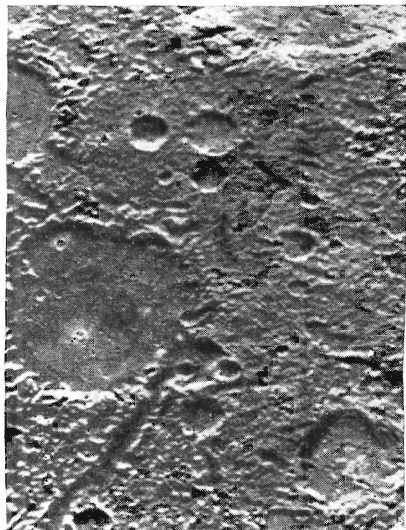
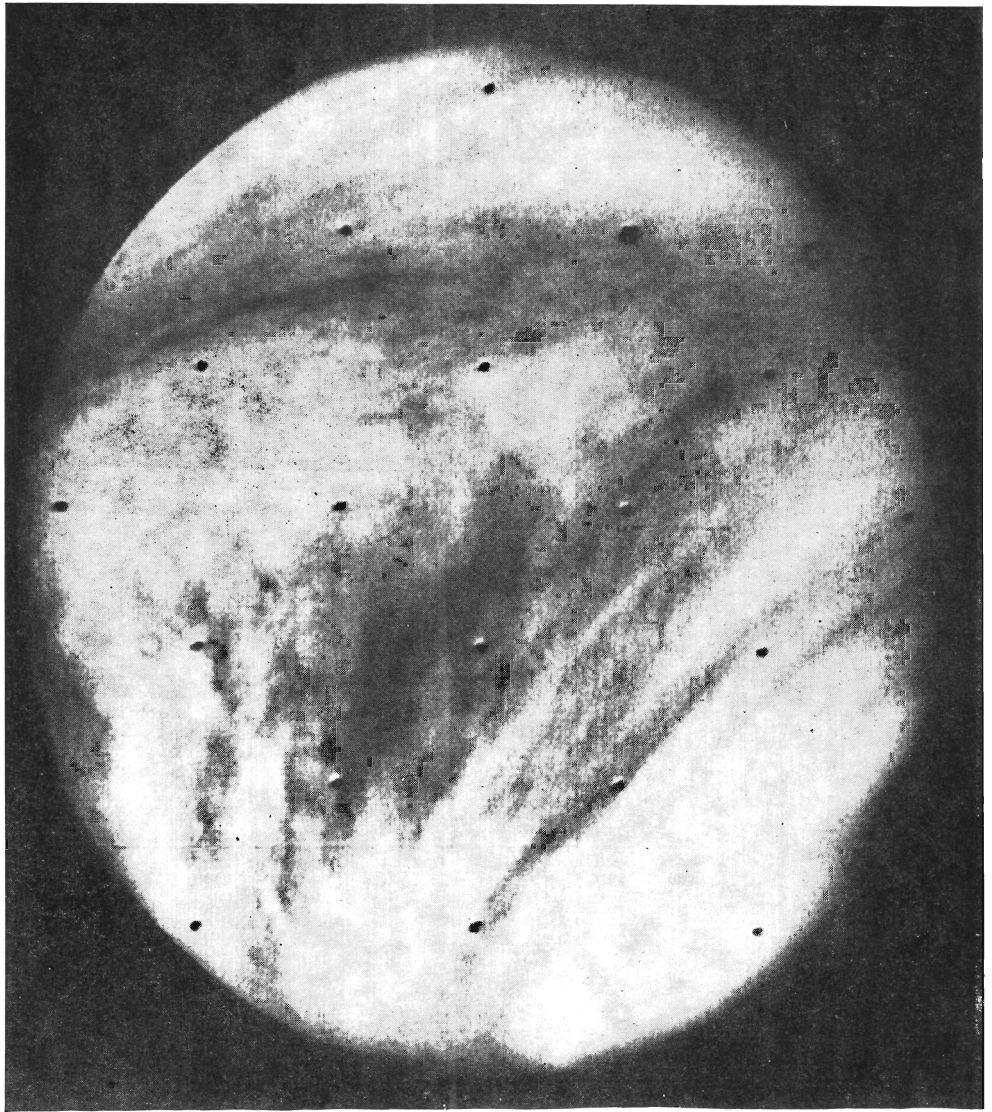
куляции верхних слоев атмосферы планеты. Теперь выводы французских астрономов подтвердились: на снимках «Маринера-10», полученных с интервалами в несколько часов, обнаружены детали, по которым нетрудно определить характер и скорость вращения на уровне облачного слоя. Четырехсуточная циркуляция соответствует скорости ветра 100 м/сек в направлении вращения планеты, которое, как известно, обратно направлению вращения Земли и других планет, а также направлению их движения вокруг Солнца. На фотографиях удалось выявить по крайней мере три облачных слоя, лежащих на высотах 40, 60 и 80 км от поверхности Венеры.

Американские специалисты, изучавшие циркуляцию в верхней атмосфере Венеры, пришли к еще одному любопытному выводу. Оказалось, что система этой циркуляции очень близка к модели, предложенной в 1735 году английским астрономом Дж. Гадлеем. Гадлей считал, что планета получает в районе экватора значительно больше тепла, чем у полюсов, поэтому теплый экваториальный воздух по спиральям устремляется в высокие широты. На Земле быстрое вращение, наклон оси, наличие океанов, пустынь, обширных материков — не дают развиваться подобной циркуляции. На Венере, наоборот, для нее созда-

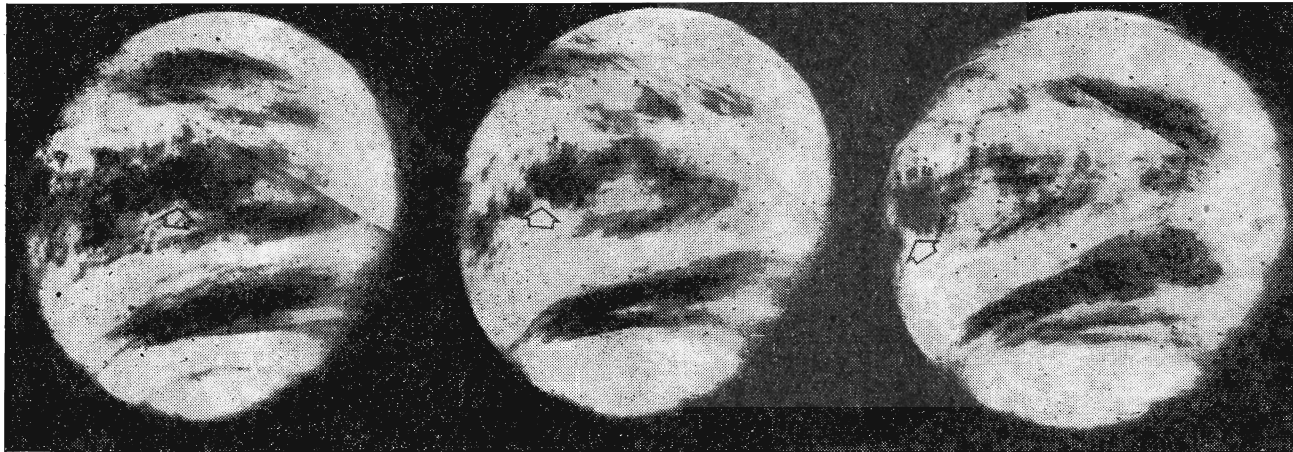
■ *Крупномасштабный снимок вала одного из марсианских кратеров, который вы уже видели на стр. 8 (фотография слева)*

■ *Самые большие кратеры в этой области Марса имеют поперечник до 60 км*









ны все условия: ось почти перпендикулярна плоскости орбиты, вращение медленное, смена времен года отсутствует, океанов и материков нет, различие температур дня и ночи ничтожно, поэтому разность температур в направлении экватор — полюсы полностью управляет атмосферной циркуляцией.

Однако весь ход глобальной циркуляции атмосферы Венеры нам еще неясен. Циркуляционная ячейка долж-

на быть замкнутой. Значит, где-то (скорее всего, у полюсов) должен происходить сток холодных масс газа вниз, а на другом уровне направление циркуляции должно быть обратным.

Приборы «Маринера-10» обнаружили в верхней атмосфере Венеры атомарный углерод, кислород и водород. Первые два газа — продукты разложения  $\text{CO}_2$ . Водород и его соединения могут поставляться в атмосферу планеты вулканами, он может появляться и в результате фотолитиза водяного пара. Согласно недавно высказанным взглядам на природу облаков Венеры, они состоят из капель водного раствора серной кислоты, куда также входит и водород.

Инфракрасные радиометры подтвердили, что выше 60 км температура растет на 2 градуса с каждым километром. Таким образом, продолжена на большие высоты модель атмосферы планеты, полученная советскими автоматическими станциями серии «Венера». («Земля и Вселенная», № 3, 1971 г., стр. 42—47.— Ред.) Минимальная температура 160° К зафиксирована на высоте 100 км. Самые верхние слои атмосферы Венеры — экзосфера — имеют температуру от 300 до 900° К (в среднем 550° К), что гораздо ниже температуры земной экзосферы. «Погоду» в верхней экзосфере Земли определяют заряженные частицы, которые получают энергию от быстрых электронов, рождающихся при иони-

зации атомов атмосферы ультрафиолетовым излучением Солнца. На Венере происходит то же самое, но там есть мощный источник охлаждения верхней атмосферы — еще не разожившиеся молекулы углекислого газа.

Спустя еще 53 суток полета, 30 марта 1974 года, «Маринер-10» прошел вблизи Меркурия и впервые передал на Землю снимки поверхности этой планеты. На них мы видим... Луну! Такие же кратеры, иногда со светлыми лучами, чередование светлых и темных областей, глубокие долины, напоминающие лунную «долину Альп».

Сравнение снимков поверхности Меркурия со снимками Луны и Марса показало, что кратеры на Меркурии гораздо больше похожи на лунные, чем на марсианские. В отличие от сглаженных ветровой эрозией марсианских кратеров, молодые кратеры Меркурия, подобно лунным, имеют резкие очертания, острые гребни валов. И это не удивительно, поскольку атмосфера Меркурия во много раз разреженнее, чем у Марса. Интересно, что существование ударных (метеоритных) кратеров на Меркурии предсказали еще в 1947 году К. П. Станюкович и В. В. Федынский. Лишь спустя три года аналогичные предсказания были сделаны за рубежом Э. Эпиком и Ф. Уипплом.

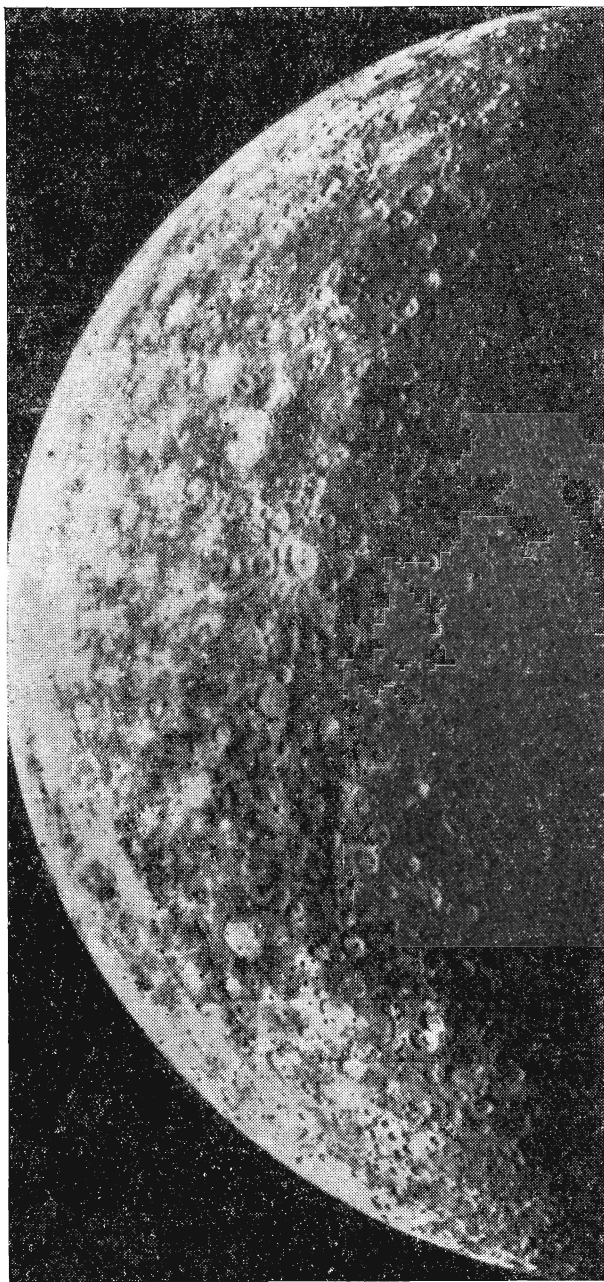
Магнитометры «Маринера-10» обнаружили у Меркурия магнитное поле, составляющее около 1% земного. В сочетании с высокой средней плот-

■ Три фотографии Венеры, полученные «Маринером-10» через семь часов одна после другой. Стрелкой отмечена деталь облаков, по смещение которой удалось проследить четырехкратную циркуляцию верхних слоев атмосферы

■ Снимок Венеры с «Маринера-10», полученный в то время, когда аппарат находился на расстоянии 2,75 млн. км от планеты. Расположение темных облачных полос напоминает латинскую букву Y, повернутую на 90°

■ Изображение Меркурия, переданное «Маринером-10» с расстояния 35 тыс. км, нелегко отличить от крупномасштабной фотографии лунной поверхности

■ Фотография Юпитера, сделанная «Пионером-10», когда его отделили от планеты 2,5 млн. км. Видны большое Красное Пятно и тень спутника Ио



■ ■  
*Меркурий и Луна (справа). Не правда ли, изображение Меркурия, переданное «Маринером-10» с расстояния 1,8 млн. км от планеты напоминает вид Луны в телескоп*

ностью планеты это свидетельствует о наличии у нее небольшого, но плотного ядра. В атмосфере планеты зарегистрированы инертные газы — неон и аргон.

Перенесемся теперь ст самой маленькой планеты Солнечной системы

к самой большой — гиганту Юпитеру.

Полет к нему «Пионера-10» продолжался 641 сутки — с 3 марта 1972 года до 4 декабря 1973 года, когда в 2 часа 25 минут по Всемирному времени этот космический аппарат достиг ближайшей к Юпитеру точ-

Ультрафиолетовый спектрометр обнаружил присутствие гелия в атмосфере Юпитера. Интенсивность свечения гелия оказалась в 100 раз ниже, чем водорода. По независимым определениям четырьмя различными методами относительное содержание гелия в атмосфере Юпитера составляет 27%.

Инфракрасный спектрометр не зарегистрировал заметного различия температур дневного и ночного полушарий планеты, что говорит в пользу сильного динамического перемешивания ее атмосферы. Яркостная температура оказалась равной 145° К, откуда следует, что Юпитер испускает вдвое больше тепла, чем получает от Солнца. Часть энергии идет из недр планеты, причем ее источником может служить гравитационное сжатие на 0,1 см в год. Эта энергия в значительной степени определяет метеорологию планеты. Данные инфракрасного радиометра показывают, что темные полосы Юпитера теплее светлых зон. Их образование связывается с нисходящими и восходящими движениями в атмосфере планеты. Юпитер был сфотографирован в синих и красных лучах с разрешением до 200 км. (Одна из фотографий воспроизведена на вклейке к стр. 11.)

Ряд интересных результатов был получен от спутника Юпитера. Масса Ио оказалась на 20% больше, чем было принято до сих пор, ее плотность равна 3,5 г/см<sup>3</sup> (почти как у Луны). Ио имеет разреженную атмосферу, протяженную ионосферу. Плотность атмосфер Ио и Ганимеда примерно в 1000 раз меньше, чем плотность атмосферы Земли.

Работа космических аппаратов еще не закончена. Орбита «Маринера-10» проходит таким образом, что ему предстоит вторая встреча с Меркурием 22 сентября 1974 года и третья 17 марта 1975 года. Связь с «Пионером-10» предполагают поддерживать до 1979 года, пока он не достигнет орбиты Урана. А в декабре 1974 года к Юпитеру должен приблизиться «Пионер-11», запущенный в апреле 1973 года. После встречи с Юпитером он направится к следующей планете Солнечной системы — Сатурну.

ки — 130 тыс. км от его поверхности. Но научные исследования Юпитера и окружающего его пространства начались задолго до этого.

26 ноября на расстоянии 8 млн. км аппарат пересек головную ударную волну, отделяющую межпланетное магнитное поле от магнитосферы планеты. На фронте этой волны наблюдалось падение скорости частиц солнечного ветра с 450 до 200—250 км/сек и рост температуры с 10 тыс. до 1 млн. градусов. На расстоянии 7 млн. км «Пионер-10» прошел через магнитопаузу. Магнитное поле Юпитера оказалось более сложным, чем у Земли, и состоящим как бы из двух полей: дипольного с напряженностью 4 э, которое простирается до 1,4 млн. км от Юпитера, и недипольного, занимающего остальную часть магнитосферы. Полярность магнитного поля Юпитера противоположна земному, а его магнитная ось наклонена на 11° к оси вращения планеты и смещена относительно центра планеты.

Юпитер окружен мощными поясами радиации, которые в 10 000 раз интенсивнее земных, но имеют более уплощенную форму. Они были замечены в 8 млн. км от планеты. Наиболее интенсивная зона захваченных заряженных частиц простирается до 1 млн. км, менее интенсивная — до 2,5 млн. км. Область энергичных частиц, не захваченных магнитным полем планеты, тянется на 7 млн. км. В точке наибольшего сближения «Пионера-10» с Юпитером наблюдались потоки протонов и электронов, плотность которых достигала 10<sup>6</sup> и 10<sup>7</sup> см<sup>-2</sup>сек<sup>-1</sup>, а энергия — 50 и 60 Мэв, соответственно.

## НОВЫЕ КНИГИ

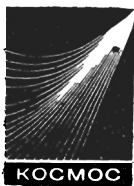
### КНИГА О СОТРУДНИЧЕСТВЕ В КОСМОСЕ

Издательство «Наука» выпустило в 1974 году книгу В. С. Верещетина «Космос, сотрудничество, право». Ответственный редактор, академик Б. Н. Петров в своем обращении к читателю пишет о том, что «отношения делового взаимовыгодного сотрудничества прочно связывают нас с государствами социалистического содружества». Успешно развивается сотрудничество с Францией, Индией и другими странами. В новую фазу вступили советско-американские совместные исследования космоса после подписания во время встречи на высшем уровне в 1972 году Соглашения о сотрудничестве в исследовании и использовании космического пространства в мирных целях между СССР и США.

В книге пять глав. Первая — «Космос открыт для всех» — рассказывает об истории развития международной кооперации в космосе. Во второй — «Трассы космического пространства» — говорится о программе «Интеркосмос» и двусторонних программах сотрудничества СССР. Третья глава — «Космическая Европа и США» — посвящена западно-европейским космическим программам и международным программам НАСА.

О международных организациях — Комитете ООН по использованию космического пространства в мирных целях (КОСПАР) и Международной Федерации астронавтики (МФ) — читатель узнает из четвертой главы «Космос и международные организации». В последней главе «Достижения космонавтики на благо человека» речь идет о народнохозяйственном значении космических исследований. «Приложение» к книге содержит ряд документов, касающихся международных космических программ СССР.

Книга выпущена в серии научно-популярных изданий Академии наук СССР и будет полезна многим читателям.



Кандидат физико-математических наук  
О. И. САВУН

## Орбитальный полет и радиация

### ВРАГ ЖИВОГО

Вся эволюция жизни на Земле происходила в условиях постоянно действующих гравитационных сил и очень слабого естественного фона радиации. В космическом пространстве нарушены оба этих фактора, столь привычные для организма.

В чем же заключается вредное действие радиации? Как известно, ядерные излучения, проходя через вещество, вызывают в нем ионизацию, то есть отрывают от нейтральных атомов и молекул электроны, образуя заряженные ионы. Ионизация может повлечь за собой изменения в химических и структурных свойствах вещества и живых тканях. Степень лучевого поражения зависит от количества энергии, затраченной на ионизацию. Поражение окажется опаснее, если в единице объема вещества будет образовываться большее число пар ионов.

Доза радиации измеряется в специальных единицах — бэрах (бэр — биологический эквивалент рентгена), которые позволяют оценивать биологическую эффективность воздействия облучения на живую ткань. Чтобы в дальнейшем была ясна степень радиационной опасности при космических полетах, приведем несколько цифр. Уровень общего облучения в 400—500 бэр считается для человека смертельным. Однократное, без опасных последствий облучение, переносимое космонавтом, не должно превышать 15 бэр (допустимая доза). Для лиц, постоянно работающих в лабораториях с источником ионизирующих излучений, допустимой считается доза 0,1 бэра за рабочую неделю.

**Радиация — серьезное препятствие на пути в космос. Мы пока не можем и вряд ли когда-либо сможем влиять на порождающие ее процессы, но уже сейчас умеем обеспечивать радиационную безопасность полетов в околоземном пространстве.**

### ВНИМАНИЕ — РАДИАЦИЯ!

Какая же радиация опасна для экипажа космического корабля на околоземной орбите? Во-первых, ионизация, обусловленная воздействием первичных космических лучей. Первичные лучи состоят из потоков протонов, альфа-частиц и ядер более тяжелых элементов. Протоны составляют около 85% общего потока частиц, альфа-частицы — 14%, а ядра тяжелых элементов не более 1%. Их энергия очень велика (от нескольких сот мегаэлектронвольт до  $10^{18}$ — $10^{19}$  эв). Хотя число первичных космических частиц сравнительно мало (в межпланетном пространстве около двух частиц на  $1 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ ), средняя энергия, приходящаяся на одну частицу, очень велика —  $4 \cdot 10^9$  эв.

Измерения мощности поглощенной дозы радиации, проведенные советскими учеными при первых запусках искусственных спутников Земли, показали, что ее значение приближается к 0,03 бэра в сутки, то есть около одного бэра в месяц.

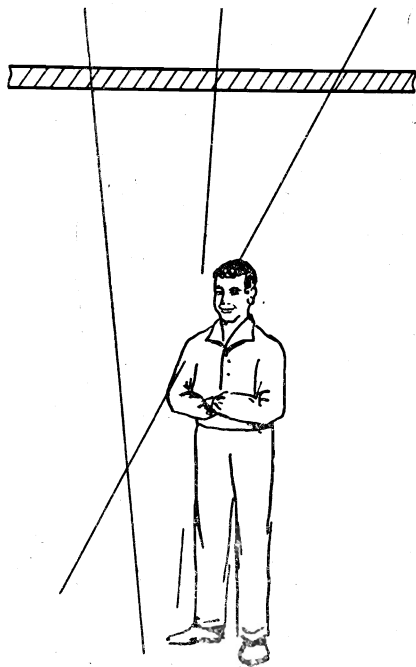
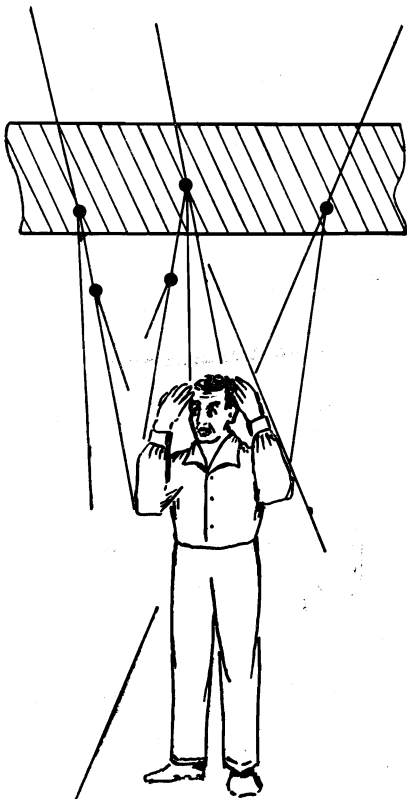
Защититься от действия энергичной компоненты первичного излучения практически невозможно, так как пробеги этих частиц в веществе со-

ставляют многие десятки сантиметров. Более того, излишняя защита приводит к увеличению числа частиц, их «размножению» в результате ядерных взаимодействий с веществом и в конечном счете к возрастанию дозы внутри космического корабля.

Второй источник радиационной опасности — ионизирующее излучение радиационных поясов Земли, открытых во время запусков первых искусственных спутников Земли. Радиационные пояса занимают обширное пространство вокруг земного шара. Их нижняя граница находится на высоте в несколько сот километров, а простираются они до расстояний в несколько земных радиусов (до 50 тыс. км). Многочисленные эксперименты на искусственных спутниках Земли, проведенные советскими учеными, позволили построить подробные карты распределения радиационных полей в околоземном пространстве.

Эксперименты выявили, что в центре внутреннего пояса, на высотах около 2500 км, расположена область максимальной интенсивности, где потоки протонов с энергией больше 40 Мэв достигают  $2 \cdot 10^4$  частиц на  $1 \text{ см}^{-2} \text{ сек}^{-1}$ . Мощность дозы в центре внутреннего пояса, за алюминиевой защитой толщиной 0,5 см составляет 50 бэр в час, а если эту защиту дополнительно усилить 10-сантиметровым слоем пластмассы, доза окажется около 8 бэр в час. Во внешнем поясе под слоем алюминия толщиной 0,5 см доза значительно меньше (около одного бэра в час) и определяется в основном электронами с энергией  $>1$  Мэв. Значит, область внутреннего пояса опаснее.

Третий и основной источник радиа-



ционной опасности — корпускулярное излучение, связанное с крупными хромосферными вспышками на Солнце. Радиационная опасность этих вспышек особенно возрастает при длительных орбитальных полетах. В окрестностях Земли протоны солнечных вспышек имеют среднюю энергию 100—300 Мэв. Причем энергия их меняется от вспышки к вспышке, а в некоторых случаях наблюдались протоны со средней энергией до нескольких тысяч мегаэлектронвольт. Интенсивность потока этих частиц может превышать нормальный фон первичных космических лучей в тысячи и даже в десятки тысяч раз. Возрастание потока протонов начинается около Земли в некоторых случаях спустя 15—20 минут, а в других — через несколько часов после оптического наблюдения вспышки и может продолжаться от нескольких часов до нескольких суток.

Максимальные потоки с энергией более 30 Мэв, проникающие сквозь алюминиевую защиту толщиной 0,5 см, достигают  $10^5$  протонов на  $1 \text{ см}^2/\text{сек}$ , а суммарное число прото-

■  
Увеличение толщины защиты может привести не к уменьшению числа частиц, проникающих через нее, а к его увеличению, поскольку в веществе рождается множество вторичных частиц, образовавшихся в результате взаимодействия космических лучей с веществом защиты. Если же сделать защиту настолько толстой, чтобы поглотить все вторичные частицы, то вес корабля возрос бы в сотни раз!

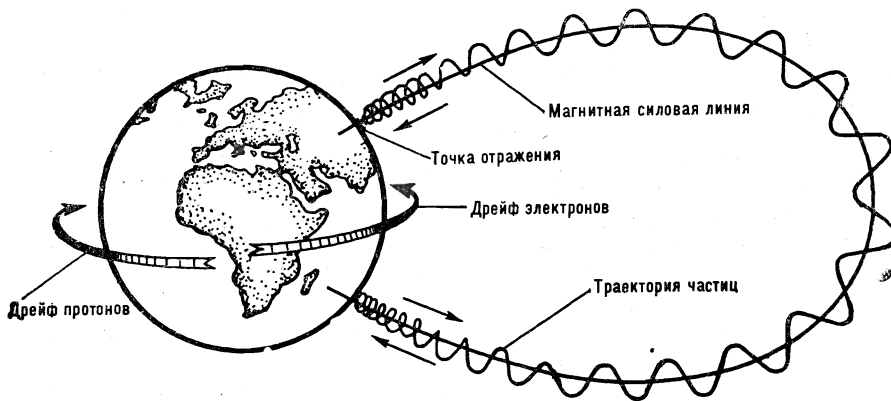
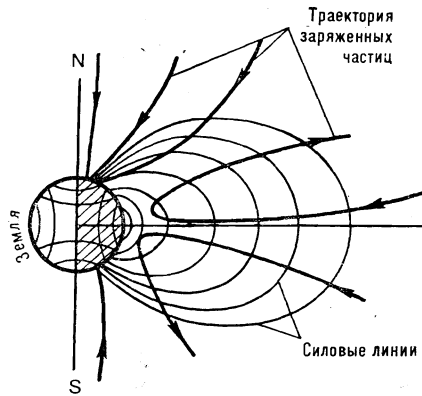
нов за вспышку — до  $10^9$  протонов на  $1 \text{ см}^2/\text{сек}$ . Суммарная доза радиации внутри кабины корабля с обычной защитой может составить до 500 бэр за вспышку. Чтобы снизить дозу до уровня 15 бэр, требуются металлические экраны толщиной в несколько сантиметров. Подобная защита весит очень много.

В год может происходить одна — две крупные протонные вспышки в период максимума цикла солнечной активности.

#### ГДЕ МОЖНО ЛЕТАТЬ?

Самый надежный способ защиты от излучений внутреннего пояса это правильный выбор оптимальной высоты орбиты. Высота орбиты не может быть слишком большой, так как с высотой усиливаются потоки частиц в радиационном поясе (примерно в 2—3 раза за каждые 50 км). Атмосфера тормозит не только космический корабль, но и заряженные частицы, электроны и протоны, имеющиеся в радиационном поясе, и тормозящее действие тем сильнее, чем плотнее атмосфера.

Исследования нижней границы внутреннего пояса показали, что при высотах орбиты до 300 км только  $1/5$  часть полного числа витков, совершаемых космическим кораблем вокруг Земли, проходит через область внутреннего пояса (над побережьем Бразилии). В этом районе магнитное поле Земли аномально мало и внутренний радиационный пояс, повторяя конфигурацию магнитных силовых линий, опускается. В других районах земного шара нижняя граница радиационного пояса находится на высо-



тах 500 и даже 1500 км (над Сибирью).

На высотах около 300 км за алюминием толщиной в 1 см максимальная мощность дозы в районе Бразильской аномалии не превышает 0,01 бэра в час, суммарное же время пребывания космического корабля в областях внутреннего пояса не более одного часа в сутки. Месячная доза от излучения радиационных поясов составляет несколько десятых бэра.

Суточные дозы, которые регистрировались внутри кабины пилотируемых советских кораблей «Восток», «Восход», «Союз», составляли не более нескольких сотых долей бэра в сутки для всех полетов.

#### МАГНИТНАЯ ПРЕГРАДА

Магнитное поле Земли — своеобразная ловушка для заряженных частиц радиационных поясов. Оно же защищает нас от большей части сол-

нечных протонов. Заряженным частицам одинаково трудно и вырваться наружу, и проникнуть внутрь магнит-

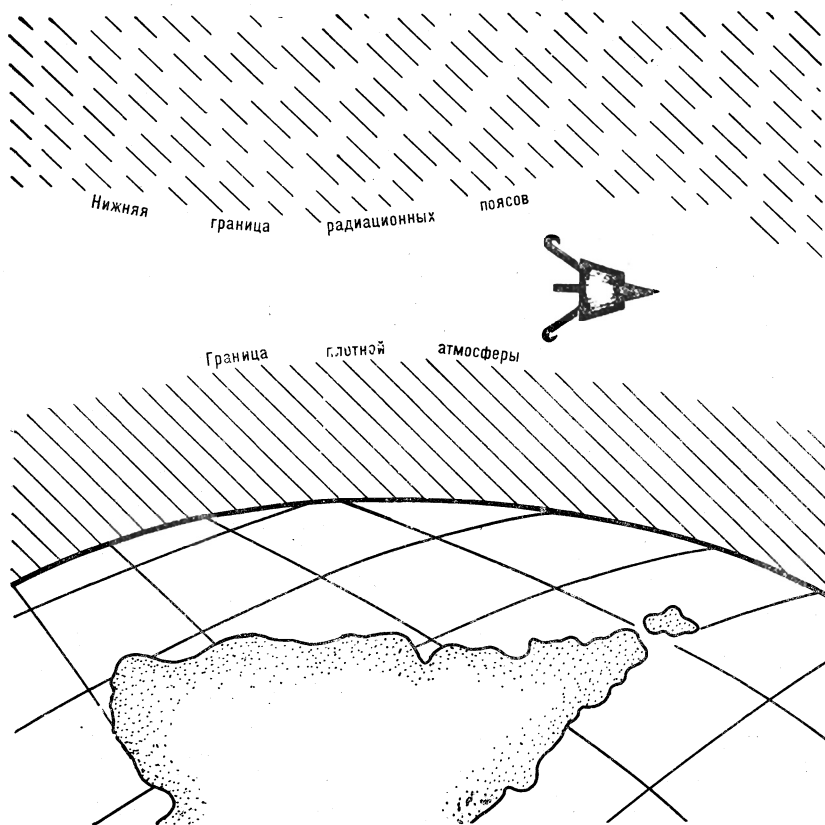
*Труднее всего заряженным частицам попасть в приэкваториальные области, так как для этого необходимо пересечь наибольшее число силовых линий магнитного поля. На высоких широтах к Земле могут проникнуть больше частиц, чем на низких*

*Заряженные частицы в околоземном пространстве находятся в ловушке, образованной силовыми линиями магнитного поля Земли. Захваченные частицы колеблются вдоль силовой линии из одного полушария в другое, как бы нависая на силовую линию. Шаг спирали постепенно уменьшается по мере приближения к основанию силовой линии, где магнитное поле максимально, затем он становится равным нулю, после чего частица движется в обратном направлении как бы «отразившись» назад*

тосферы — области околоземного пространства, заполненной магнитными силовыми линиями. Подобно упругим резиновым нитям, силовые линии стремятся сохранить свою форму. Они способны выдержать «давление» частиц с внутренней и внешней стороны.

Давление потоков частиц, испускаемых Солнцем (солнечный ветер), достаточно постоянно, хотя во время мощных вспышек может иногда значительно «прогнуть» магнитные силовые линии, сдвинуть их ближе к Земле и даже вытянуть «по ветру» в сторону, противоположную от Солнца. Но внутренние силовые линии, наиболее удаленные от периферии, не меняют свою конфигурацию даже при самом сильном давлении частиц на магнитосферу. Чтобы достигнуть Земли, любая заряженная частица, приходящая извне, должна преодолеть отклоняющее действие магнитного поля.

Представим, что космический корабль обращается вокруг Земли по круговой траектории на высоте 300 км. Плоскость его орбиты наклонена к плоскости экватора под углом 65°. Тогда около 13% времени от общей продолжительности полета корабль будет находиться в высоких широтах, куда могут приходить протоны с энергией менее 100 Мэв. Если угол наклона составит 50°, протоны с энергией меньше 160 Мэв совсем не попадут на орбиту полета космического корабля — их отклонит магнитное поле Земли. А это весьма существенно, так как основной вклад в дозу определяется протонами с энергиями менее 100 Мэв. Таких протонов



в солнечных вспышках в несколько десятков раз больше, чем протонов с энергией свыше 100 Мэв.

Специалисты умеют оценивать дозы радиации от солнечных вспышек. Для этого они учитывают конфигурацию реального земного поля и распределение протонов по энергиям в самых крупных вспышках на Солнце.

Если орбита с высотой около 300 км наклонена к плоскости экватора под углом  $65^\circ$ , то внутри корабля, который защищен алюминиевым экраном толщиной в 1 см, доза от однократной солнечной вспышки составит приблизительно несколько бэр. При наклоне орбиты под углом  $50^\circ$  доза от вспышки значительно меньше и не превышает нескольких десятых долей бэра.

Магнитное поле хуже всего защищает районы над Канадой и к югу от

Австралии. Участки космической трассы над этими районами при солнечной вспышке наиболее опасны.

#### ЛЕТАТЬ МОЖНО!

Как же на борту орбитальной станции свести к минимуму воздействие излучений от солнечных вспышек? Прежде всего, можно создать отсек, наиболее защищенный по сравнению с другими. Когда мощность дозы радиации возрастает до одного бэра в час, экипаж должен перейти в отсек.

В настоящее время предусмотрены также индивидуальные меры на случай резкого ухудшения радиационной обстановки: космонавты обеспечены специальными радиозащитными химическими препаратами.

На борту орбитальной станции есть специальная радиометрическая аппаратура, которая измеряет мощность дозы радиации и дозу радиации за все время полета.

Хромосферным вспышкам на Солн-

це предшествуют различные гелиофизические явления — изменяется конфигурация магнитных полей и активных областей на Солнце, увеличиваются потоки рентгеновских и гамма-квантов, испускаемых Солнцем, а в сантиметровом диапазоне усиливаются радиозумы. Непрерывные оптические, магнитные и радионаблюдения за Солнцем позволяют заблаговременно (до нескольких суток) прогнозировать крупные хромосферные вспышки. Многочисленные астрофизические обсерватории и гелиофизические станции Советского Союза сообщают о своих наблюдениях в специальную службу радиационной безопасности. На многих станциях непосредственно наблюдают интенсивность радиации в верхних слоях атмосферы, запуская шары-зонды. И, конечно, особое место занимают сведения с искусственных спутников Земли, оборудованных специальной аппаратурой для регистрации заряженных частиц.

Так, сотрудничество ученых, конструкторов космических кораблей и космонавтов обеспечивает радиационную безопасность пилотируемых полетов в космос.

#### Уважаемые товарищи!

Не забудьте своевременно оформить подписку на журнал «Земля и Вселенная» на 1975 год.

Напоминаем, что редакция не имеет никакой возможности высылать читателям интересующие их отдельные номера журнала.

■ *Оптимальная высота орбиты пилотируемого корабля лежит в диапазоне от 200 до 400 км*

Геологи и геофизики давно спорят о том, как эволюционирует Земля. Одни ученые считают, что материка никуда не движутся, что они образовались там, где сейчас находятся, и что то же справедливо и для океанов. С этой точкой зрения читатели нашего журнала достаточно знакомы (см. например, следующие статьи: В. В. Белоусов «Глубинное строение и развитие Земли», № 1, 1967 г.; В. В. Белоусов, В. Н. Шолпо «Роль тектоносферы в развитии Земли», № 6, 1972 г.; Ю. М. Шейнманн «Калий и развитие земной коры», № 3, 1972 г.; А. А. Ярошевский «Образование земной коры и процессы в мантии», № 1, 1972 г.).

Публикуемые ниже статьи «Дрейф континентов и современные представления об эволюции Земли» и «Рифтовые зоны Земли» посвящены гипотезе тектоники литосферных плит. Авторы статей — сторонники теории перемещения континентов (мобилизма) — с большой увлеченностью отстаивают свои позиции, порой, однако, забывая об их острой дискуссионности.

Кандидат геолого-минералогических наук  
А. М. ГОРОДНИЦКИЙ  
Кандидат физико-математических наук  
О. Г. СОРОХТИН  
Доктор геолого-минералогических наук  
С. А. УШАКОВ

## Дрейф континентов и современные представления об эволюции Земли

Появилось достаточно наблюдений о развитии дна океанов, интерпретация которых возродила идею дрейфа континентов. В современной модификации эту геологическую теорию называют тектоникой мобильных литосферных плит.

### РОЖДЕНИЕ ГИПОТЕЗЫ

Стабильное расположение континентов представляется почти очевидным — ведь земные породы так тверды, а массы материков столь громадны, что кажется нет сил, которые могли бы их сместить. Геологи прошлого века так и думали, и никому из них даже в голову не приходило усомниться в этой аксиоме тем более, что господствовавшая в то время контракционная гипотеза, объяснявшая горообразование остыванием Земли и сокращением ее радиуса, еще «всех устраивала».

В начале XX века начинает все явственнее проявляться несостоятельность контракционной гипотезы. Выяснилось, что она не может объяснить основных и глобальных закономерностей геологического развития Земли. Не удовлетворяла она и количественным расчетам. Многочисленные попытки спасти красивую и, казалось бы, очень естественную гипотезу не увенчались успехом.

Именно в это время появляются две «еретические», с точки зрения классических представлений, работы — статьи американского ученого Ф. Тейлора (1910 г.) и немецкого геофизика А. Вегенера (1912 г.). В этих работах допускается возможность

крупных горизонтальных перемещений континентальных массивов. Наиболее полно гипотеза дрейфа континентов разработана Альфредом Вегенером, поэтому ее часто называют еще гипотезой Вегенера.

Сам А. Вегенер в своей известной книге «Просхождение материков и океанов» (М.—Л., Госиздат, 1925 г.) так вспоминает об обстоятельствах появления идеи дрейфа континентов: «В 1910 году мне впервые пришла в голову мысль о перемещении материков, ... когда, изучая карту мира, я поразился сходством очертаний берегов по обе стороны Атлантического океана. Но тогда я не придавал этому значения, так как не считал такое перемещение возможным. Осенью 1911 года я познакомился (благодаря ряду справочных сведений, случайно оказавшихся в моем распоряжении) с палеонтологическими данными о прошлом сухопутной связи между Бразилией и Африкой, о которой я раньше не знал. Это побудило меня проанализировать результаты геологических и палеонтологических исследований, которые имеют отношение к этому вопросу. Изучив эти данные, я убедился в принципиальной правильности своей идеи».

### АРГУМЕНТЫ РАННИХ МОБИЛИСТОВ

Анализируя гипсографическую кривую (эта кривая показывает относительное распределение по площади высот суши и глубин моря), А. Вегенер обратил внимание на две четкие ступени, отвечающие положению средних уровней континентальных и океанических структур. Он предполо-



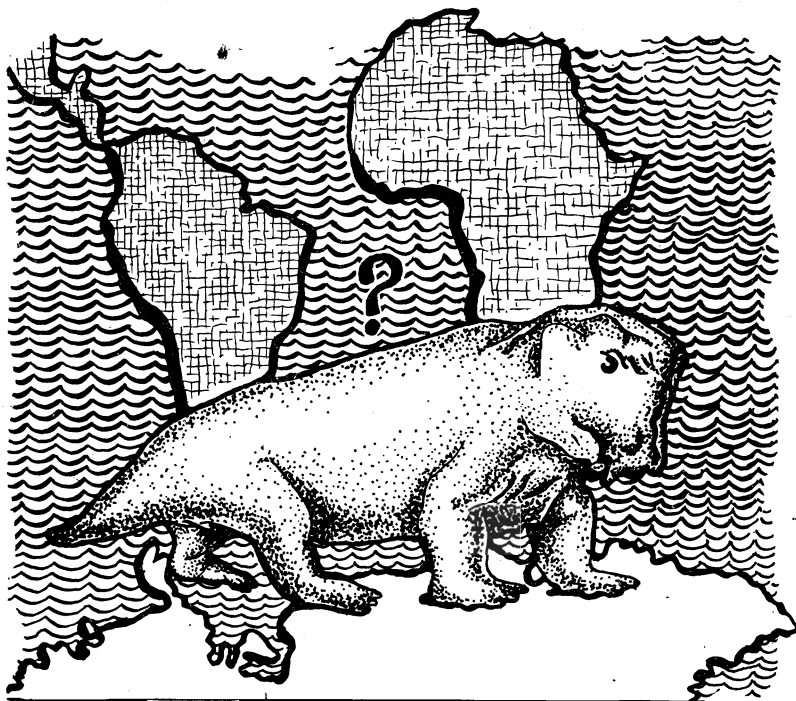
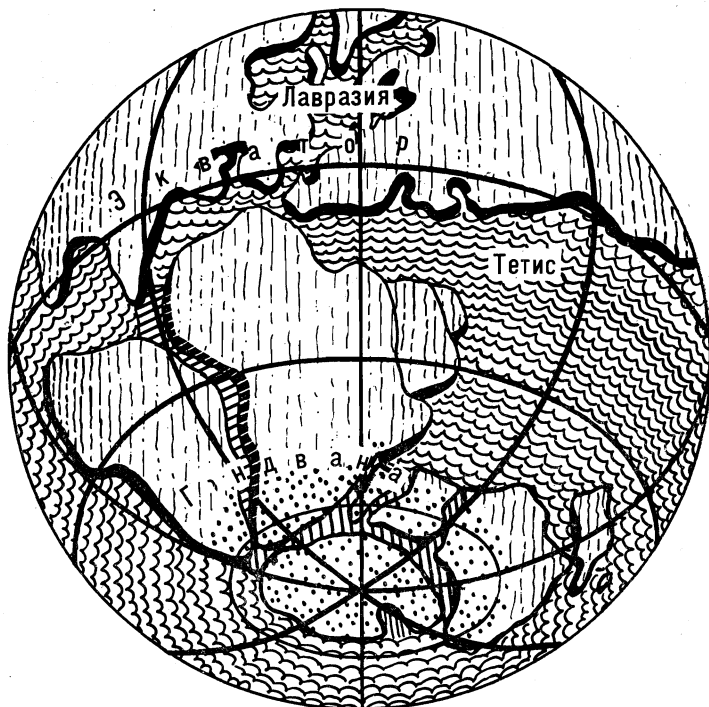
жил, что составы континентальных пород и пород, слагающих океаническое дно, принципиально различны. Материки сложены легкими породами гранито-гнейсового ряда (сиаль), в составе которых доминируют кремний и алюминий, а дно океанических впадин сложено веществом (сима) более тяжелым, преимущественно из того же кремния и магния. Для 10-х годов нашего века такое предположение было довольно смелым, но впоследствии оно полностью подтвердилось.

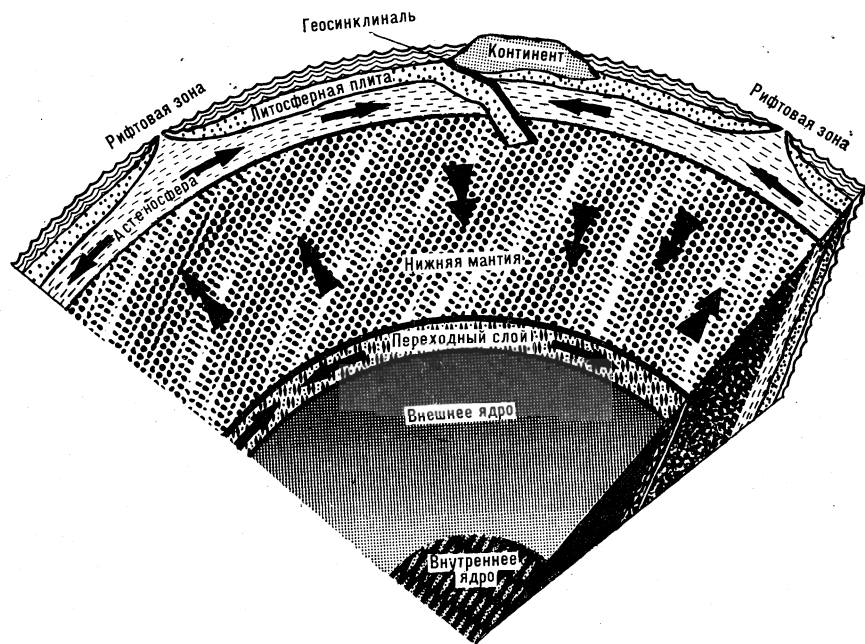
Сделанное предположение позволило А. Вегенеру создать простую и наглядную модель строения верхней оболочки Земли. По этой модели легкие материки в виде мощных плит сиаля, толщина которых достигает 100 км, погружены в пластичный субстрат тяжелого вещества — в слой сима и плавают в нем, подобно айсбергам в воде океана.

В качестве доказательств дрейфа континентов ранние мобилисты (А. Вегенер, геолог Дю-Тойт и др.) использовали четыре группы фактов: геоморфологические, геологические, палеонтологические и палеоклиматические.

■ *Реконструкция суперконтинента древности — Пангеи в конце палеозоя*

■ *Эта древняя сухопутная рептилия — листрозаур, заселявшая в триасовое время Африку, Индию и Антарктиду, «свидетельствует» в пользу гипотезы дрейфа континентов*





Первым и наиболее убедительным фактом было сходство береговых линий континентов, расположенных по разные стороны Атлантического океана. При более детальном исследовании конфигураций береговых линий континентального обрамления Индийского океана аналогичная закономерность, хотя и менее четкая, устанавливается и для материков, окружающих этот океан. Формальная реконструкция положения континентов в прошлые геологические периоды, проведенная путем их сближения до наилучшего совпадения береговых линий, позволила предположить, что в палеозое и раннем мезозое все материки были сгруппированы вместе в гигантский единый суперконтинент — Пангею. Пангея состояла из двух крупных частей: северной — Лавразии, объединяющей Северную Америку, Европу и Азию (без Индии), и южной Гондваны, включающей Южную Америку, Африку, Антарктиду, Австралию и Индию. Между Гондваной и Лавразией находилась впадина древнего океана Тетис.

Выполненная таким путем палеоре-конструкция была убедительно подкреплена сходством геологических разрезов отложений палеозойского и раннемезозойского возраста на смежных континентах. Порой это сходство настолько полное даже в тонких деталях состава и строения разрезов, что определенно убеждает в единстве места и условий формирования отложений, разнесенных сейчас на расстояния многих тысяч километров. Первые различия в составе и строении геологических разрезов береговых районов смежных континентов обнаруживаются только в среднем и

верхнем мезозое, то есть около 150—100 млн. лет тому назад. Появившиеся различия в условиях осадконакопления свидетельствуют, что примерно в это время произошел раскол Пангеи и отдельные фрагменты некогда единого пра-континента стали удаляться друг от друга. Расколы континентов сопровождалась обильными излияниями базальтовых лав, местами образовавших мощные покровы, например в Индии.

Столь же убедительно о единстве материков в прошлые геологические эпохи и их расчленении в конце мезозоя свидетельствуют окаменелые остатки древних животных и растений. Оказывается, вся древняя фауна и флора южных материков образует единое сообщество видов, заселявшее одну область распространения — Гондванский материк. Теперь остатки многих из этих общих видов сухопутных и пресноводных животных, явно неспособных к преодолению океанских просторов, геологи находят на

континентах, разделенных Атлантическим и Индийским океанами. То же самое можно сказать и о палеофлоре. Например, в пермский период на всех южных материках гондванской группы были распространены общие виды голосемянных растений, хотя их семена не могли мигрировать в соленой воде океана или переноситься ветром на большие расстояния. Формирование обособленных форм жизни на материках Гондваны также приходится на конец мезозоя, свидетельствуя о расколе и начале разобщения материков именно в это время.

Очень сильными аргументами в пользу существования вегенеровской Пангеи являются данные о распределении палеоклиматов в прошлые геологические эпохи. Уже давно геологи, изучавшие южные материки, установили, что в позднем палеозое на территориях Бразилии, Южной Африки, Индии и Австралии господствовали условия ледникового периода и существовали покровные ледники. Позже бесспорные следы палеозойского оледенения были найдены и в Антарктиде. В это же время, в каменноугольном периоде, на юге и в центре Русской платформы отлагались известняки теплого моря, а острова, окруженные коралловыми постройками

■ *Схема внутреннего строения Земли и предполагаемые конвективные течения в мантии с мощными восходящими и нисходящими потоками. Потоки мантийного вещества замыкаются в единые и непрерывные конвективные ячейки*



ми, изобиловали тропической растительностью. (Известняки этого возраста, которых и сейчас много в Подмоскovie, использовались при строительстве Белокаменной Москвы.) В следующем, пермском периоде образовывались коралловые рифы и отлагались соленосные толщи уже в районе Северного Урала и Солекамска, что явно указывает на жаркий и сухой палеоклимат этой области, расположенной сейчас на  $60^\circ$  северной широты. Одновозрастные с этими тепловодными осадками отложения ледниковых морей (тиллиты) и континентальные отложения холодного и умеренного климатов встречены в Индии, расположенной сейчас в  $10-20^\circ$  от экватора.

Без допущения дрейфа континентов практически невозможно предположить развитие экваториального климата на Русской платформе и вблизи Северного Урала одновременно с распространением покровных ледников позднего палеозоя в Южной Америке, Южной Африке, Индии, Антарктиде и Австралии. Сейчас эти материки удалены друг от друга на  $10-15$  тыс. километров и расположены в областях от Южного полюса до Северного тропика!

Причину дрейфа материков ранние мобилисты видели в действии на континентальные массивы центробежных и приливных сил, возникающих в результате вращения Земли вокруг своей оси и под влиянием притяжения Луны и Солнца.

Гипотеза дрейфа континентов, благодаря наглядности предложенной модели движения материковых глыб и убедительности аргументов, быстро завоевала популярность среди геоло-

гов. Известный геолог и палеонтолог первой половины XX века, советский академик А. А. Борисяк еще в начале 20-х годов оценил выход в свет работы А. Вегенера как «крупнейшее явление среди геологической литературы». Однако максимальным успехом гипотеза дрейфа континентов пользовалась лишь в конце 20-х — начале 30-х годов.

#### КРИТИКА МОБИЛИЗМА

Вслед за первыми успехами гипотезы пришло и разочарование. Все началось с того, что геофизики, и среди них крупнейший английский ученый Г. Джефрис, рассчитали предложенные Ф. Тейлором и А. Вегенером механизмы дрейфа и убедились, что связанные с этими механизмами силы на много порядков меньше сил, необходимых для смещения континентальных массивов.

Второй удар пришел со стороны геологов, обративших внимание на то, что основной геологический процесс преобразования континентальной коры, развивающийся в геосинклинальных поясах Земли, происходит на глубинах и органически связан с эволюцией мантии Земли, а не с внешними силами, которые заставляют материки «плавать» на поверхности пассивной мантии.

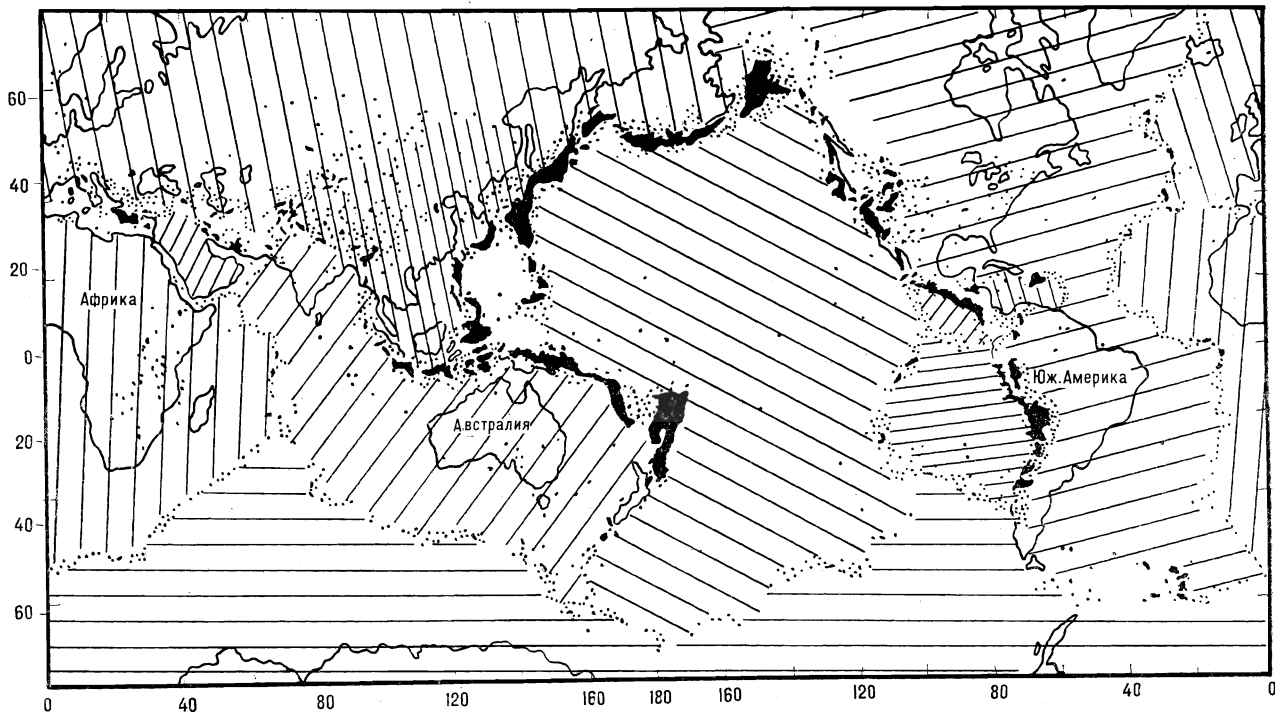
Аргументы против предложенных и явно неудачных механизмов дрейфа были настолько убедительными, что вскоре мобилисты растеряли большинство своих сторонников, и в начале 50-х годов казалось, что гипотеза сохранила лишь историческое значение. При этом парадокс заключался в том, что ни один из геоло-

гических фактов, на которых базировалась гипотеза дрейфа континентов, по существу не был опровергнут. Но, критикуя неудачный механизм дрейфа, «вместе с водой выплеснули и ребенка» — бесспорные геологические факты и убедительные свидетельства в пользу существования дрейфа континентов.

#### И ВНОВЬ — МОБИЛИЗМ

В середине 50-х годов в связи с работами по программе Международного геофизического года резко увеличился объем геологических и геофизических исследований, проводимых в океанах и Антарктиде. Неожиданно были обнаружены дополнительные веские подтверждения аргументов ранних мобилистов.

Английский геофизик Э. Буллард выполнил более тщательное сопоставление контуров смежных материков, окружающих Атлантический океан с запада и востока. Он совмещал контуры не по береговой линии, а по уровню середины их континентального склона (примерно по изобате  $1000$  м). Результат оказался настолько показательным и убедительным, что о случайном совпадении контуров материков говорить просто уже не приходится. После того как более подробно были исследованы докембрийские породы Южной Америки и Африки, оказалось, что сложный узор разновозрастных структур на геологических картах этих континентов при их совмещении полностью совпадает, как две половины одной картины. Недавно в Антарктиде были обнаружены остатки сухопутной триасовой репти-



лии — листрозавра, ранее известного по ископаемым находкам только в Африке и Индии. Переплыть океан неуклюжее пресмыкающееся никак не могло, а сухопутных «мостов», судя по геологии дна океана, между Антарктидой и этими материками не было.

Одновременно появились новые убедительные свидетельства перемещения материков. Прежде всего, это — палеомагнитные данные, специфическая картина магнитных аномалий над срединно-океаническими хребтами и другие наблюдения, а в последние годы — и непосредственное бурение дна океанов.

В момент образования горной породы содержащиеся в ней ферромагнитные минералы намагничиваются или ориентируются в соответствии с

существующим в это время магнитным полем. Поэтому породы, содержащие магнитные минералы, способны «запомнить» древнее магнитное поле Земли. Следовательно, изучая образцы древних пород, можно определять палеошироту того места, где данная порода образовалась.

Первые же палеомагнитные исследования середины 50-х — начала 60-х годов, выполненные английскими геофизиками под руководством П. Блекетта, принесли неожиданный результат — с течением времени палеошироты всех континентов менялись. При этом закономерность изменения палеоширот полностью соответствовала реконструкциям А. Вегенера! Полученные результаты оказались «живительной водой» для идей мобилизма и привели к стремительному возрождению почти умершей к этому времени гипотезы дрейфа континентов.

Новые свидетельства существования крупных горизонтальных перемещений (на этот раз участков океанического дна!) были получены на основании анализа полосчатых ма-

гнитных аномалий. Оказалось, что эти аномалии симметричны по отношению к гребням срединно-океанических хребтов и с большой точностью повторяют порядок чередования намагниченности пород континентов последовательно увеличивающегося возраста. К этому времени уже было установлено, что изменения намагниченности континентальных пород связаны с периодической сменой магнитных полюсов Земли. Ф. Вайн и Д. Мэттьюз предположили, что полосчатые аномалии морского дна есть не что иное, как запись магнитного поля Земли прошлых эпох на гигантской природной «магнитофонной» ленте — океанической коре, раздвигающейся в стороны от места своего образования в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов. (См. статью, опубликованную в этом номере журнала, стр. 28.— Ред.)

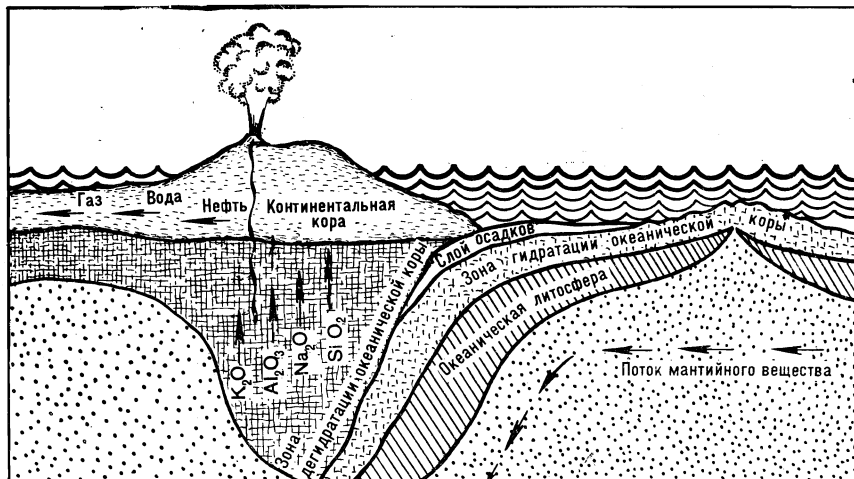
Зная порядок чередования и возраст отдельных инверсий магнитного поля, можно определить возраст океанического дна. Везде на участках развития полосчатых аномалий он оказался молодым — от современ-

*Зоны сейсмической активности (очаги землетрясений обозначены точками) и основные литосферные плиты на земном шаре (каждая плита показана своей штриховкой)*

ного на гребнях срединно-океанических хребтов до 80—100 млн. лет на их флангах и у подножий. Интересно отметить, что после проведения буровых работ на акваториях Мирового океана со специального бурового судна «Гломар Челленджер» расчетные оценки возраста океанического дна по магнитным данным блестяще подтвердились: повсеместно возраст дна океанов молодой — от 0 до 150 млн. лет — по сравнению с возрастом Земли (5—4,5 млрд. лет).

Важным дополнением общей картины, свидетельствующей в пользу перемещения материков, явилось уточнение местоположения поясов сейсмической активности на поверхности Земли. Пояса сейсмической активности четко оконтуривают границы литосферных плит. При этом на границы, где происходит **пододвигание** плит, приходится более 96% от всей энергии, выделяющейся при землетрясениях. Кроме того, установлено хорошее соответствие между скоростью пододвигания литосферных плит, вычисленной по данным магнитных съемок океана, и протяженностью фокальной области, где происходят землетрясения (то есть протяженностью опускаемого в мантию края океанической литосферной плиты).

О том, что фокальная область очагов землетрясений действительно представляет собой погружающуюся часть океанической литосферы, свидетельствуют сейсмические данные, а именно величина затухания упругих волн. Механизм в очагах землетрясений соответствует тому, который логически следует из концепции раздвижения литосферных плит в риф-



товых зонах и пододвигания их в зонах сжатия. Но что такое литосферные плиты?

### ТЕОРИЯ ТЕКТОНИКИ ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ

Накопленные к 60-м годам новые геолого-геофизические данные о геологическом строении и тектонике океанического дна позволили американским ученым Г. Хессу и Р. Дитцу сформулировать гипотезу о расширении дна океанов, происходящем под влиянием конвективных течений в мантии Земли. К настоящему времени, благодаря усилиям большой группы зарубежных и советских исследователей, эта гипотеза была развита и сейчас известна как теория тектоники литосферных плит.

Согласно этой теории, жесткая верхняя оболочка Земли — ее литосфера разбита на отдельные плиты. Литосферные плиты могут перемещаться в горизонтальном направлении на значительные расстояния по астеносфере Земли — пластичному слою верхней мантии. Движения плит

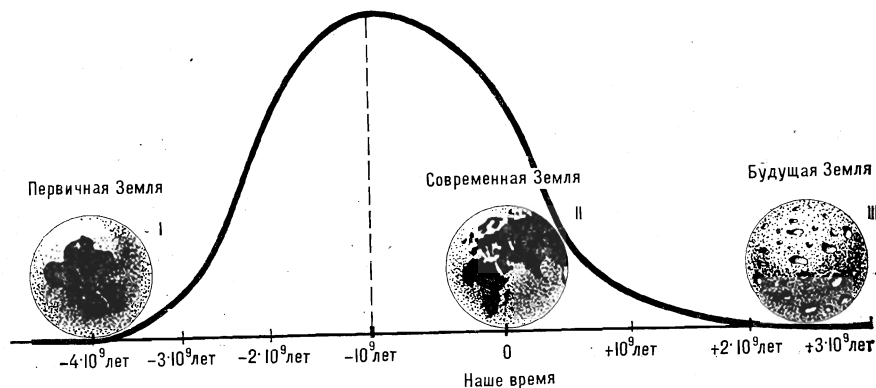
вызываются конвективными течениями вещества мантии.

В тех местах, где плиты расходятся, возникают рифтовые зоны и срединно-океанические хребты. Там — где плиты сближаются, напозают друг на друга, и одна из плит, оказавшись подмятой, опускается в мантию Земли — возникают геосинклинальные зоны с характерными для них глубоководными желобами, островными дугами и горными сооружениями. Типичными примерами современных развивающихся геосинклинальных зон могут служить островные дуги западного обрамления Тихого океана, острова Индонезии и западное побережье Южной Америки. Геосинклиналь, находящейся на последней стадии своего развития, является Альпийско-Гималайский горный пояс. Примерами древних геосинклинальных зон, уже давно прекративших свое активное развитие, могут служить многие горные сооружения мира (Урал, Аппалачи).

Теория тектоники литосферных плит позволяет понять происхождение земной коры и генезис многих полезных ископаемых. Согласно этой теории, океаническая кора образуется в процессе гидратации мантийных пород, когда они соприкасаются с водой океанов в рифтовых зонах срединно-океанических хребтов.

Континентальная же кора представляет собой продукт вторичной переработки и переплавления океанической коры в местах, где происходит

■ *Схема химической эволюции литосферы Земли и образование континентальной коры. Континентальная кора формируется в два этапа. Ее слагают легкоплавкие вещества (дифференциаты) океанической коры*



пододвигание литосферных плит в геосинклинальных зонах Земли. Когда океаническая кора переплавляется, слагающие ее гидросиликаты (в основном серпентиниты и родственные им породы) теряют не только воду, но и часть кремнезема, щелочные металлы, глинозем и некоторые другие подвижные (литофильные) соединения и элементы. Освободившиеся компоненты в виде богатых кремнеземом и водой кислых магм поднимаются на поверхность наплывающей литосферной плиты, формируя здесь (над зоной поддвига) новые участки континентальной коры.

В рамках рассматриваемой теории удается не только показать возможность образования континентальной коры как результата переработки вещества океанической коры в геосинклинальных зонах, но и количественно рассчитать основные закономерности этого процесса. Более того, с этим процессом оказался органически связан естественный механизм обогащения континентальной коры калием и другими подвижными элементами. (В континентальной коре калия около 3%, в то время как в мантийных породах его концентрация не превышает 0,02—0,01%.) Это очень важное обстоятельство, поскольку другие гипотезы происхождения континентальной коры проблему калия всегда оставляют нерешенной.

Теория тектоники литосферных плит несколько необычно и по-новому освещает проблему происхождения нефти и газа, а также процесс формирования месторождений этих горючих ископаемых. С точки зрения рассматриваемой теории нефть и газ образуются на заключительном этапе

термолиза и возгонки биогенных веществ, зятянутых вместе с океаническими осадками в зону поддвига литосферных плит. Миграция нефти и газа на большие расстояния (до нескольких сот километров) в сторону от места своего рождения вызывается избыточным давлением перегретых паров, возникающих в зоне поддвига литосферных плит при дегидратации пород океанической коры.

Количественное рассмотрение задачи показывает, что процесс образования нефти очень мощный: за время порядка одного миллиарда лет таким путем могло образоваться  $7 \cdot 10^{15}$  т нефти и газа, что более чем в 1000 раз (!) превышает массу всех геологических запасов нефти в мире. Поэтому, даже приняв коэффициент полезного действия рассмотренного механизма образования нефти и газа равным 0,1%, все же можно объяснить происхождение почти всех основных месторождений этих горючих ископаемых.

Среди других геологических гипотез теория тектоники подвижных ли-

*Расчетная кривая тепловых потерь и три возможных термических и геотектонических состояния планеты Земля. Начальный этап (I) — еще не расслоенная планета без мобильного перемещения литосферы, которой еще и не было. Второй этап (II) — современная мобильная литосфера, когда внутреннее тепло планеты превышает кондуктивные теплопотери через литосферную корку. Третий этап (III) — тектонически пассивная, медленно остывающая Земля*

тосферных плит выделяется наибольшей последовательностью и научной обоснованностью. В настоящее время удалось количественно, с единых позиций и в историческом плане объяснить почти все основные глобальные эндогенные геологические процессы, развивающиеся на Земле. Многие выводы и следствия из этой теории проверены на природных объектах, некоторые из них уже используются в практических целях, например, при поисках и разведке полезных ископаемых, при прогнозе и даже предотвращении землетрясений. Серьезных же и принципиальных возражений против нее сегодня, пожалуй, не существует.

Теперь уже ясно, что геологическое развитие поверхностных оболочек Земли нельзя изучать в отрыве от ее общей эволюции как планетного тела.

## ЭВОЛЮЦИЯ ПЛАНЕТЫ ЗЕМЛЯ

По современным представлениям, в основе которых лежит космогоническая гипотеза советского академика О. Ю. Шмидта («Земля и Вселенная», № 4, 1972 г., стр. 18—23.—Ред.), Земля, как и другие планеты Солнечной системы, образовалась в результате аккреции (слипания) вещества холодного протопланетного газо-пылевого облака, некогда окружавшего Солнце. Процесс образования планет должен был привести к формированию однородной по составу первичной Земли. Как известно, сейчас Земля уже расслоена. Расслоение нашей планеты на тяжелое ядро и остаточную более легкую



оболочку, как показывают оценки, вероятно, является самым мощным на Земле процессом, приводящим к максимальному уменьшению ее потенциальной энергии. Следовательно, можно считать, что процесс выделения земного ядра и есть главный движущий механизм эволюции Земли. Действительно, в современном земном ядре сосредоточена примерно треть всей массы Земли, а выделение из первичной мантии такого объема вещества не могло не сказаться самым радикальным образом на глобальном развитии всей планеты в целом.

При сопоставлении плотности образцов различных материалов, сжатых взрывами до давлений, господствующих в центральных частях Земли, с плотностью земного ядра, определенной по сейсмическим данным, удалось установить, что ядро примерно на 85—90% состоит из железа. В веществе жидкого внешнего ядра легкой добавкой к железу, всего вероятнее, является кислород. Жесткое внутреннее ядро, как и железные метеориты, по-видимому, состоит из сплава железа с никелем.

Из расчетов следует, что процесс дифференциации земного вещества в гравитационном поле Земли может протекать только на поверхности ядра, об этом же свидетельствует и существование резкой плотностной границы между мантией и ядром. По-видимому, процесс развивается путем выплавки окислов железа из мантийного вещества в тонком переходном слое на границе между мантией и ядром. При этом облегченное вследствие удаления части тяжелой фракции мантийное вещество должно всплы-

вать вверх, освобождая место новым порциям более тяжелого вещества. После выплавки части окислов железа и из этого вещества, оно также начнет всплывать вверх, а на его место поступят следующие порции вещества и т. д. В результате этого в мантии Земли возникают конвективные течения с мощными восходящими и нисходящими потоками вещества. Замыкание этих потоков в единные и непрерывные конвективные ячейки происходит через астеносферные течения и течения вещества в переходном слое на поверхности ядра.

Расчеты показывают, что скорости астеносферных течений могут достигать нескольких десятков сантиметров в год. При этом, благодаря существующему сцеплению (трению) астеносферы с литосферой, в последней возникают механические напряжения, превышающие пределы прочности пород. Это приводит к разломам литосферы на отдельные плиты и к перемещению их по поверхности Земли в соответствии с направлениями астеносферных течений.

Зная из геолого-геофизических данных направления смещения отдельных литосферных плит, можно определить и конфигурацию конвективных течений в мантии Земли. Оказывается, в настоящее время (в альпийский тектонический период) мантийные течения образуют структуру, напоминающую гигантский теннисный мяч, одна из секций которого расположена над восходящим, а другая — над нисходящим потоками. Интересно отметить, что при этом практически все молодые развивающиеся геосинклинальные зоны, как и следует из теории тектоники литосферных плит,

оказались расположенными над нисходящими мантийными течениями, а рифтовые зоны, — наоборот, над восходящими потоками вещества мантии Земли.

Дифференциация земного вещества происходит на поверхности ядра. Поэтому вначале, когда ядро было еще небольшим, этот процесс и связанные с ним глобальные геологические явления развивались во времени достаточно вяло. С увеличением ядра и его поверхности ускорился и процесс дифференциации, а вместе с ним возросла и тектоническая активность литосферных плит. С другой стороны, благодаря переходу окислов железа в ядро, концентрация тяжелой фракции в мантии постепенно уменьшается, а это приводит к замедлению дифференциации и к снижению скорости протекания других глобальных геологических процессов. Максимум тектонической активности Земли, по-видимому, наблюдался около миллиарда лет тому назад. В наше время уже происходит спад этой активности.

В современной мантии содержится около 8% окислов железа, следовательно, в первичном веществе Земли концентрация железа и его окислов достигала примерно 38%. За время жизни Земли, то есть за период, равный 4,5—5 млрд. лет, большая часть тяжелой фракции (30% от массы Земли) переместилась в ядро, но и оставшегося количества еще вполне достаточно для поддержания тектонической активности нашей планеты по крайней мере в течение ближайших 1,5—2 млрд. лет. Лишь после этого начнется постепенное остывание земных недр.



## Рифтовые зоны

### ЗЕМЛЯ ПОД ОКЕАНОМ

В середине 50-х годов неожиданно выяснилось, что дно океанов делится примерно на две равные части громадными срединно-океаническими хребтами. Срединно-океанические хребты — грандиозные подводные горные цепи, общей длиной свыше 80 тыс. км. Занимаемое ими пространство (около 25% поверхности Земли) соизмеримо с площадью всех континентов. Срединные хребты простираются на  $\frac{1}{3}$  ширины океана и поднимаются относительно прилегающих глубоководных равнин на 2—3 км.

Существенной особенностью строения океанических хребтов, на которую сразу же обратили внимание, является впадина вдоль оси хребта — рифт (от английского слова *rift* — щель, расселина). При детальном изучении срединных хребтов выяснилось, что не все они имеют в осевой зоне такую впадину, и было высказано предположение, что рифтовая впадина образуется на поздней стадии развития хребтов. Однако независимо от того, есть рифтовая впадина в осевой зоне срединно-океанических хребтов или нет, здесь всегда наблюдается высокая сейсмическая и вулканическая активность, а также разогрев земной коры. Изучая напряжения в очагах землетрясений, ученые показали, что растяжение земной коры ориентировано перпендикулярно срединно-океаническому хребту. Удивительным оказалось и полосчатое строение магнитного поля — система линейных магнитных аномалий, параллельных оси хребта. Сначала предполагали, что аномалии связаны с продольными разломами, нарушающими структу-

**Мировая рифтовая система начала развиваться 25—30 млн. лет тому назад. Отдельные ее звенья имеют разный возраст и находятся в различных стадиях геологического развития.**

ру океанической коры. Однако трудно объяснить, почему магнитное поле, как правило, симметрично относительно оси срединных хребтов.

В 1963 году американские ученые Ф. Вайн и Д. Мэттьюз выдвинули гипотезу, которая объясняла образование полосчатой структуры магнитного поля расширением океанического дна. Согласно этой гипотезе, в осевую зону хребтов постоянно внедряется материал из мантии, который намагничивается в том магнитном поле, что существовало в момент внедрения. Каждая новая порция отодвигает ранее образующуюся кору в сторону от оси, и эти «сдвинутые» породы тоже как-то намагничиваются. Поскольку для магнитного поля Земли характерны инверсии — периоды «быстрой» смены магнитных полюсов на противоположные, — то в конечном итоге образуется система из прямо и обратно намагниченных блоков коры, симметрично расположенных относительно осевой магнитной аномалии. (За последние 50 млн. лет средняя частота инверсий магнитного поля составляла от 2 до 4 инверсий в миллион лет).

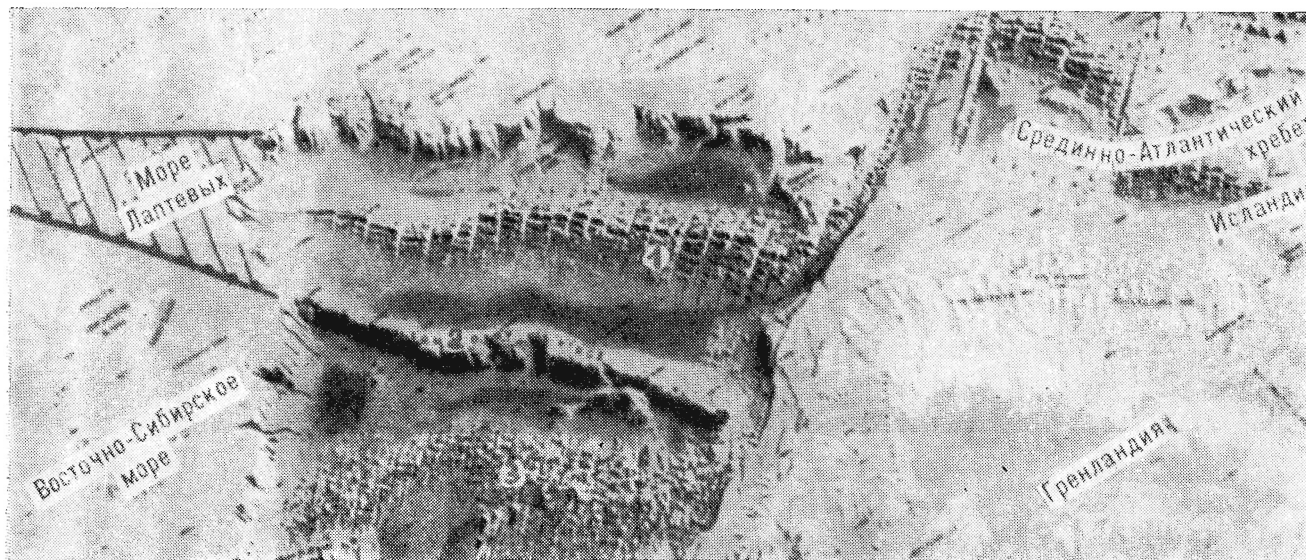
Если в одной зоне Земли происхо-

дит образование нового вещества, то ранее сформировавшаяся кора где-то должна уничтожаться. На основе тщательных исследований землетрясений американские ученые Л. Сайкс, Б. Айсекс и Дж. Оливер предположили, что в глубоководных желобах, связанных с вулканическими островными дугами (Курильская, Алеутская и др.), океаническая кора погружается под материковую. Именно поэтому здесь, на глубинах от 60 до 700 км, образуется сейсмическая зона, наклоненная под углом около  $45^\circ$  в сторону островных дуг. Затем работами Б. Айсекса, П. Молнера и других ученых был установлен разрыв в цепи глубоководных землетрясений на глубинах от 300 до 500 км. По их мнению, такой разрыв возможен в результате разламывания погружающихся литосферных плит. Логическим следствием должно быть срабатывание механизма погружения одной плиты под другую.

Возможно ли горизонтальное перемещение литосферных плит? В основании плит располагается пластичный слой верхней мантии — астеносфера, вещество которой находится в состоянии, близком к плавлению. По расчетам Е. В. Артюшкова, С. А. Ушакова, Р. Уэлкотта, вязкость астеносферы в 100—1000 раз меньше вязкости выше и ниже расположенной мантии. Таким образом, процесс зарождения и отмирания океанической коры напоминает как бы движение ленты конвейера, связывающей срединно-океанические хребты с глубоководными желобами островных дуг.

Гипотезу расширения океанического дна развили К. Ле Пишон и У. Морган (1968 г.). По их представлениям,





поверхность Земли можно разделить на несколько плит литосферы (от 6 до 20), относительное движение которых позволяет объяснить главные особенности рельефа и структуры планеты. Это — новая и популярная сейчас гипотеза тектоники плит. (См. статью, опубликованную в этом номере журнала, стр. 20.— Ред.)

Для понимания многих особенностей процесса расширения океанического дна и тектоники плит особый интерес представляют зоны сочленения срединно-океанических хребтов с материками. Установлено, что срединные хребты Индийского и Тихого океанов не заканчиваются, при-

ближаясь к материку, а продолжают в нем аналогичными зонами высокой сейсмической, тектонической и вулканической активности. Это — материковые рифты. Классическим примером такого рифта служат Великие Африканские разломы в Восточной Африке. Переход от этого рифта к рифтовой зоне Индийского океана (хребет Карлсберг) достоин обсуждения.

#### ТРЕУГОЛЬНИК АФАР — ОБЛАСТЬ ЗАРОЖДЕНИЯ ОКЕАНИЧЕСКОЙ КОРЫ

Восточнее озера Тана располагается треугольник Афар — уникальное место на Земле, где в пределах материка обнаружены участки с корой океанического типа. Это открытие сделали Р. Гирдлер и С. Холл при проведении аэромагнитной съемки. Линейные магнитные аномалии Аденского залива продолжают на запад и охватывают южную часть треугольника Афар.

Особенности геологического строения и развития треугольника Афар стали известны благодаря работам П. Мора, Г. Тазиева и других ученых. Оказалось, что здесь в настоящее время активизируются вулканы, об-

разуются многочисленные трещины, растяжения, землетрясения и что состав вулканических продуктов (например, молодого вулкана Эрта-Але) занимает промежуточное положение между типичными базальтами, слагающими срединно-океанические хребты, и базальтами материковых рифтов. В этом месте сопрягаются сейсмические пояса Восточной Африки, Красного моря и Индийского океана. В результате чего здесь образовалась сложная геологическая структура тройного соединения. Каждый сейсмический пояс является **дивергентной** границей литосферных плит, вдоль которых идут или процессы раздвижения (Красное море, хребет Карлсберг в Индийском океане), или растяжения (Восточная Африка).

Предполагается, что в Индийском океане раздвижение дна началось 125—150 млн. лет назад, в Красном море — 25 млн. лет назад, а в рифтовой зоне Восточной Африки глубинные процессы еще не привели к разрыву сплошности коры, хотя растяжение земной коры продолжается по меньшей мере 20 млн. лет. Поэтому положение треугольника Афар интересно как раз тем, что здесь можно наблюдать процессы постепенного перехода растяжения зем-

*Рельеф дна Евразийского бассейна Северного Ледовитого океана и северной Атлантики. На карте хорошо видна осевая рифтовая впадина и система поперечных разломов. Хребет Ломоносова (2) представляет собой отгоргнувшую и погружившуюся часть материка Евразии вследствие расширения океанического дна. Хребет Менделеева (3) — древнее, срединное океаническое поднятие. На карте косой штриховкой показано вероятное продолжение рифтовой структуры хребта Гаккеля (1) в пределах центральной части моря Лаптевых и прилегающей суши*

ной коры к той стадии, когда происходит ее разрыв и начинается раздвижение.

Какова же причина трех стадий рифтогенеза — внедрения мантии в земную кору, растяжения и последующего ее раздвижения?

#### РАЗГАДКА ОБРАЗОВАНИЯ РИФТОВ

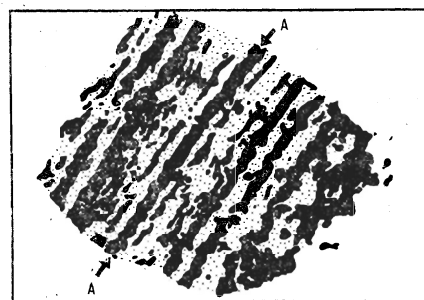
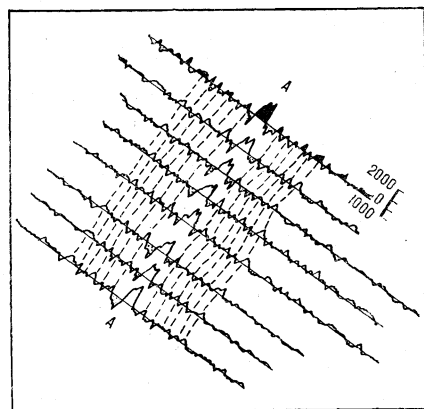
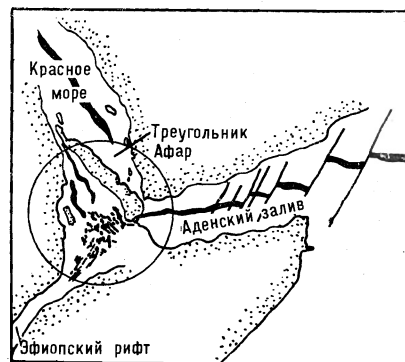
В 1962 году американский геофизик К. Кук обратил внимание на то, что в рифтовых зонах строение верхней мантии необычно. Здесь не удается наблюдать границу раздела Мохорoviича со скоростью продольных сейсмических волн 8,1 км/сек. Ниже базальтового слоя в рифтах располагается слой со скоростями упругих волн 7,3—7,8 км/сек. Это много для земной коры, но слишком мало для мантии, что и вынудило К. Кука назвать этот слой слоем коромантийной смеси.

Слой коромантийной смеси характерен как для материковых, так и океанических рифтов. В материковых рифтах кровля этого слоя располагается на глубине 20—35 км, а в океанических — на глубине 5—7 км. Мощность там, где она установлена, достигает 20—25 км. Есть еще две важные особенности этого слоя. Во-первых, его подошву не всегда можно выявить, а иногда она и вовсе отсутствует, во-вторых, поперечные границы слоя совпадают с аналогичными границами рифтовых зон на поверхности. Приведенные факты показывают, что между слоем коромантийной смеси и образованием рифтовых областей существует какая-то связь. Ее нужно искать в физических свойствах этого слоя.

Пониженные значения скоростей сейсмических волн в слое коромантийной смеси свидетельствуют о разуплотнении веществ и о том, что слой коромантийной смеси легче, чем вмещающая мантия, где скорости сейсмических волн значительно больше. Такое состояние, когда легкий материал находится под более тяжелым, неустойчиво, и для восстановления гравитационного равновесия он должен подняться, «всплыть». Расчеты показывают, что при мощности слоя коромантийной смеси в 20—25 км и разнице его плотности с вмещающей мантией в 0,15—0,20 г/см<sup>3</sup> всплывающий слой приподнимет земную кору на 1,5—2,0 км.

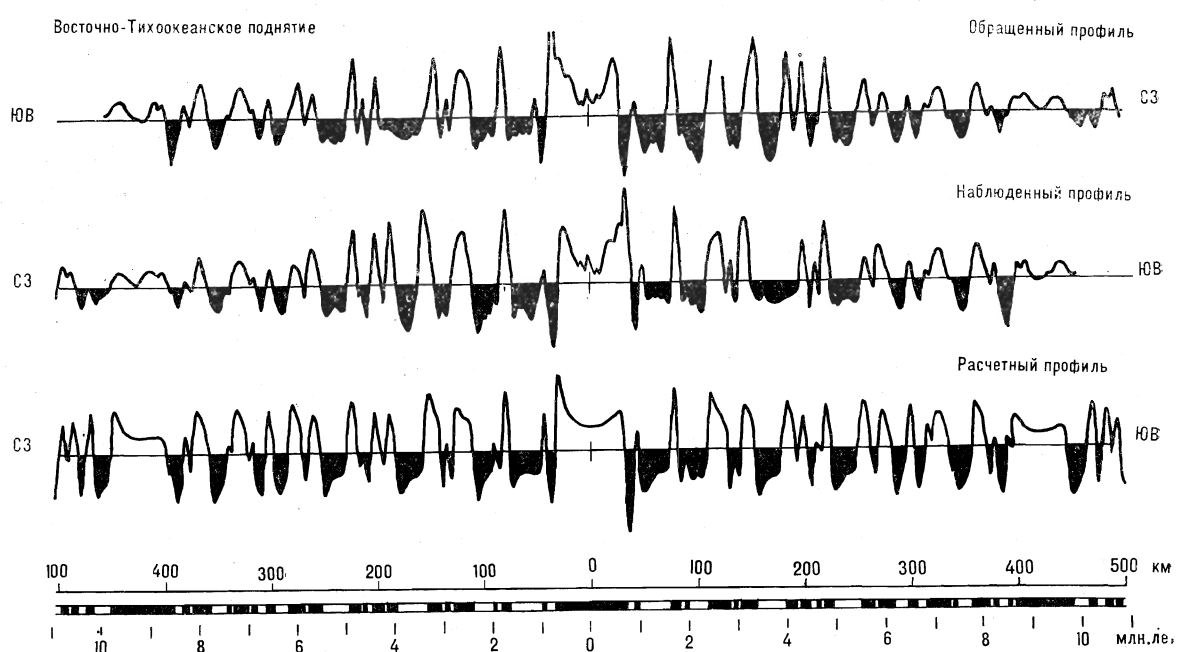
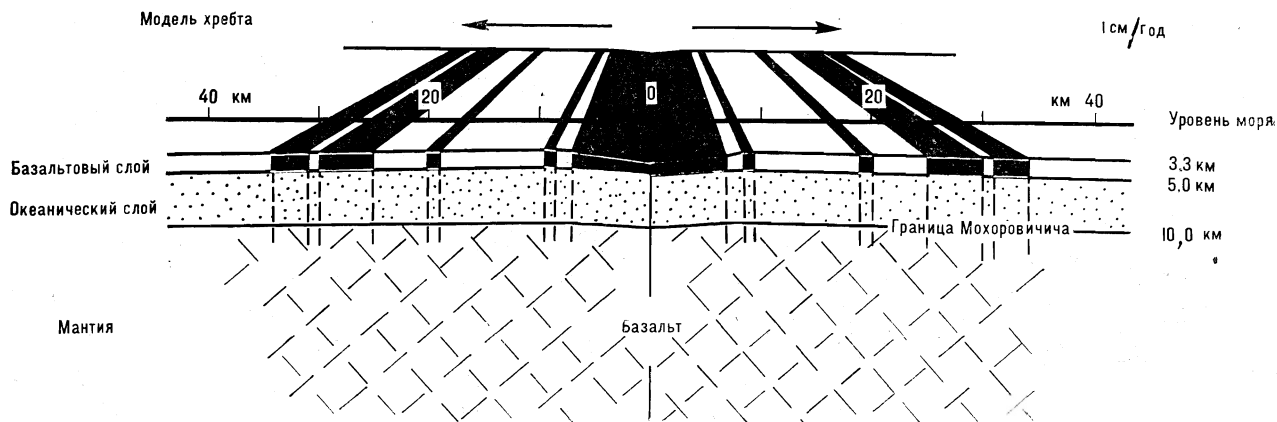
Слой коромантийной смеси обладает также повышенной тепло- и электропроводностью. Например, под озером Байкал на глубине около 40 км (кровля слоя) температура превышает 1000° С. Весьма вероятно, что вещество в слое коромантийной смеси близко к состоянию плавления, и этим объясняется его повышенная пластичность и меньшая вязкость по сравнению с вмещающей нормальной мантией. Всплывание слоя происходит до некоторого предела, ибо, встречая сопротивление жесткой коры, он должен «ползти», вызывать растяжение земной коры. Подобный процесс можно наблюдать в природе непосредственно: именно так растекается пластичная соль при прорыве вмещающих пород.

Можно допустить, что рифтовая впадина — следствие процесса всплывания и расползания коромантийной смеси. Однако не все срединные хребты имеют осевой рифт. Например, на большей части Восточно-Тихо-



Положение впадины Афар, имеющей форму треугольника («треугольник Афар»), относительно Красного моря, Аденского залива и Эфиопского рифта. Черным цветом показаны те участки, где идет зарождение новой океанической коры

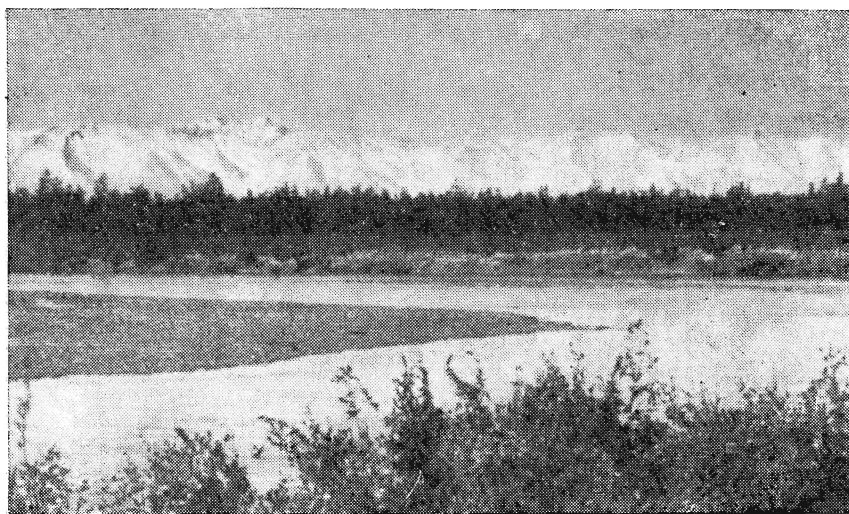
Магнитные аномалии в районе хребта Рейкьянес, расположенного к юго-западу от Исландии. На верхнем рисунке — восемь профилей,



перпендикулярных оси гребня и равноудаленных друг от друга. Отчетливо видна положительная осевая аномалия (А) шириной около 40 км, с амплитудой 3000γ. С каждой стороны от оси расположены шесть аномалий с амплитудой от 500 до 1000γ и шириной около 15 км. На нижнем рисунке — карта аномального магнитного поля того же участка с удивительной параллельностью положительных (черные) и отрицательных (белые) магнитных аномалий относительно осевой аномалии (А)

Схема образования океанической коры в зоне гребня срединно-океанического хребта при скорости раздвижения океанического дна 1 см в год. За 1 млн. лет величина горизонтального перемещения составит 10 км (верхняя часть рисунка). Внизу — профиль аномального магнитного поля Восточно-Тихоокеанского поднятия вместе с тем же профилем в обратном направлении (с юго-востока на северо-запад), демонстрирующим его симметрию

океанского поднятия рифтовой впадины нет или она выражена очень слабо; нет осевого рифта и на отдельных участках Срединно-Атлантического хребта (хребет Рейкьянес). Чем объяснить этот факт? Некоторые исследователи связывают наличие рифта или его отсутствие с разной скоростью разрастания океанического дна. При большой скорости (6—9 см в год) осевой рифт не возникает, например, на Восточно-Тихоокеанском поднятии.



## ГИПОТЕЗА И НЕКОТОРЫЕ ФАКТЫ

В основе всех представлений, о которых здесь было рассказано, лежит принимаемая априори идея о том, что срединно-океанические хребты есть следствие разрастания океанического дна и что они существуют с самого начала образования океанов. Однако имеются данные, несовместимые с этой точкой зрения. Так, на земном шаре можно выделить несколько молодых зон разрастания океанического дна, где срединный хребет отсутствует. К их числу относятся Галапагосская зона и Красное море.

По мнению Г. Менарда, не удается найти связь между скоростью разрастания океанического дна и высотой срединных хребтов. В то же время Дж. Склейтеер считает, что можно установить зависимость между высотой хребтов и возрастом океанического дна. Есть еще одно противоречие. Глубоководное бурение в Атлантическом океане показало, что рост Срединно-Атлантического хребта начался в конце эоцена или начале олигоцена (около 30 млн. лет назад), но его современный морфологический облик как горного сооружения связан с интенсивным поднятием, датированным 6 млн. лет назад.

Эти данные показывают, что развитие срединно-океанических хребтов либо никак не связано с разрастанием океанического дна, либо хреб-

ты появились на заключительной стадии процесса. Интересные результаты французского астронома Н. М. Стойко, который, изучая вариации долготы за последние 50 лет, пришел к выводу, что Северная Америка и Европа в настоящее время сближаются, а не расходятся!

## ПРИРОДА СЛОЯ КОРОМАНТИЙНОЙ СМЕСИ

Сопоставляя между собой геофизические данные, а также выводы различных исследователей о формировании рифтовых зон, мы вновь обратимся к анализу свойств коромантийной смеси. Казалось бы, выяснение природы этого слоя лучше отложить до получения образцов мантии в результате сверхглубокого бурения. Однако есть иной путь — изучение перidotитовых включений, которые довольно часто встречаются в щелочных базальтах вблизи центров излияния вулканической лавы. Большинство исследователей сейчас согласны с тем, что мантия Земли имеет



*Момский рифт. Общий вид на разлом, отделяющий хребет Черского от Момской впадины, на переднем плане — река Мома.*

перidotитовый состав. Относительно же происхождения перidotитовых включений в базальтах мнения разные. Согласно одной точке зрения, эти породы — тугоплавкий остаток первичного мантийного вещества, образующийся после выплавления базальтов; согласно другой, — включения являются первичным перidotитом мантии, из которого могут выплавиться базальты.

При исследовании Байкальской рифтовой зоны автором были обнаружены перidotитовые включения в базальтах хребта Удокан (Становое нагорье). По своему минеральному и химическому составу они относятся к ультраосновным породам, найденным в различных вулканических районах Земли, — лерцолитам. (Лерцолиты — разновидность перidotита, состоящего из оливина, пироксена и шпинели.) Как же попали эти включения в Байкальский рифт? Вероятнее всего, они вынесены из слоя коромантийной смеси при подъеме магмы на поверхность. Если бы удалось экспериментально доказать, что из включений лерцолитового состава можно выплавить базальты, тогда бы наши знания о природе слоя коромантийной смеси существенно обогатились.

Недавно автору и сотруднику Института физики Земли АН СССР Ю. С. Геншафту в результате экспериментального плавления лерцолитовых включений Байкальского рифта удалось получить при температуре 1350° и давлении 25 килобар базальты, обогащенные кальцием. Выплавки изучались с помощью электронного микроскопа. Оказалось, что степень плавления довольно высока — до 50%, причем зоны плавления в ис-

ходном веществе образуют систему нешироких (до 2—3 мк) полос. Таким образом, этот эксперимент вместе со всеми вышеприведенными данными позволяет рассматривать слой коромантийной смеси как зону, где рождается базальтовая магма. В этой зоне первичное мантийное вещество находится в стадии частичного плавления, и выплавленный базальт образует включения. Вот почему здесь понижаются скорости сейсмических волн. Ведь давно замечено, что сейсмические волны в перидотитах и базальтах распространяются неодинаково. Некоторое же среднее значение соответствует величине скорости во всем слое.

### ЗАМЫКАЮТСЯ ЛИ РИФТОВЫЕ ЗОНЫ?

Для обсуждения этого вопроса уместно обратиться к Байкальской рифтовой зоне, которую обычно рассматривают как замкнутую область, не связанную с мировой рифтовой системой.

Примерно к концу 1966 года, то есть еще до появления гипотезы тектоники плит, автор пришел к заключению о том, что если срединно-океанический хребет существует, то он должен иметь продолжение в виде материкового рифта. Когда стало очевидным, что хребет Гаккеля в Северном Ледовитом океане имеет все признаки срединно-океанических хребтов, необходимо было найти его материковое продолжение. В том же 1966 году автор этой статьи при составлении «Карты новейшей тектоники Арктики» показал, что наиболее вероятным продолжением океанической рифтовой зоны может быть Мо-

мо-Селеннянская впадина в горной системе хребта Черского (северо-восток СССР). Полевые исследования, а также анализ других данных выглядят убедительно.

Развитие рифтовой системы в Арктике представляется следующим образом. Около 50 млн. лет назад началось формирование Евразийского бассейна, то есть части Северного Ледовитого океана к западу от хребта Ломоносова. Не ранее 15 млн. лет назад появился хребет Гаккеля. Вероятно, этот хребет — один из наиболее молодых фрагментов мировой рифтовой системы и его развитие энергично продолжается сейчас. Изучая структуру дна моря Лаптевых, можно обнаружить и здесь продолжение рифтовой структуры хребта Гаккеля. А на суше эта область сочленяется с Момской рифтовой зоной, что дает возможность провести границу между Северо-Американской и Евразийской литосферными плитами. Дальнейшее продолжение такой границы имеет прямое отношение к проблеме связи Момской и Байкальской рифтовых зон. Возникает вопрос: насколько правомерно рассматривать Байкальский рифт как замкнутую область?

Система разломов, отделяющая Сибирскую платформу от Байкальской рифтовой зоны, тянется до побережья Охотского моря. Можно провести почти непрерывный пояс высокой тектонической активности и сейсмичности, соизмеримый по своей протяженности с системой Восточно-Африканских разломов. Продолжение границы плит литосферы западнее озера Байкал представляется весьма любопытным. Дело в том, что

растяжения в области очага Мондинского землетрясения происходят не поперек простирания впадины, как полагается в типичном рифте, а вдоль него. По нашему мнению, сжатие в западной части Тункинской впадины, вблизи высокогорного массива Мунку-Сардык (высочайшая вершина Восточных Саян), можно объяснить, если представить эту зону как область тройного соединения, напоминающую треугольник Афар.

В районе массива Мунку-Сардык сходятся три сейсмических пояса: Тункинский, Косогольский и Саяно-Тувинский. Поселок Монды, где расположен эпицентр землетрясения, как раз находится между двумя зонами растяжения земной коры, поэтому здесь будут развиваться напряжения сжатия. Естественно считать массив Мунку-Сардык структурой, образовавшейся в обстановке сжатия земной коры, подобно массиву Рувензори в Африке. Косогольская ветвь Байкальской рифтовой зоны, по-видимому, не имеет продолжения к югу от озера Косогол. А вот Саяно-Тувинская зона, по новейшим сейсмическим данным, может быть продолжена на запад по линии, уходящей в Среднюю Азию и на юго-западе разделяющей Иранскую плиту от Индостанской.

На основании некоторых особенностей строения и развития рифтовых областей Земли можно прийти к выводу, что процесс образования рифтов в целом определяется появлением в верхней мантии области частичного плавления. Всплывание и последующее растекание пластичного и менее вязкого, чем земная кора, слоя коромантийной смеси вызывает изостатическое поднятие поверхности земной коры и последующее растяжение. На некотором этапе этот процесс приводит к разрыву материковой коры и началу раздвижения дна океана.

## ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ РАБОТЫ НА ПАМИРЕ В 1909 — 1912 ГОДАХ

В 1909 году Международный геодезический союз (ныне Международный союз геодезии и геофизики) предложил заинтересованным странам выполнить геодезические работы по соединению через Памир среднеазиатской триангуляции России с триангуляцией Индии. Предполагалось, что такое соединение поможет уточнить форму и размеры Земли. Кроме того, эти работы должны были лечь в основу географического изучения малоисследованного в то время высокогорного района Памира.

Работы по соединению триангуляций двух стран выполняли русские и английские геодезисты, продвигаясь навстречу друг другу. Англичанами руководил молодой инженер, лейтенант Г. Белл, русскими — офицер Корпуса военных топографов М. Чейкин.

Русская экспедиция начала измерения в том же году от города Ош. К концу 1909 года геодезисты преодолели Алайский хребет и прошли до Алайской долины, где протекает река Кызылсу. Далее новый триангуляционный ряд должен был пересечь малодоступный Заалайский хребет и вступить в горные пустыни Памира. Из-за большого расхождения английских и русских карт дальнейшее направление могла указать лишь совместная рекогносцировка.

В 1910 году русская экспедиция продолжила свои работы от селения Бордебе, у подножья Заалайского хребта. Экспедиция штурмовала хребет, и на горных вершинах в окрестности перевала Кызыларт, на высотах около 5000 м были воздвигнуты деревянные триангуляционные знаки, заложены долговременные центры и произведены высокоточные угломерные наблюдения. Триангуляционный ряд состоял из простых треугольников со средней длиной сторон от 7 до 12 км. Максимальная длина стороны достигала 39 км. Горизонтальные углы измерялись шестью круговыми приемами с помощью 10" теодолита Гильдебрандта, а взаимные

зенитные расстояния измерялись тремя-четырьмя приемами. Все наблюдения производились на предметные визирные цели. В ходе работы участники экспедиции спустились к берегам реки Маркансу и, переходя от одного пункта триангуляции к другому, преодолели перевал Акбайтал, завершив в конце сентября первую треть своих работ у поста Памирского на реке Мургаб.

В 1911 году русские геодезисты вынуждены были строить пирамиды высотой 6—9 м и выполнять угловые измерения на вершинах с отметками более 5000 м.

Наконец, в 1912 году должна была состояться триангуляционная связь и встреча с англичанами. В этом же году измерили Памирский базис, расположенный на высоте 4000 м. 31 мая из города Ош выступил большой караван — лошади и верблюды, навьюченные инструментами, продовольствием и пиломатериалами для сооружения специальных базисных платформ. Через полмесяца караван прибыл на место измерения. Вскоре пришло сообщение, что отряд индийских и английских геодезистов во главе с лейтенантом Белом находится у перевала Беик. Встреча, намеченная на 27 июня, произошла среди снежных гор точно в назначенный день в 9 часов утра.

Расчистка трассы базиса, сооружение базисных настилов, расстановка и нивелирование целиков завершились в начале июля. Линейные измерения проводились тремя инварными проволоками с 4 по 15 июля. В этот период была измерена базисная сторона длиной 8,4 км с относительной ошибкой всего 1:3 485 000. Тогда же выполнены астрономические наблюдения на одном из концов базиса и сооружена пирамида на горе Беик — наивысшей точке ряда, имеющей отметку 5263 м. После выполнения наблюдений на этом пункте связь с индийской триангуляцией была установлена.

В труднейших физико-географических и климатических условиях рус-

ские люди проявили патриотизм, мужество и высокое чувство верности долгу. Они успешно и без человеческих жертв завершили свою часть работ. Англичане дорогой ценой заплатили за установление триангуляционной связи через Памир: в 1911 году в ледниках Гиндукуша погибли трое рабочих-индусов, в 1912 году на триангуляционном пункте молнией убило одного помощника Белла, а другого сильно изувечило. Не перенеся трудностей, 18 июля 1912 года скоропостижно скончался в лагере у перевала Минтеке и сам Белл.

Окончательно все работы, связанные с обработкой материалов Памирского триангуляционного ряда и составлением отчета, завершились в 1914 году. Недавно геодезическая общность СССР отметила 60-летие успешного завершения труда наших соотечественников. К сожалению, эти работы с течением времени потеряли свою научную ценность и теперь имеют лишь историческое значение, напоминая о поистине героическом трудовом подвиге русских геодезистов в интересах науки.

Кандидат технических наук  
И. С. ПАНДУЛ

## НОВЫЕ КНИГИ

### СЕЙСМОЛОГИЯ СЕГОДНЯ И ЗАВТРА

В 1974 году издательство «Знание» выпустило в свет брошюру Н. В. Шебалина «Сейсмология — наука о землетрясениях», которая вводит читателя в творческую лабораторию ученого, позволяет проникнуть в суть науки и логику ее развития, показывает взаимные связи различных научных направлений и их взаимную обусловленность.

Брошюра посвящена в основном сильным землетрясениям. «Что разрушает здание?», «В погоне за катастрофой», «Парадоксы сильных землетрясений», «Реальные опасности и надуманные страхи при землетрясениях» — вот характерные названия ее глав и параграфов.

Автор рассказывает не только о том, что вошло в повседневную практику сейсмологии, он описывает новые методы и подходы, еще неизвестные большому кругу геофизиков. Это касается, в частности, полученных под руководством Н. В. Шебалина результатов по изучению очага разрушительного Дагестанского землетрясения 14 мая 1970 года, методики составления карт сейсмической опасности Балкан, оптимизации систем наблюдений и ряда других результатов, полученных автором брошюры.



## Вулканы и современные движения земной коры

ВОЗМОЖЕН ЛИ ПРОГНОЗ ИЗВЕРЖЕНИЙ?

Для большинства людей в Старом и Новом свете вулканы — это лишь экзотические картины, особенно впечатляющие, когда они сняты на цветную пленку; для жителей многих вулканических районов — это бедствие, грозящее постоянно, наступающее внезапно и неотвратимо. Для вулканологов и геофизиков — поле исследований, изредка героических, долгие годы будничных. Интерес населения и прессы к вулканам возрастает обычно во время извержений и катастроф, внимание же специалистов приковано к вулканическим процессам всегда.

Извержения только кажутся внезапными, на самом деле они имеют период скрытой подготовки. В последние годы особое внимание ученые уделяют изучению циклов вулканической активности и, в первую очередь, подготовительному периоду извержений. Давно замечено, что при извержениях и после них меняются не только контуры, но и абсолютные высоты вулканов. Высокоточные инструментальные измерения показали, что изменения высот поверхности в вулканических районах закономерны. Этот факт обнадеживает геофизиков, рассматривающих современные движения земной коры в вулканических районах как предвестники готовящихся извержений. За последние 10—20 лет в этой области знаний заметны очевидные успехи. Исследования идут в разных странах — Советском Союзе, Японии, США, Италии, Исландии, Новой Зеландии. Используются точные методы фиксации движений —

**Из 600 действующих вулканов Земли ежегодно дают о себе знать в среднем 20—30. Продолжаются поиски предвестников извержения вулканов.**

частые высокоточные повторные нивелировки, триангуляция, светодальномерные измерения и записи наклонов земной поверхности.

### ДРЕВНЕРИМСКИЙ ХРАМ НА ОГНЕДЫШАЩЕЙ ЗЕМЛЕ

Во многих работах по геологии и тектонике — от «Основных начал геологии» Ч. Лейеля (1833 г.) до современных учебников — в качестве примера вертикальных колебательных движений земной коры приводятся погружения и поднятия храма Сераписа в заливе Поццуоли, на итальянском берегу Тирренского моря. Игрой природы храм божества, олицетворяющего умирание и воскресение, сам неоднократно погружался в воды Средиземного моря и вновь подымался к солнцу.

Залив Поццуоли — западная часть Неаполитанского залива и одновременно неаполитанского вулканического района. На востоке его воздымается действующий вулкан Везувий. Он поднялся со дна моря около 12 тыс. лет назад и означает своими извержениями с 63 года н. э. Между Везувием на востоке и вулканическими островами на западе лежат Флегрейские поля (лат. «Campi flegrei» — огненные, горячие поля). Это — вулканический очаг с группой небольших кратерных конусов, сернистых и горячих водных источников. На суше поля ограничены вулканотектоническими разломами; всюду заметны следы молодой и активной вулканической

деятельности в виде шлаковых и туфовых конусов, кратерных озер, сернистых источников. Один из конусов — Монте-Нуово (Новая гора) возник в 1538 году, поднявшись на высоту 139 м в результате выброса шлаков и туфа. Предполагают, что Флегрейские поля — это обрушившийся и частично затопленный вулкан. Именно на этом ровном и казалось бы спокойном участке, а в сущности — на вулкане, не имеющем привычной формы конуса, и был воздвигнут во II веке до н. э. храм Сераписа в честь одного из божеств эллинистического Египта. Вскоре после постройки сооружение начало погружаться в воды Неаполитанского залива. Об этом свидетельствует второй уровень пола, который на 46 см выше первоначального, а также сохранившиеся на этом уровне архитектурные элементы вокруг трех колонн высотой 12 м. В дальнейшем, возможно при извержении Везувия в 79 году н. э., все основание храма до высоты 3,6 м было засыпано вулканическим пеплом. Опускание колонн продолжалось, и они погрузились в море уже на 6,3 м над уровнем второго пола. До этой отметки на колоннах заметны следы сверлящих моллюсков, а кое-где и раковины самих моллюсков, уцелевших от разрушения временем и любознательных туристов, которые увозят раковины как редкие сувениры. В 1714 году колонны и первоначальный пол оказались над уровнем моря. Они были замечены и раскопаны.

Латинские хроники свидетельствуют, что равнина, на которой стоял храм, была сушей. Но, согласно средневековым описаниям, здесь уже плеска-



лось море, доходившее до подножия крутого обрыва, а на берегу находились руины одной из вилл Цицерона. Факт более позднего поднятия и осушения местности к концу XV века подтверждается документом 1498 года на право владения землей в Поццуоли испанской королевской четой. Вполне вероятно, что окончательное поднятие совпало с извержениями близлежащих мелких кратеров около 1500 года и с возникновением в 3 км к западу от Поццуоли вулкана Монте-Нуово. По свидетельству Ч. Лейеля, в 1836 году верхний пол храма погрузился в воду. В 1878 году основание колонн находилось ниже уровня моря на 65 см, в 1913 году — на 153 см, а в 1933 — на 205 см. (Профессор Г. П. Горшков в 1954 году видел колонны затопленными уже на 250 см.)

Геологическими признаками затопления равнины, на которой располагается храм, служат слои морских осадков с современными раковинами и остатками морских животных. Под морскими отложениями на равнине вскрыта древняя почва с множеством мелких изделий из бронзы и керамики римского периода. Так, археологические материалы, исторические документы и геологические признаки говорят об одном и том же — о колебательных вертикальных движениях суши на участке Флегрейских вулканических полей.

Современные движения земной коры в районе Поццуоли исследуются методом повторного нивелирования. Точные измерения показали, что в период с 1953 по 1970 год этот участок поднялся максимум на 85,7 см относительно точки, удаленной на 4 км к востоку. Особенно активное

поднятие началось в октябре 1969 года, и именно с ним связано замеченное в конце февраля 1970 года расщеливание каменных стен в Поццуоли и активное выделение пара в ближайшем кратере Сольфатара. Скорость движения участка неравномерна, и наши представления о ней зависят от частоты наблюдений. Средняя величина скорости поднятия оценивается 5 см в год, фактически только за 6 месяцев конца 1969 и начала 1970 года она превысила 86 см в центре поднятия. Сходное импульсное поднятие на 80 см в пределах восьмикилометрового участка вдоль северного берега острова Пантеллерия (между Сицилией и Тунисом) наблюдалось в 1891 году одновременно с происходившим вблизи подводным извержением. Можно полагать, что в вулканическом районе Флегрейских полей на фоне колебательных движений выделяются кратковременные периоды резкого ускорения — импульсы активизации. Они, очевидно, связаны с вулканическими явлениями, однако длительность и детальность инструментальных наблюдений здесь еще недостаточны для прогноза. Более полные результаты получены в Тихоокеанском вулканическом кольце.

#### ТИХООКЕАНСКИЕ ВУЛКАНЫ

По окраинам Тихого океана сосредоточено 380 действующих вулканов. Однако взять под контроль удалось только небольшую часть их: отдельные вулканы Японии, Камчатки, Новой Зеландии, а за пределами кольца — вулканы Гавайских островов.

В Японии точные измерения высоты и местоположения некоторых вулка-

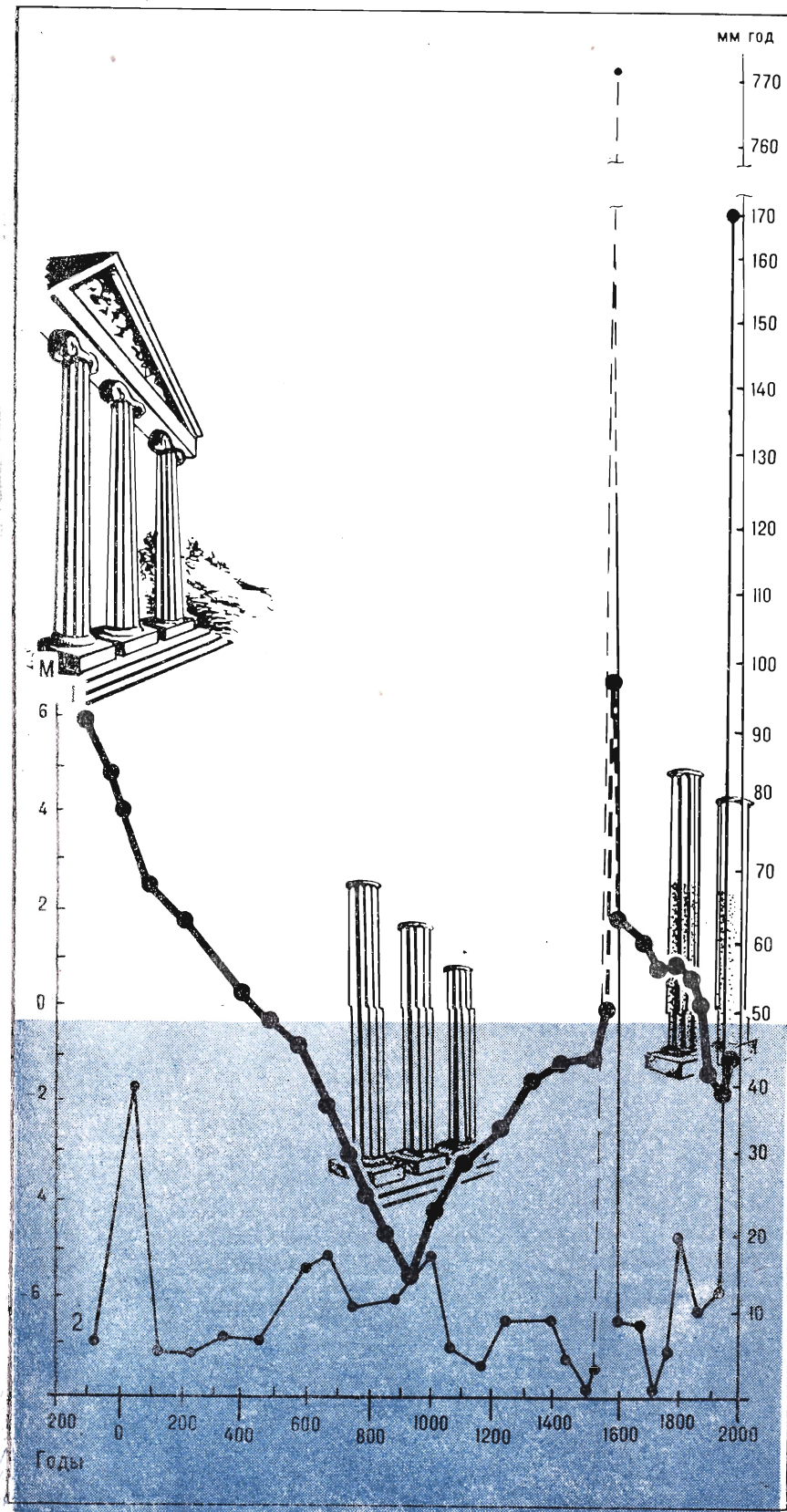
нов проводятся с 1895 года. Наиболее удивительно местное поднятие на острове Хоккайдо, которое произошло при извержении вулкана Усу в 1910 году. Участок размером  $3 \times 0,75$  км за несколько месяцев поднялся на 155 м, а затем опустился на 95 м, между тем как среднегодовая скорость на берегах Хоккайдо за последние 70 лет не превышает 2—6 мм в год. В 1944—1945 годах вблизи вулкана Усу на ровном возделанном поле заметили куполообразное вздутие, которое в течение года «выросло» до 490 м и сдвинулось вбок почти на 2 км. Суточный сдвиг составлял около 1,5 м.

Очень показательны наблюдения за вулканом Сакурадзима, образующим небольшой островок. Этот четвертый из вулканов мира по активности в текущем столетии (Карымский, Ключевской, Пито-де-ля-Фурнес, Сакурадзима) извергался около 20 раз. После сильного извержения в 1914 году конус вулкана погрузился максимально на 1 м, а его кратер сузился на 4,5 м. В течение нескольких последующих десятилетий поверхность вулкана поднялась над окружающей местностью до нового извержения в 1946 году, которое сопровождалось очередным опусканием. С 1955 года японские ученые стали проводить ежегодные нивелировки местности у подножия вулкана, вдоль побережья

■ *Флегрейские вулканические поля на берегу Неаполитанского залива и храм Сераписа близ Поццуоли. Пунктиром показана линия повторного нивелирования, цифрами — изменения высоты пунктов нивелирного хода за 1953—1970 годы (в сантиметрах)*







и по линии, ведущей к кратеру. Кроме того, самопишущие приборы непрерывно записывали наклоны поверхности вулкана. Измерения 1955—1970 годов установили неравномерные деформации поверхности вулкана, ежегодные изменения высоты по периметру вулкана колебались от  $-60$  до  $+100$  мм. Особенно тесной оказалась связь между вулканическими проявлениями (извержения, выбросы, дрожания) и движением ближайшего к кратеру репера. В годы максимальной активности вулкана (1960, 1964, 1967) высота репера изменялась на 2—8 см относительно положения в промежуточные малоактивные годы. Резкое и последовательное поднятие репера у подножия вулкана в течение 1957—1970 годов настораживало: можно было ожидать крупное извержение, и оно действительно произошло в конце 1972 года.

Японские исследователи выявили важную закономерность: извержение предваряется и сопровождается поднятием поверхности вокруг кратера и опусканием кольцеобразной полосы вокруг всего вулкана. После извержения происходят обратные движения: кратер опускается, а окружающий пояс приподнимается. Этот вывод подтверждают и другие наблюдения.

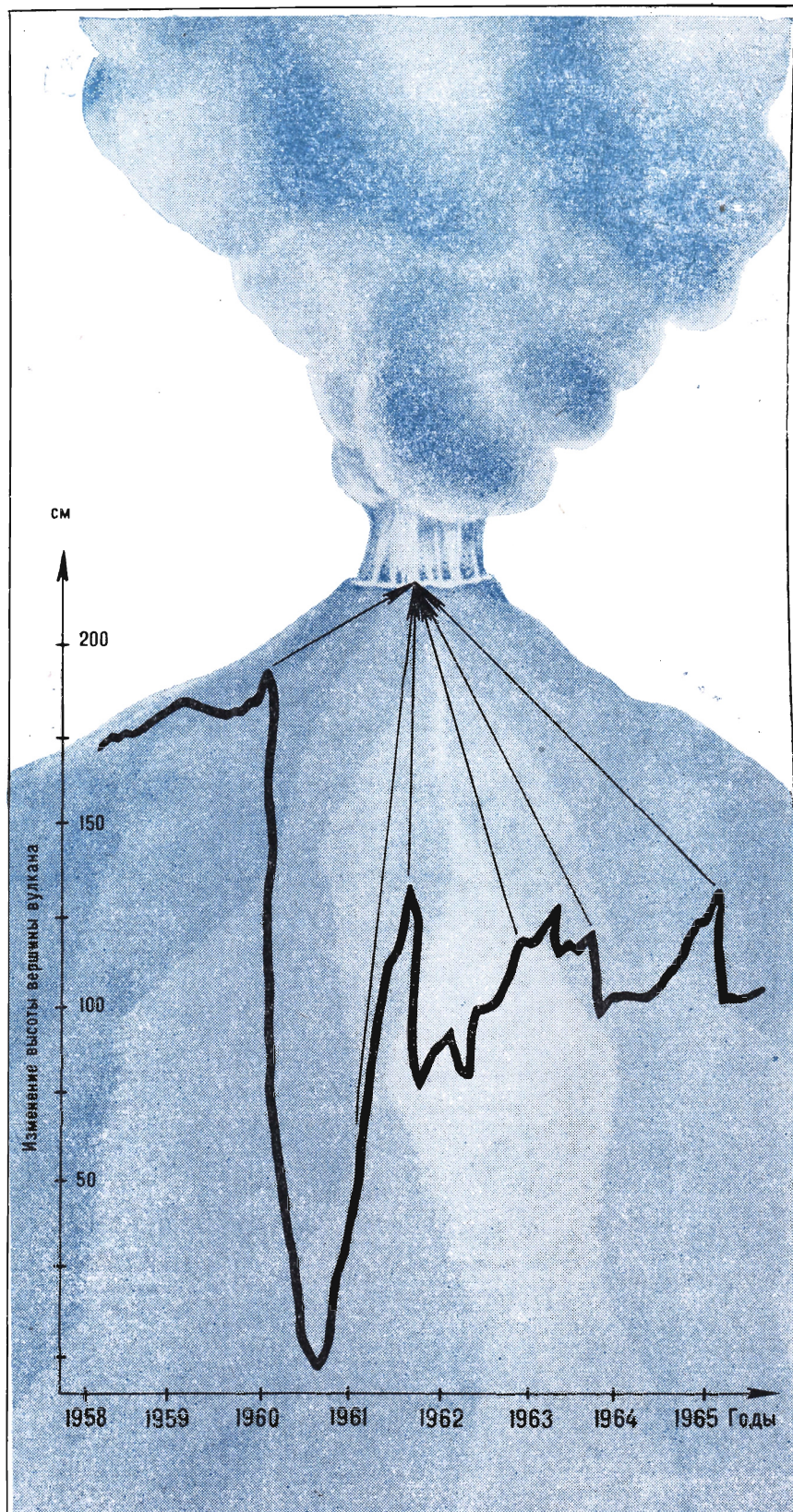
Интересные данные получены недавно в Новой Зеландии. Недалеко

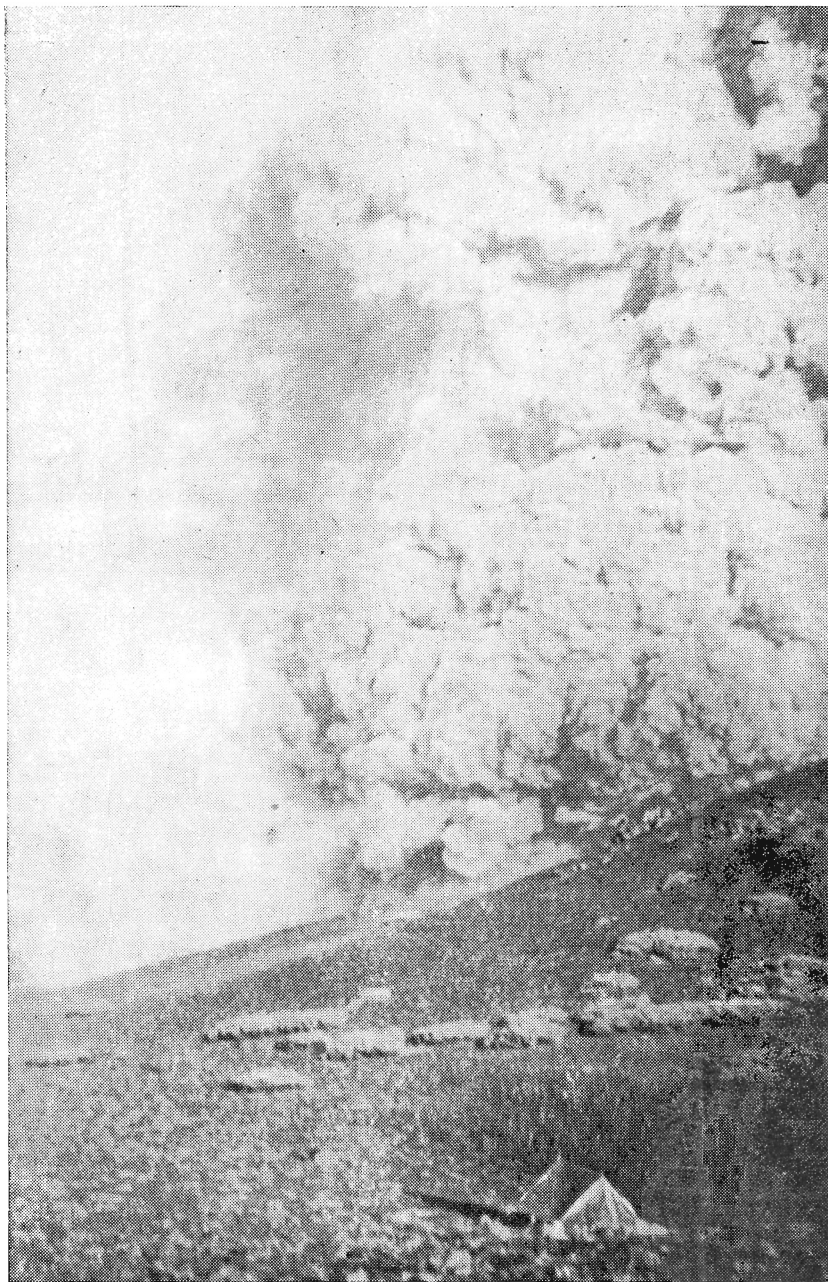
*Изменения высоты поверхности и основания храма Сераписа относительно уровня моря с 79 года н. э. и до настоящего времени. Широкой линией показано вертикальное движение поверхности, тонкой — изменение скорости движения*

от Северного острова из океана выступает островок Белый. Это — вулкан, кратер которого возвышается всего на несколько метров над уровнем моря. В 1966 году началась серия извержений этого вулкана. Нивелировки с июля 1967 года по декабрь 1969 года были выполнены 7 раз примерно с шестимесячными интервалами. За это время большинство реперов вокруг кратера изменило высоту, наиболее подвижными оказались реперы вблизи активных жерл. Перед извержением в январе 1968 года поверхность вспучилась, после извержения — опустилась. Наибольшая скорость поднятия за этот год составила 56 мм, опускания — 76 мм, между тем как скорость вековых тектонических движений Новой Зеландии не превышает 10 мм в год. Поэтому движения 1967—1969 годов можно считать вулканическими и, кроме того, имеющими колебательный характер.

На вулкане Килауэа (Гавайские острова) наблюдения ведутся с начала нашего столетия. Исследователи отмечают здесь большую величину смещений, циклический характер деформаций и их связь со стадиями вулканической деятельности. За 1921—1927 годы вулкан опустился на 4 м, а его кратер сократился в диаметре на 1,5 м, по-видимому, в связи с извержением 1924 года. В течение 1958—1967 годов периоды относительных

■  
*Колебания высоты вершины вулкана Килауэа (Гавайские острова) в 1958—1965 годах (широкая линия) и моменты его извержений (черные стрелки). Большинству извержений предшествовали поднятия, за извержениями следовали оседания*





■ Извержение вулкана Тятя на острове Кунашир (Курильские острова) 14—28 июля 1973 года. Пепловое облако поднялось на высоту 4—5 км, отдельные выбросы — на 8—9 км. Ученые Сахалинского комплексного научно-исследовательского института и Института вулканологии Дальневосточного научного центра вели интенсивные исследования во время извержения. На переднем плане — лагерь одного из отрядов

Фото Н. Н. Леонова

воздыманий длились от 2 до 22 месяцев, периоды опусканий — от 12 часов до 6 месяцев, скорость движений составляла многие десятки сантиметров в год. Почти все извержения здесь совпадают с поднятием вершины вулкана на десятки сантиметров, а спокойные периоды — с ее опусканием. Изолинии поднятия вулкана в период с 1966 года по октябрь 1967 года (между извержениями в январе 1965 года и ноябре 1967 года) были

концентрическими, выше остальных на 70 см поднялся участок вблизи кратера. Оказалось, что этот участок мигрирует на 1—2,5 км, что связывают с перемещением магматического очага или последовательным заполнением магмой камер и пустот в недрах вулкана.

В Советском Союзе есть единственная, но очень обширная активная вулканическая область — Курило-Камчатская. Не проходит и нескольких лет, чтобы из ее 66 действующих вулканов хотя бы один не напомнил о себе извержением или небольшими выбросами. А в 1972 году извергались сразу три вулкана Курильских островов. Наблюдения за современными движениями на Камчатке были начаты в 1962 году, когда в районе активного Авачинского вулкана, близ города Петропавловска-Камчатского, был проложен первый нивелирный ход. Уже повторные измерения 1963—1964 годов показали, что кратер поднялся по сравнению с подножием вулкана примерно на 1 м, а пункты на кромке кратера, удаленные друг от друга на 200—400 м, изменили превышение на 17—44 см. В то же время остаток старого вулкана (сомма) в юго-западной части действующего опустился относительно удаленных от вулкана пунктов максимум на 38 мм в год. Последующие ежегодные нивелировки подтвердили, что весь кратер поднимается, но окружающая его сомма опускается, в то время как пункты, удаленные от кратера на 17—20 км, сравнительно спокойны. Скорость движения поверхности вулкана на два порядка превышает скорость даже весьма активного разлома Кумроч в пределах



## **«ГОД АЙСБЕРГОВ» В АТЛАНТИКЕ**

центральной Камчатки. Относительные движения земной коры со скоростью около 50 мм в год вблизи кратера не сопровождались ни сейсмической, ни вулканической активностью. Возможно, для установления такой связи нужны более длительные наблюдения.

Ученые Дальневосточного центра Академии наук СССР начали детально и комплексно исследовать движения земной коры. Вся восточная Камчатка скоро покроется сетью геодезических пунктов, что позволит измерять вертикальные и горизонтальные движения в пределах самих вулканов (Ключевской и Авачинской групп, Карымского), а также на промежуточных территориях не реже одного раза в год с точностью не менее 1 мм на километр. Уже сейчас используются новейшие методы и приборы, в том числе высокоточные светодальномерные с лазерным устройством. Как показывает мировой опыт, от таких исследований можно ожидать полезных результатов.

### **ПУТЬ К ПРОГНОЗУ**

Вертикальные движения земной коры в окрестностях вулканов выражаются сантиметрами и десятками сантиметров, что намного превышает скорость движений в тектонически активных, но не вулканических районах. На фоне относительно равномерных движений нередко кратковременными импульсами происходят ускоренные смещения вулканов. Периодичность и направленность импульсных движений коррелируется с колебаниями вулканической активности. Это и позволяет искать в харак-

Непрерывные наблюдения за айсбергами во всем Мировом океане начались через два года после трагической гибели «Титаника» — с 1914 года. В Атлантическом океане среднее число айсбергов колеблется обычно от 300 до 400 за «сезон», длящийся с марта до конца июля. В 1972 году на акватории к югу от 52° с. ш., включающей всю Большую Ньюфаундлендскую банку, то есть на площади около 370 тыс. км<sup>2</sup> Международный ледовый патруль насчитал около 1600 плавающих ледяных гор. В первые два месяца 1973 года их количество также было беспрецедентно высоким. Общее число айсбергов в 1973 году составило 847.

Айсберги северного полушария, угрожающие мореплаванию в Атлан-

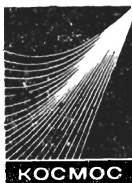
тере движений поверхности вулканов признаки готовящихся извержений. Действительно, в результате изучения Тихоокеанского региона учеными многих стран установлено, что за несколько лет, а иногда и месяцев до извержения начинается поднятие и концентрическое растяжение поверхности вулканов вблизи кратеров, а в процессе или непосредственно после извержения происходит ее резкое оседание. Эти данные вселяют надежду на то, что будет установлена связь внутренних и поверхностных вулканических явлений, что было бы чрезвычайно важно для прогноза извержений. И, может быть, не столь далеко время, когда о вулканах станут говорить, а главное — принимать спасательные меры прежде, чем «заговорят» сами вулканы.

тике, образуются главным образом на западном побережье Гренландии (на восточном — их значительно меньше) и затем выходят в океан через Баффинов залив и Девисов пролив. Здесь они подхватываются холодным Лабрадорским течением, доносящим некоторые из них до южных берегов Ньюфаундленда, где они встречаются с Гольфстримом. Этот путь протяженностью 1800 миль айсберги проходят за три года, и 95% их, как правило, разрушаются раньше, чем они достигнут районов оживленного судоходства.

Однако в течение нескольких лет до 1972 года в Гренландии стояли мягкие зимы и весны, поэтому количество ледяных гор, отделившихся от выводных ледников этого острова, резко возросло. Кроме того, необычные для данной области северо-западные ветры у берегов Лабрадора снизили температуру воздуха, и холодные течения проникли дальше к югу. В 1972 году холодное Лабрадорское течение прошло «внутрь» Гольфстрима, заметно понизив его температуру. Все эти обстоятельства существенно замедлили процесс разрушения айсбергов и предотвратили таяние морских плавающих льдов, которые обычно в форме плоских льдин примыкают к айсбергам и защищают их от разрушения морскими волнами.

Несмотря на обилие айсбергов, и в эти «рекордные» годы связанных с ними катастроф не произошло. Самолеты, а также специальные и обычные суда своим курсом обнаруживали и прослеживали ледяные горы. Все сведения передавали в штаб Международного ледового патруля в Говернорс-Айленде (штат Нью-Йорк). Полученные данные поступали в память специальной ЭВМ. Учитывая существующие атмосферные и океанографические условия, ЭВМ выдавала прогноз заблаговременностью в 12 часов с указанием ожидаемого местоположения айсберга, после чего предостережения сообщались по радио всем судам в этом районе.

«The Sciences», 14, 1, 1974.



Доктор технических наук,  
профессор  
М. А. КОЛОСОВ  
Доктор технических наук  
О. И. ЯКОВЛЕВ

## Радиоволны исследуют Солнечную систему

### РАДИОВОЛНЫ В КОСМОСЕ

Развитие техники дальней космической радиосвязи привело к созданию больших антенн, чувствительных приемников, передатчиков, излучающих высокостабильные частоты. Эта аппаратура принимает сигналы от маломощных передатчиков с расстояния в несколько сот миллионов километров. Анализ принятых на Земле сигналов позволяет с высокой точностью измерить скорость космических аппаратов, их дальность. Эти же сигналы несут и научную информацию.

Как всегда, когда появляются новые технические средства, открываются новые, иногда неожиданные возможности их использования. Радиолокация планет — метод исследования, основанный на отражении радиоволн, — уточнила наши представления о Солнечной системе. Советские ученые под руководством академика В. А. Котельникова определили точное значение астрономической единицы, установили период и направление вращения Венеры, изучили отражательные свойства поверхностей Луны, Марса и Венеры.

Полеты космических кораблей к Венере, Марсу и Луне позволили использовать эффекты распространения радиоволн для исследования Солнечной системы. При огромных дальностях полета в космическом пространстве даже весьма малые воздействия межпланетной плазмы, накапливаясь, могут оказывать влияние на распространение радиоволн. Радиоволны либо проходят через солнечную корону и планетные атмосферы, либо отражаются от поверхностей планет. Встречаясь с той или иной средой,

**Принимая на Земле радиосигналы с борта межпланетных станций серии «Марс», «Венера», «Луна», советские ученые исследуют космическое пространство и атмосферы планет.**

они изменяют амплитуду, частоту и другие характеристики. Эти изменения различны в разных средах, подобно тому как различно отражение света от полированной и неполированной поверхностей, поглощение света прозрачным и матовым стеклом, фокусировка или преломление света линзой или призмой. Поэтому, изучая характеристики распространяющихся или отражающихся радиоволн, можно определить свойства сред. На пункте космической радиосвязи все изменения характеристик радиоволн точно регистрируются. Так исследуют атмосферы, поверхности планет и Луны, межпланетную и околосолнечную плазму.

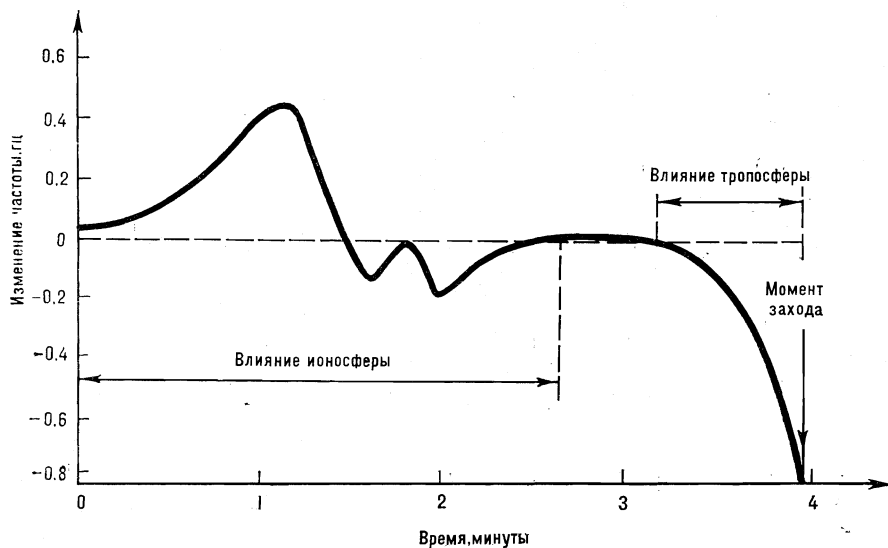
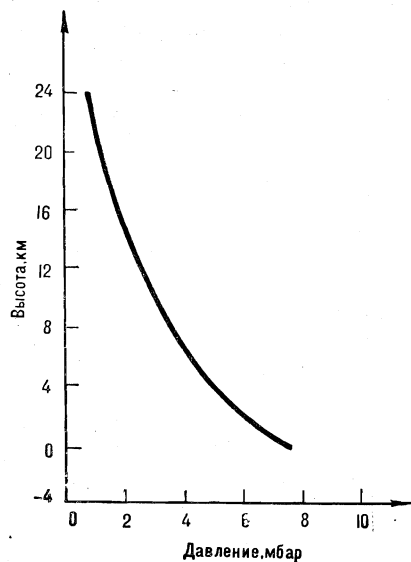
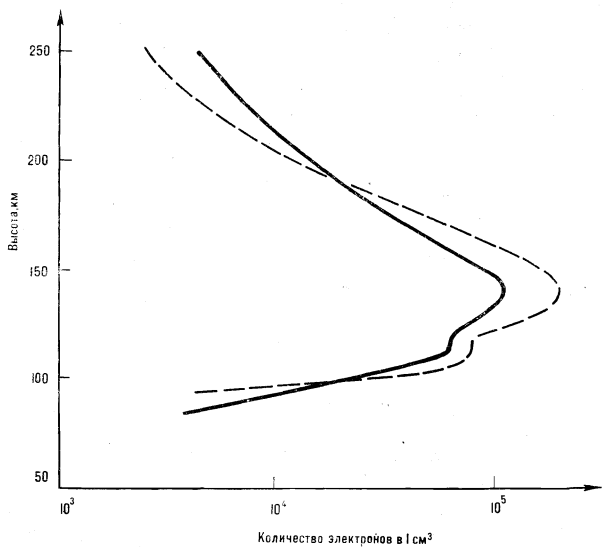
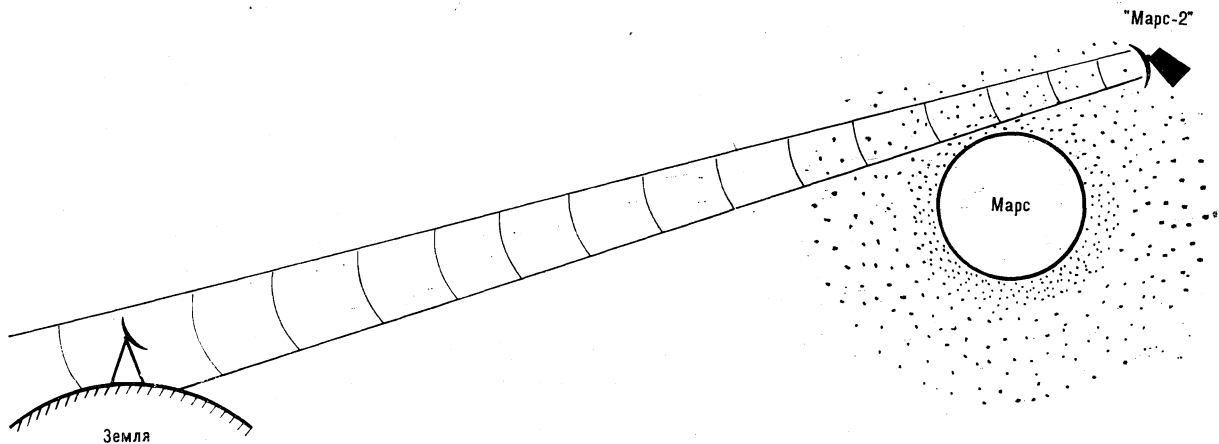
### АТМОСФЕРА МАРСА

Советская межпланетная станция «Марс-2» в ноябре 1971 года стала спутником Марса. Во время захода искусственного спутника за планету радиоволны просвечивали атмосферу Марса, производился как бы вертикальный «разрез» планетной атмосферы. Ее влияние сказывается на частоте и амплитуде радиоволны. Например, когда волны проходят сквозь верхнюю атмосферу планеты, на записях частоты появляются характерный максимум и два минимума. Такое поведение частоты обусловлено ионосферой Марса. Анализируя

изменения частоты, в ионосфере планеты определяют зависимость электронной концентрации от высоты.

Ниже ионосферы лежит тропосфера Марса. Когда осталось всего несколько секунд до захода спутника за планету, амплитуда радиоволн начала уменьшаться и сигнал пропал, поскольку аппарат скрылся от земного наблюдателя. Измерения частоты, а также данные о времени пропадания сигнала и составе атмосферных газов (в атмосфере Марса содержится главным образом углекислый газ) позволяют установить распределение давления в тропосфере планеты. Эти измерения проводились над экваториальными районами планеты во время марсианского дня.

Что же нового узнали ученые о строении атмосферы Марса? Ионосфера планеты простирается на высоте от 60 до 350 км. Она наиболее плотна на высоте около 140 км. По сравнению с земной, ионосфера Марса сильнее прижата к поверхности и примерно в 10 раз менее плотная. Нижняя часть атмосферы — тропосфера — очень разрежена. Так как во время измерений спутник «Марс-2» пролетал над районами, имеющими различную высоту относительно среднего уровня поверхности, то были получены разные величины приповерхностного давления: самое большое — над низкими районами Марса, а самое маленькое — над возвышенными. В среднем давление у поверхности планеты равно 7 мбар, то есть почти в 150 раз меньше, чем у поверхности Земли. Столь низкое давление в земной атмосфере наблюдается на высотах 30—40 км.

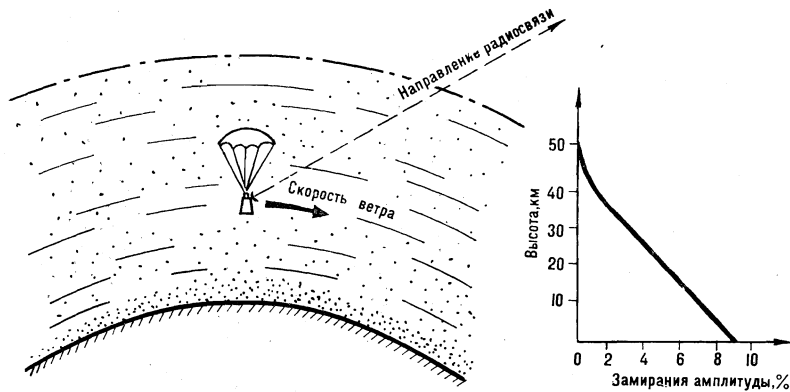


■  
Схема радиопросвечивания атмосферы Марса. Передатчик, установленный на искусственном спутнике, посылает радиоволны, которые проходят сквозь атмосферу планеты, претерпевая на своем пути изменения частоты и амплитуды

■  
Концентрация электронов в ионосфере Марса (сплошная кривая) и Венеры (пунктир). Ионосфера этих планет наиболее плотная на высоте около 140 км

■  
Зависимость давления от высоты в тропосфере Марса. Давление у поверхности равно 7 мбар

■  
Изменения частоты радиоволн в атмосфере Марса. В ионосфере их частота изменяется довольно резко, в тропосфере — постепенно уменьшается до тех пор, пока аппарат не скроется за диском планеты



Аналогичные исследования проводил и межпланетный зонд «Маринер-9», также вышедший на орбиту спутника Марса в ноябре 1971 года. Американские ученые сумели из данных радиопросвечивания атмосферы получить, кроме давления и электронной концентрации, сведения о температуре. Оказалось, что во время сильной пылевой бури, свирепствовавшей на Марсе в ноябре — декабре 1971 года, температура в тропосфере планеты не зависела от высоты. Когда же буря утихла и атмосфера очистилась от пыли, температура стала уменьшаться с увеличением высоты над поверхностью планеты. В экваториальных районах была зарегистрирована температура тропосферы от  $-20$  до  $-40^{\circ}\text{C}$ , а на полюсах от  $-90$  до  $-120^{\circ}\text{C}$ .

#### АТМОСФЕРА ВЕНЕРЫ

В 1967 году советские межпланетные станции начали планомерное исследование Венеры. Приборы, помещенные на спускаемые аппараты этих станций, непосредственно измеряли

**■**  
*Схема радиосвязи со спускаемым на Венеру космическим аппаратом. Ветры в атмосфере планеты перемещают аппарат, вызывая изменение частоты сигнала передатчика, установленного на космическом аппарате*

**■**  
*Увеличение замираний амплитуды радиоволн по мере погружения спускаемого аппарата в глубь атмосферы Венеры*

параметры атмосферы планеты. Первая межпланетная станция «Венера-4», запущенная 12 июля 1967 года, пройдя расстояние около 350 млн. км, в октябре 1967 года вошла в атмосферу Венеры и в течение полутора часов определяла давление, плотность, температуру и химический состав. Спускаемые аппараты «Венеры-5, -6, -7 и -8» подробно исследовали газовую оболочку планеты прямыми методами. Согласно этим измерениям, атмосфера Венеры состоит в основном из углекислого газа, давление у поверхности планеты достигает 92 атм, а температура  $470^{\circ}\text{C}$ .

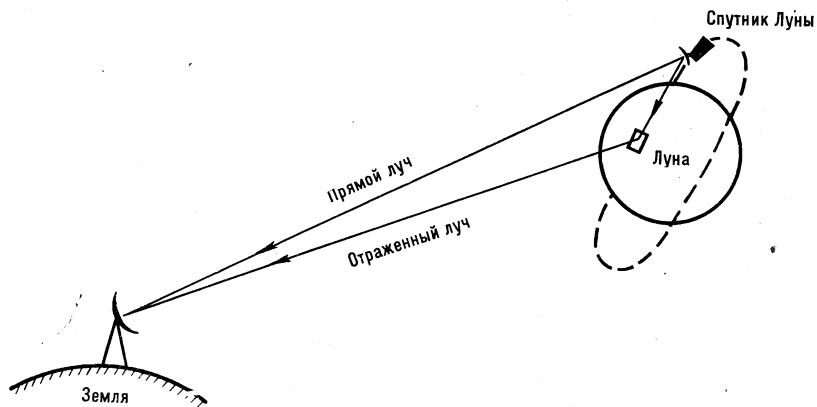
Изучение распространения радиоволн через атмосферу Венеры, осуществленное советскими спускаемыми аппаратами, позволило судить о движении атмосферы планеты. При спуске аппаратов на поверхность Венеры на Земле наблюдались слабые замирания радиоволн, которые увеличивались по мере погружения аппарата в глубь газовой оболочки планеты. Подобное явление характеризует сильную турбулентность в атмосфере Венеры.

По изменению частоты радиоволн, излучаемых спускаемыми аппаратами, удалось определить скорости ветра на Венере. Если ветер перемещает аппарат, то из-за эффекта Доплера происходит изменение частоты сигнала, которое пропорционально скорости ветра. Тщательно проанализировав малые изменения частоты, советский исследователь В. А. Кержанович установил, что на высотах 20—50 км скорость ветра равна нескольким де-

сяткам метров в секунду, а у поверхности планеты она весьма мала.

Американские зонды «Маринер-5 и -10» изучали верхнюю атмосферу Венеры методом радиопросвечивания. Во время пролета космические зонды заходили за диск Венеры, и радиоволны как бы осуществляли вертикальный разрез ее верхней атмосферы. На дневной стороне планеты обнаружена ионосфера. Излучение Солнца ионизирует верхнюю атмосферу планеты так, что на высоте 140 км наблюдается максимум электронной концентрации с плотностью электронов в 3—5 раз больше, чем в ионосфере Марса. Эти эксперименты дополнили сведения об атмосфере, полученные советскими спускаемыми аппаратами. В результате стало известно распределение давления и температуры от поверхности до высоты 90 км. Интересно, что условия, близкие к земным (давление 0,7 атм и температура около  $20^{\circ}\text{C}$ ), наблюдаются на высоте 55 км над поверхностью Венеры. Во время радиопросвечивания атмосферы Венеры «Маринером-10» в температурной зависимости были обнаружены тонкие детали на уровне облачного слоя. Между 53 и 63 км зарегистрировано несколько температурных инверсий — областей, где температура не убывает при увеличении высоты, а растет. Это указывает на многоярусность облаков в атмосфере планеты. По данным радиопросвечивания, нижний ярус облаков расположен на высоте около 50—55 км, верхний — на высоте 62—67 км.



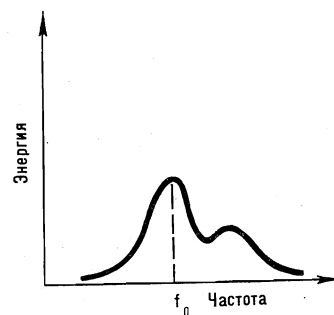
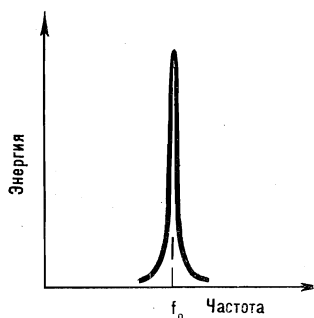


## ЛУНА И ОКОЛОЛУННАЯ ПЛАЗМА

Если искусственный спутник, излучающий радиоволны, движется вблизи планеты или Луны, то при определенных условиях поверхность этого небесного тела может отражать радиоволны в сторону Земли. Тогда на Землю направляются уже не одна, а две радиоволны: прямая со спутника и отраженная небесным телом. Из-за эффекта Доплера эти волны имеют разные частоты, и на Земле можно разделить сигналы, соответствующие прямой и отраженной волнам. В сигнале отраженной волны сосредоточена информация не только об отражательных свойствах поверхности, но и о плотности поверхностных пород, неровностях рельефа.

Советские искусственные спутники Луны подробно исследовали, как отражаются радиоволны различными участками лунной поверхности. Наиболее интересные сведения получены из анализа энергетического спектра отраженной радиоволны. При отражении от ровных морских участков лунной поверхности вся энергия радиоволны заключена в очень узкой полосе частот. При отражении от неровных горных районов форма спектра искажается, ибо на Землю приходят несколько радиоволн от отдельных участков рельефа.

После того как на Луне побывал человек и длительное время работали луноходы, исследователи всесторонне изучили рельеф некоторых областей Луны, плотность ее поверхностного покрова. Составлены достаточно подробные карты Луны. Можно подумать, что косвенные сведения о строении лунной поверхности те-



перь не имеют существенного значения. Однако это не так. Сведения об отражательных свойствах поверхности нашего естественного спутника важны для выяснения условий распространения радиоволн на Луне и в окололунном пространстве, то есть, в практическом смысле,— для выясне-

ния условий работы радиотехнических систем вблизи Луны. Эти сведения получены для многих районов Луны и могут характеризовать плотность пород в местах, еще не изученных человеком и луноходами.

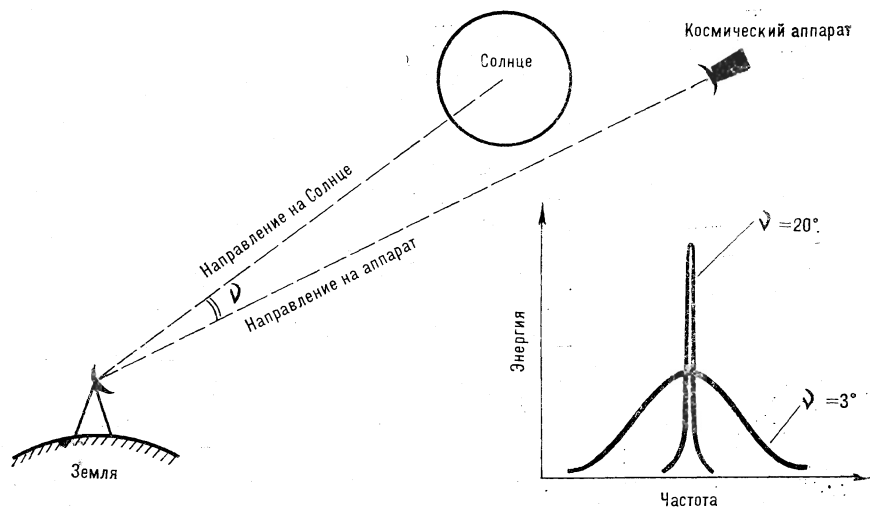
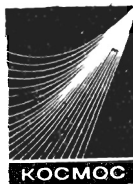
Накапливаемый на Луне, как на своеобразном полигоне, опыт определения свойств рельефа по спектрам отраженного сигнала поможет в дальнейшем исследовать поверхность других планет и прежде всего Венеры. Ведь облака в ее атмосфере до сих пор скрывают от нас рельеф этой планеты.

С помощью спутника «Луна-19» методом радиопросвечивания исследовалось окололунное пространство. Советский радиофизик Н. А. Савич обнаружил вблизи лунной поверхности плазму с максимальной электронной концентрацией около 1000 электронов в  $1 \text{ см}^3$ . Известно, что Луна практически лишена атмосферы, хотя по разным причинам в окололунном пространстве могут быть «остаточные» газы крайне малой плотности. Их поиск и изучение могут привести к разгадке причин появления и

■ *Схема отражения радиоволн лунной поверхностью. В приемную антенну на Земле приходят радиосигналы с космического аппарата и радиоволны, отраженные поверхностью Луны*

■ *Спектр радиоволны, отраженной от ровного лунного моря. Вся энергия волны заключена в узкой полосе частот*

■ *Спектр радиоволны, отраженной от лунных гор, имеет широкую полосу частот. По виду спектра можно судить об изрезанности поверхности небесного тела*



уноса газа из окололунного пространства.

### ОКОЛОСОЛНЕЧНОЕ ПРОСТРАНСТВО

Автоматическая межпланетная станция «Марс-2», став искусственным спутником Марса, продолжала дви-

*Схема радиопросвечивания солнечной короны. Радиосигналы с космического аппарата, проходя через корону, изменяют свои характеристики. Все эти изменения фиксируются на Земле*

*Спектр радиоволны, проходящей через солнечную корону. Энергия волны, распространяющейся вдали от Солнца ( $\nu=20^\circ$ ), заключена в узкой полосе частот. Когда траектория волны приближается к Солнцу ( $\nu=3^\circ$ ), спектр радиоволны расширяется*

жаться вместе с ним в межпланетном пространстве. Подобно тому как спутник Марса позволил изучить его атмосферу методом радиопросвечивания, аппарат «Марс-2», постепенно заходя за Солнце, осуществил радиопросвечивание солнечной короны. Однако последний эксперимент гораздо сложнее, так как само Солнце — достаточно интенсивный источник радиоволн, и измерения возможны до тех пор, пока в приемную антенну не попадает солнечное излучение.

При движении космического аппарата в Солнечной системе радиоволны распространяются в быстродвижущейся плазме на расстоянии нескольких сот миллионов километров. На Земле наблюдаются флуктуации фаз, амплитуд, изменение энергетического спектра и запаздывание радиоволн. Когда траектория их распространения приближается к Солнцу, около которого плазма более плотная, указанные эффекты становятся все за-

метнее. В результате снижается точность определения местоположения космической станции и ухудшается работа линии космической радиосвязи.

Измерения параметров радиоволн, проходящих через околосолнечную плазму, позволили оценить скорость истечения вещества с поверхности Солнца. Ранее эти данные были получены астрономами, которые для радиопросвечивания использовали излучение естественных источников. Разные методы оценки скорости истечения солнечного вещества дали одну и ту же величину — несколько сот километров в секунду.

Согласно общей теории относительности, радиоволны распространяются в гравитационном поле Солнца медленнее, чем в вакууме. Замедление их скорости распространения в поле тяготения Солнца было исследовано с помощью «Маринера-6 и -7». Точное измерение расстояния между Землей и космическим зондом при его различном угловом удалении от Солнца показало, что наблюдается кажущееся увеличение этого расстояния, связанное с замедлением скорости радиоволн в поле тяготения Солнца. Как и предсказывала общая теория относительности, замедление равно 190 микросекундам.

В этой статье мы хотели показать, насколько прогресс в технике дальней космической радиосвязи важен для астрономических исследований. Несомненно, эти методы дадут в будущем много новых сведений о таких труднодоступных средах, как атмосфера Юпитера и Сатурна, подповерхностные породы Луны, Марса и Венеры.



Кандидат физико-математических наук  
С. Б. НОВИКОВ

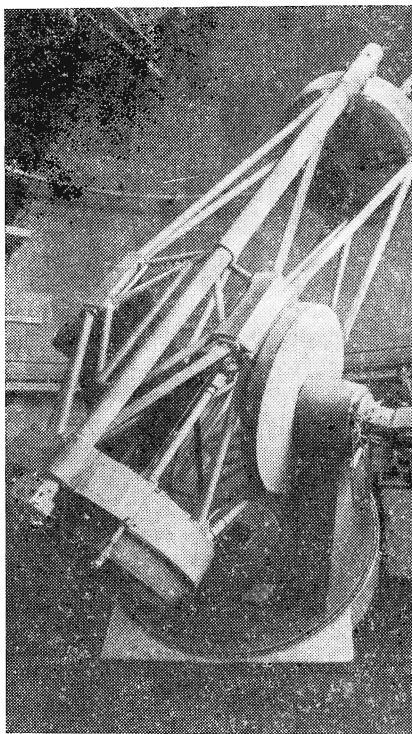
## Оптические телескопы – проблемы настоящего и перспективы будущего

Астрономия немыслима без крупного оптического телескопа. С его помощью ученые получают фундаментальную информацию о расстояниях, массе, давлении, температуре и химическом составе бесчисленного множества объектов Вселенной.

Каждый новый крупный телескоп — это своеобразный памятник научно-технических достижений своей эпохи. По грандиозности замысла, по трудностям, которые приходится преодолевать при сооружении, большой инструмент можно сравнить с такими достойными изумления монументами древности, как знаменитые египетские пирамиды. Это сравнение здесь тем более уместно, что примерно одинаковые усилия необходимо затратить на сооружение и пирамиды, и крупного телескопа. Вспомним хотя бы историю создания 90-сантиметрового рефрактора Ликской обсерватории.

В 1873 году американский миллионер Дж. Лик, составивший целое состояние спекуляциями недвижимым имуществом во время «золотой лихорадки», на склоне лет решил увековечить память о себе постройкой в центре Лос-Анджелеса пирамиды более грандиозной, чем пирамида Хеопса. Однако его адвокат, не без участия президента научного общества Калифорнии Г. Давидсона, сумел убедить Лика пожертвовать деньги на строительство самого большого в мире телескопа. Спустя почти 15 лет телескоп был построен. В нише, специально сделанной в фундаменте инструмента, установили гроб с телом покойного Дж. Лика. Так 90-сантиметровый рефрактор стал не только самым большим астрономическим ин-

**В ближайшие пять-семь лет на земном шаре вступят в строй столько же крупных телескопов, сколько их было до настоящего времени. Установленные в высоких башнях, в местах с хорошим астроклиматом, снабженные усовершенствованными приемниками излучения, эти телескопы расширят границы наблюдаемой Вселенной почти в 10 раз!**



*Крупнейший в Европе 2,6-метровый телескоп Крымской астрофизической обсерватории АН СССР*

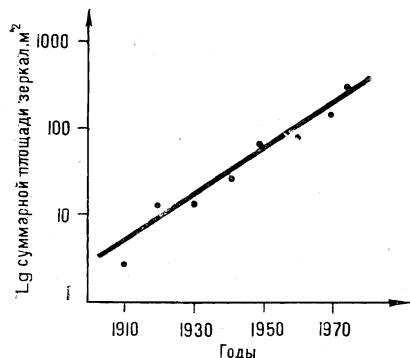
струментом своего времени, но и самым оригинальным надгробным памятником.

История телескопостроения — это история создания все более и более крупных инструментов. Стремление увеличить диаметр телескопа объясняется желанием астрономов увидеть максимально слабые объекты, которые почти всегда оказываются самыми интересными и важными для решения фундаментальных проблем астрономии. Но с ростом диаметра неизмеримо быстро возрастают трудности при конструировании и изготовлении телескопа, а проникающая сила инструмента увеличивается не так быстро, как хотелось бы. Впервые астрономы задумались над проблемой повышения эффективности телескопа после ввода в строй в 1948 году 5-метрового гиганта на горе Паломар. Регистрируемая им предельная звездная величина оказалась хотя и больше, чем у всех существующих телескопов, но значительно меньше, чем предполагали создатели этого инструмента.

### ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОПТИЧЕСКОГО ТЕЛЕСКОПА

Количество собранного света от звезды и угловое разрешение телескопа определяют его эффективность. Обычно она выражается предельной звездной величиной, которую можно зафиксировать данным инструментом. В последние годы проблеме увеличения проникающей способности телескопов астрономы уделяют значительную часть своих научных исследований.

Комплексный подход к решению этой проблемы позволил получить в



различных обсерваториях первые весьма обнадеживающие результаты. Так, в настоящее время наземные телескопы способны зарегистрировать звезду 24-й величины. Причем рекорд этот поставлен не только на 5-метровом — самом большом из действующих телескопов, но и на двух 1,5-метровых и 1,2-метровом инструментах. Последние, проигрывая в диаметре более чем в 3 раза 5-метровому гиганту, достигают того же предела за счет улучшения характеристик приемной аппаратуры и качества изображения. Если учесть, что стоимость телескопа растет пропорционально диаметру главного зеркала, то получается весомый экономический эффект. Не следует, однако, думать, что 1,5-метровый инструмент может заменить 5-метровый. Применение методов, с помощью которых была повышена эффективность 1,5-метровых телескопов, к более крупным инструментам увеличит предел для наземных наблюдений на несколько звездных величин.

Чувствительность современных астрономических приемников оптического излучения столь высока, что с их помощью можно зарегистрировать более слабые объекты, чем реально наблюдаемые. Предельная звездная величина ограничена не чувствитель-

*Темп роста суммарной площади зеркал телескопов подчиняется экспоненциальному закону, который в логарифмическом масштабе графика выглядит прямой линией. Время удвоения площади зеркал в среднем составляет 10 лет, в последние годы эта величина сократилась до 5-7 лет*

ностью приемника, а фоном ночного неба. Ночное небо даже вдали больших городов никогда не бывает абсолютно черным. Его свечение заметно невооруженным глазом. В безлунную ночь земля с самолета всегда кажется более темной, чем небесный свод. Не будем касаться причин этого свечения, для нас сейчас важно лишь знать, что при наблюдении слабых небесных объектов основным источником помех является свечение ночного неба.

Качество изображения или разрешение большого телескопа с хорошей оптикой зависят от состояния земной атмосферы. На существующих обсерваториях диаметр изображения звезды равен в среднем 1—3 угловым секундам, что всего лишь в 60—20 раз превышает разрешение человеческого глаза. При диаметре изображения в 1 угловую секунду на приемник излучения вместе с полезным сигналом от звезды поступают шумы от фонового свечения ночного неба, интенсивность которых соответствует 22-й звездной величине. Благодаря усилиям астрономов, сейчас на земле найдены такие места, где значительную часть времени атмосферные помехи малы и изображение звезды в телескопе имеет диаметр 0,3 и даже 0,1 угловой секунды. При размере изображения в 0,1 угловой секунды полезный сигнал от звезды не изменится, зато фон уменьшится в 100 раз (пропорционально изменению площади изображения) и будет уже эквивалентен звезде 27-й величины.

Очевидно, качество изображения и яркость фона ночного неба влияют на работу телескопа. Практические и теоретические исследования помогли

связать эффективность с основными характеристиками телескопа, приемной аппаратуры и атмосферы. Формулы эффективности для различных астрофизических задач довольно громоздки и сложны. Но одна общеизвестная и самая простая потребуется нам в дальнейшем. Мы приводим ее без вывода. Предельная звездная величина  $m$  при наблюдении слабых объектов, едва различимых на фоне излучения ночного неба, выражается как

$$m = 2,5 \lg \frac{D}{\beta} \sqrt{\frac{qt}{S}},$$

где  $D$  — диаметр зеркала телескопа,  $\beta$  — диаметр изображения звезды,  $q$  — квантовый выход, равный отношению зарегистрированных квантов света к числу пришедших на приемник излучения,  $t$  — время экспозиции и  $S$  — яркость фона ночного неба.

Формула показывает, что увеличение диаметра телескопа не всегда приводит к увеличению его эффективности. Последняя сильно зависит от диаметра изображения звезды, который определяется качеством оптики, астроклиматом места установки и микроклиматом, создаваемым башней телескопа.

#### ОРБИТАЛЬНЫЙ ИЛИ НАЗЕМНЫЙ ТЕЛЕСКОП?

На страницах научной печати сейчас широко обсуждается вопрос о постройке крупного орбитального телескопа. Такой инструмент с диаметром главного зеркала около 3 м сможет эффективно работать в спектральном диапазоне от 1000 до 10 000 Å. В этот интервал попадают

**СРАВНЕНИЕ НАЗЕМНОГО И  
ОРБИТАЛЬНОГО 3-МЕТРОВЫХ  
ТЕЛЕСКОПОВ \***

Характеристика	Наземный телескоп	Орбиталь- ный те- лескоп
Яркость фона неба с одной квадратной уг- ловой секунды	22 зв. величины	23 зв. величины
Предельное уг- ловое разре- шение	0,1 сек.	0,04 сек.
Количество наблюдатель- ных часов в году	2000	6000
Время жизни	100 лет	10 лет
Стоимость	5 млн. долл.	1 млрд. долл.

ультрафиолетовая и инфракрасная области спектра, недоступные наблюдениям с земли, здесь же находится и оптическое окно прозрачности.

Сравним возможности в оптическом диапазоне орбитального и наземного телескопов диаметром 3 м. При выходе за пределы атмосферы фон ночного неба уменьшится примерно в 3 раза, однако он не станет равным нулю. На околоземной орбите не будет собственного свечения земной атмосферы, но останется фон от солнечного света, рассеянного на межпланетной пыли, и фон от неразрешенных звезд нашей Галактики. Яркость фона на орбите равна 23-й звездной величине с квадратной угловой секунды и выигрыш в предельной величине по сравнению с наземным телескопом составит 0,5 звездной величины.

Обычно при обсуждении проекта орбитального 3-метрового телескопа в качестве его основного достоинства приводят высокое угловое разрешение, которое при соответствующей точности оптических поверхностей зеркал определяется дифракцией света и может достигать 0,04 угловой секунды (длина волны 5000 Å). Технология изготовления крупных зеркал позволяет делать оптические поверхности с необходимым классом точности. Лучшие из наземных телескопов уже имеют оптику с качеством изображения 0,1 угловой секунды. Однако на существующих обсерваториях из-за атмосферных помех очень редко наблюдаются такие изображения, поэтому снимкам с разрешением выше 0,3 угловой секунды астрономы посвящают отдельные научные сообщения. В строящихся обсерваториях,

места для которых найдены современными астроклиматическими методами, такое качество изображения будет сохраняться значительную часть времени года. На земле в лучших местах количество ночного наблюдательного времени в году достигает 2000 часов, на орбите оно увеличится до 4000, а учитывая, что решение некоторых задач возможно и на освещенной Солнцем стороне, то до 6000 часов.

Если числа, приведенные в таблице, где сравниваются характеристики наземного и орбитального телескопов, подставить в формулу эффективности, то получится, что орбитальный телескоп перед наземным будет иметь в оптическом диапазоне выигрыш 1—1,5 звездных величины. Для достижения столь незначительного выигрыша совсем не обязательно увеличивать стоимость телескопа в 200 раз и выводить его на орбиту. Сейчас разрабатываются более эффективные и сравнительно дешевые методы повышения проникающей способности телескопов. Например, исследуется возможность объединения нескольких крупных телескопов с помощью ЭВМ в единый комплекс, нацеленный на избранный объект небесной сферы. Если этот замысел будет успешно

реализован, то проникающая способность повысится на величину, пропорциональную корню квадратному из числа инструментов, объединенных ЭВМ. В ультрафиолетовой области спектра орбитальный телескоп останется вне конкуренции, так как излучение короче 3000 Å атмосфера не пропускает.

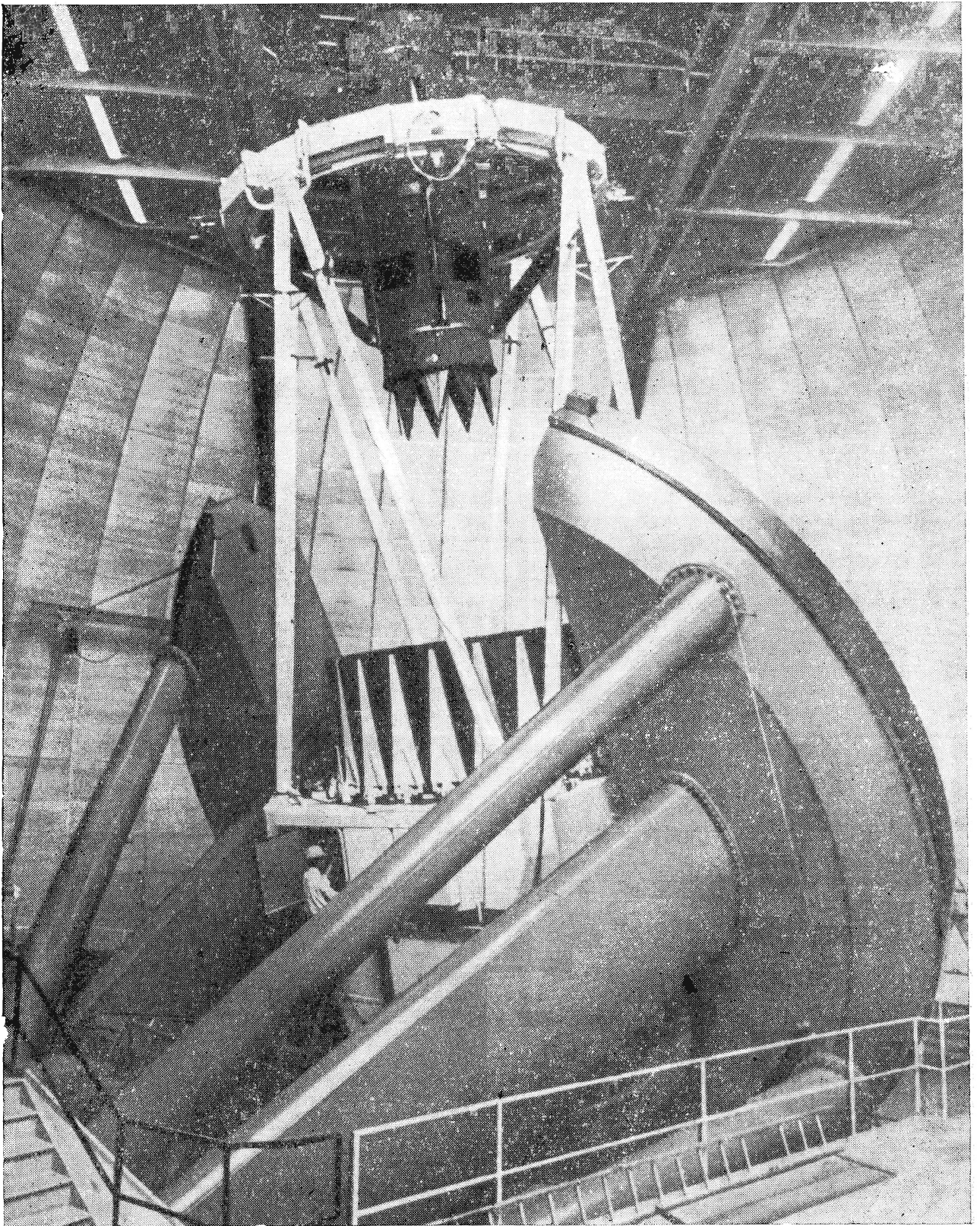
#### ОПТИКА ТЕЛЕСКОПА

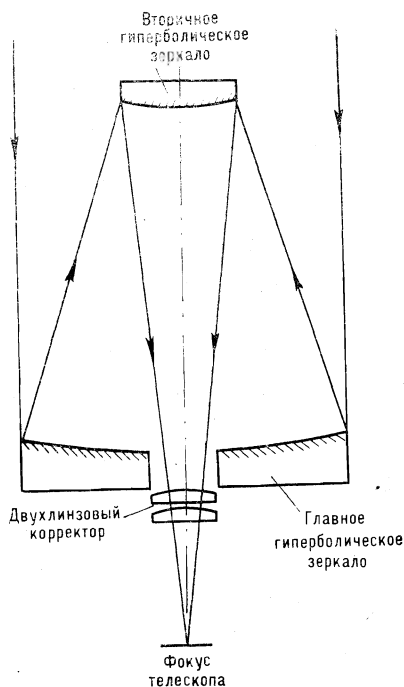
Современный телескоп — сложный оптический, механический и электронный комплекс. От слаженной работы всех его составных частей в конечном счете зависит эффективность инструмента. Но «сердце» телескопа — его оптическая система, поскольку качество оптики определяет достоинство всего инструмента в целом.

Первый шаг в проектировании телескопа — расчет оптической схемы. Светосилу инструмента задают астрономы, руководствуясь следующими простыми соображениями: надо согласовать чувствительность имеющихся или проектируемых приемников изображения и светосилу оптики так, чтобы фон от ночного неба выявлялся на приемнике примерно за два часа. Увеличение времени экспозиции для рядовых экспериментов связано с неоправданными техническими трудностями. Уменьшение экспозиции, согласно формуле эффективности, ведет к потере информации о небесных объектах. Наилучшей в настоящее время признана светосила 1:8.

Размер поля зрения определяется назначением инструмента. До последнего времени большое поле зрения требовалось в основном только

\* Данные взяты из книги «Astronomy and Astrophysics for the 1970's», Washington, D. C., 1972.





для поисковых программ. Примером такой программы может служить «Паломарский атлас звездного неба», полученный на 1,2-метровом телескопе Шмидта. Для детального исследования индивидуальных объектов требовалось незначительное поле около оптической оси телескопа. Однако современные фотометры и спектрографы достигли столь высокой чувствительности, что способны зарегистрировать объект, который не наблюдается визуально в данном телескопе. Такие объекты можно гидировать лишь по двум (или более) ярким звездам, расположенным на значительном расстоянии от оптической оси телескопа. Звезды 14—15-й величины, достаточно яркие для визуального гидирования, встречаются на небесной сфере в среднем через 5—10 угловых минут, следовательно, по-

■ *4-метровый телескоп Ричи — Кретьена обсерватории Китт Пик (США) начал работать в марте 1973 года («Sky and Telescope», 45, 1, 1973)*

■ *Оптическая схема современного телескопа Ричи — Кретьена*

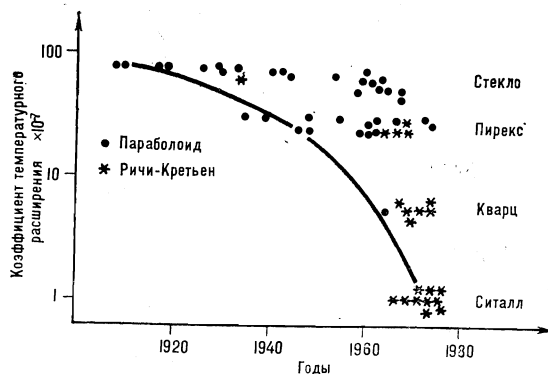
ле телескопа должно быть не менее 20—30 угловых минут. Наилучшим образом всем требованиям отвечают современные оптические схемы Ричи — Кретьена, которые соединяют в себе достоинства классической схемы Кассегрена (хорошие изображения на оси для фотометрии и спектроскопии одиночных объектов) и камеры Шмидта (большое поле зрения для получения прямых фотографий неба) и позволяют решать практически все наблюдательные задачи современной астрофизики.

Со времени опубликования Х. Кретьеном классического расчета двухзеркального апланата — телескопа с хорошим качеством изображения по всему полю — прошло более 50 лет. Первую действующую модель такого телескопа с диаметром главного зеркала 50 см и эквивалентной светосилой 1 : 6,8 в 1927 году Г. Ричи представил на рассмотрение Французской Академии наук. А через 12 лет на Морской обсерватории в США вступил в строй метровый двухзеркальный апланат с полем зрения 1,5 градуса, построенный Ричи. Недостатки механики телескопа сделали его неудобным в работе — инструмент приходилось часто юстировать. Эта особенность была приписана системе Ричи — Кретьена, что надолго ее скомпрометировало. Другой объективный для того времени недостаток телескопа Ричи — Кретьена был обусловлен малой эквивалентной светосилой этой схемы, равной 1 : 7—1 : 9. Предельная экспозиция при относительном отверстии 1 : 5 на самых чувствительных эмульсиях тех лет составляла 10 часов, при меньших светосилах она была еще продолжитель-

нее. Поэтому в начале 30-х годов Т. Хелл, руководивший проектом 5-метрового телескопа, отказался от схемы Ричи — Кретьена.

Однако в 1948 году, когда 5-метровый телескоп вошел в строй, появились высокочувствительные фотоэмульсии, на которых фон неба получался за полчаса при светосиле 1 : 3,3. Для полного использования возможностей новых эмульсий потребовались телескопы со светосилой 1 : 7—1 : 9, то есть апланаты Ричи — Кретьена. Таким образом, в начале 60-х годов, спустя почти 40 лет после первых работ Ричи и Кретьена, оптическая схема, предложенная ими, получила заслуженное признание астрономов. Подавляющее большинство строящихся или проектируемых телескопов имеет именно такую схему.

Приведем наиболее важные характеристики оптических схем современного телескопа. Обычно телескопы имеют главный фокус со светосилой 1 : 3, фокус Ричи — Кретьена со светосилой 1 : 8 и фокус куде со светосилой 1 : 30. В фокусе куде три или четыре плоских зеркала загоняют световой пучок в полярную ось телескопа, и тогда при его вращении звезда сохраняет неизменное положение. Согласно расчетам, диаметр поля зрения в главном фокусе может достигать 1,5—2 градусов, причем изображения на краю поля не хуже 0,5—1,0 угловой секунды. В фокусе Ричи — Кретьена угловой размер поля составляет от 0,5 до 2,0 градусов, а линейный — 30 или 50 см, что соответствует самым крупным астрономическим пластинкам. На краю поля расчетный диаметр изображения обычно не превышает 0,5 угловой секун-



ды. Фокус куде предназначен для работы на оптической оси, и размер поля в нем равен нескольким угловым минутам.

Теоретически можно рассчитать большое плоское поле с отличным качеством изображения при заданной светосиле. Но практический интерес будет представлять только тот расчет, который реально можно выполнить на данном уровне технологии производства крупных зеркал. Наибольшие трудности встречаются при изготовлении главного зеркала. Его поверхность должна быть сделана с точностью до одной десятой длины световой волны, или до  $0,00005$  мм!

Малейшие изменения температуры окружающего воздуха вызывают ощутимые деформации поверхности зеркала. Прогресс оптического стекловарения позволил в последние годы создать материалы для астрономических зеркал, обладающие практически нулевым коэффициентом расширения. Это, — прежде всего, ситалл, коэффициент расширения которого составляет  $10^{-7}$  на  $1^\circ\text{C}$ . Несколько выше коэффициент расширения у плавленого кварца —  $6 \cdot 10^{-7}$ . Пирекс и обычное стекло имеют коэффициент расширения  $23 \cdot 10^{-7}$  и  $(80-100) \cdot 10^{-7}$ , соответственно. Зеркала новых телескопов из плавленого кварца или ситалла практически не боятся температурных деформаций.

Изготовленный Ричи в 1908 году 1,5-метровый телескоп обсерватории Маунт Вилсон имеет разрешение, близкое к теоретическому пределу, который определяется дифракцией света. При отличных атмосферных условиях Ричи удавалось визуально наблюдать на этом телескопе лунные

кратеры поперечником 200 м, или 0,1 угловой секунды. Из-за атмосферных возмущений качество оптики более крупных зеркал трудно оценивать по разрешению реальных небесных объектов. Для их характеристики используется метод Гартмана, измеряющий концентрацию света в кружке данного диаметра. Оптика 5-метрового телескопа, исследованная по методу Гартмана, оказалась не очень высокого качества. Его главное зеркало собирает в кружок диаметром 0,3 угловой секунды 57%, а в кружок диаметром 0,6 угловой секунды — 87% света. При наилучших атмосферных условиях на этом телескопе достигают разрешения 0,3 угловой секунды. В 60-е годы, когда благодаря работам американского астронома И. Боузна стало ясно, что на эффективность телескопа качество изображения влияет так же, как и диаметр главного зеркала, требования к оптике возросли. Так, главное зеркало 3,6-метрового телескопа Ричи — Кретьена Южно-Европейской обсерватории, изготовленное в 1973 году французской фирмой «Реоск», собирает в кружок диаметром 0,05 угловой секунды 40%, в 0,1 угловой секунды — 60% и в 0,4 угловой секунды — 100% света.

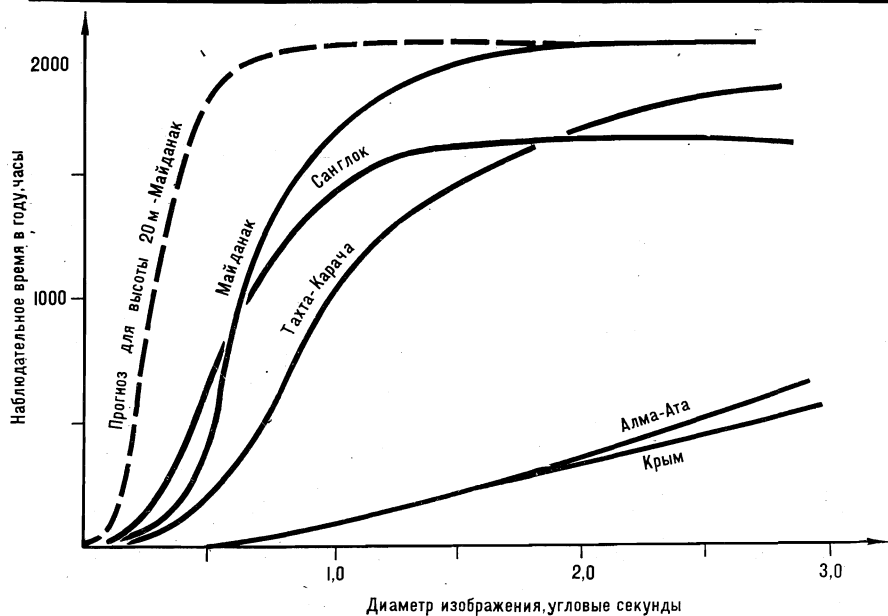
*Изменение со временем коэффициента температурного расширения материала, из которого делают зеркала для телескопов. Каждая точка на графике показывает коэффициент температурного расширения главного зеркала и год ввода инструмента в строй*

## МЕХАНИКА ТЕЛЕСКОПА

Высокая точность оптических поверхностей предъявляет не меньшие требования к точности механики современного телескопа. Большое зеркало не обладает достаточной жесткостью и прогибается под собственным весом. Эти деформации компенсируются системой разгрузки, устанавливаемой в оправе зеркала. Механизм разгрузки представляет собой набор рычагов и противовесов, действующих таким образом, чтобы возникающее в механизме усилие компенсировало противоположно направленную составляющую веса зеркала. Количество механизмов разгрузки и их оптимальное расположение рассчитываются на ЭВМ. Расчеты показывают, что деформация большого зеркала находится в допустимых пределах, если составляющая деформирующей силы, перпендикулярная поверхности зеркала, равна 0,1% общей силы, действующей со стороны опоры. Поэтому трение в системе разгрузки не должно превышать этой величины. Благодаря системе разгрузки, зеркало телескопа как бы плавает в оправе и его отражающая поверхность сохраняет свою форму с требуемой точностью при всех положениях инструмента.

Разрешение в 0,1 угловой секунды можно получить, если смещение вторичного зеркала относительно оптической оси главного зеркала не превосходит 0,1 мм. Изготовить абсолютно жесткую трубу с гнутями не более 0,1 мм при весе главного зеркала в несколько десятков тонн в принципе невозможно. В 30-х годах француз Серррюрье, принимавший участие





в проектировании 5-метрового телескопа, предложил сделать трубу по компенсационной схеме. Такая труба похожа на ферму, закрепленную в центре тяжести. Длинный конец ее несет легкое вторичное зеркало, а короткий — тяжелое главное. Жесткость фермы рассчитывается так, что оба конца трубы прогибаются на одинаковую величину и взаимное положение зеркал не меняется. Общий прогиб трубы 5-метрового гиганта равен 11 мм, тогда как дифференциальное смещение оптических осей главного и вторичного зеркал не превышает 0,25 мм. Сейчас на ЭВМ рассчитывают по схеме Серрюрье трубы с дифференциальным смещением на порядок меньше, чем у Паломарского инструмента.

Все современные телескопы с диаметром зеркала больше 2 м, за исключением 2,7-метрового телескопа обсерватории Мак-Доналд, имеют симметричную вилочную или полярную монтировку. Вес их вращающихся

частей достигает нескольких сот тонн. Для плавного вращения телескопа роликовые подшипники не годятся из-за большого трения, возникающего при таких нагрузках на ось. Поэтому в крупных инструментах применяются масляные подшипники. В пространстве между тщательно отполированными цилиндрическими подшипниками и опорной пятой под большим давлением подается масло, и телескоп как бы плавает на тонкой масляной пленке. Благодаря этому, 530-тонная громада 5-метрового инструмента без особых усилий поворачивается рукой.

Точное слежение за звездами осуществляется с помощью червячной пары. Диаметр основного червячного колеса обычно равен или превышает размер главного зеркала. Зубцы колеса изготавливаются с точностью, близкой к оптической, чтобы ошибки при слежении не превышали 0,1 угловой секунды на протяжении 10 секунд.

#### АСТРОКЛИМАТ И БАШНЯ ТЕЛЕСКОПА

Достижения в расчете и технологии изготовления крупного телескопа позволяют в оптическом цехе создать инструмент с результирующим качеством изображения, равным 0,1 угло-

вой секунды. Но этого недостаточно для получения высокого разрешения на небе. По крайней мере два фактора ограничивают разрешение наземного телескопа — это астроклимат места установки и башня телескопа.

В 1968—1970 годах Государственный астрономический институт имени П. К. Штернберга совместно с Астрономическим институтом АН УзССР проводил астроклиматические исследования в различных районах Советского Союза, чтобы выбрать место для новой обсерватории. В результате этих исследований была найдена изолированная вершина Майданак в Средней Азии, где на высоте 20 м от земли изображение бывает лучше 0,1 угловой секунды 120 часов в году и лучше 0,3 угловой секунды — 1100 часов в году.

Столь оптимистический прогноз настораживает астрономов-наблюдателей. Как правило, изображения в телескопе, установленном в башне, существенно хуже, чем предсказывали астроклиматические исследования. Обычно обвиняют исследователей астроклимата в недостаточно добросовестных измерениях качества изображения визуальными методами, не вдаваясь в подробности реальных причин его ухудшения. Однако эти причины существуют.

Башня телескопа в ее современном виде более чем в 5 раз ухудшает среднее качество изображения. На изолированных горных вершинах толщина возмущающего слоя, который искажает изображение, составляет 10—15 м. Такой слой образуется в результате радиационного остывания земной поверхности. Когда строится башня, толщина приземного возму-

■ *Количество наблюдательного времени в году в зависимости от диаметра изображения для пяти пунктов Советского Союза. Изолированные вершины в Средней Азии — Санглок и Майданак — имеют значительное преимущество перед другими пунктами*



## ВСПЫШКИ РЕНТГЕНОВСКИХ НОВЫХ

До последнего времени были известны четыре рентгеновских источника, которые неожиданно вспыхнули, увеличив светимость в сотни раз, а затем довольно быстро погасели и исчезли. В 1967 году вспыхнул источник Центавр X-2, в 1969 году — Центавр X-4.

Сотрудники Шемахинской обсерватории П. Р. Амнуэль, О. Х. Гусейнов и Ш. Ю. Рахамимов, обработав данные по рентгеновским источникам с 1964 года, обнаружили еще девять вспыхивающих рентгеновских источников, правда, с более медленным подъемом и спадом блеска. Четыре из них исчезли к 1971 году и не были замечены во время полета спутника «Ukur». Авторы пришли к выводу, что источники, обозначенные в каталоге «Ukur» как яркие постоянные, на самом деле могут менять блеск. Один из этих источников, как оказалось, за несколько лет неоднократно менял блеск, причем амплитуда изменения блеска (отношение максимального потока к минимальному) достигала 30!

По мнению шемахинских астрономов, все 13 рентгеновских источников, вспышки которых весьма напоминают вспышки Новых звезд, — двойные системы с релятивистской компонентой (нейтронной звездой или черной дырой). В промежутках между вспышками светимость таких систем в рентгеновском диапазоне невелика, около  $10^{34}$  эрг/сек. Но каждые 10 тыс. лет происходит вспышка, и в течение нескольких лет двойная система излучает примерно  $10^{37}$  эрг/сек. Второй звездой в такой двойной системе является карликовая звезда, у которой потери массы незначительны. Пять источников, отмеченных шемахинскими астрофизиками к классу Новых, видны до сих пор. Если при дальнейших наблюдениях окажется, что блеск этих источников систематически уменьшается, то гипотеза о существовании Новых рентгеновских источников получит убедительное подтверждение. «Astrophysics and Space Science», 27, 1974, 445.

щающего слоя увеличивается примерно на высоту башни. Роль земной поверхности уже играет купол, который может, в зависимости от покрытия, остывать ночью так же, как почва, или более эффективно. Это — первая причина. Во-вторых, башня представляет собой аэродинамическое препятствие, которое во время ветра поднимает оптические неоднородности приземного слоя на большие высоты. И в-третьих, в подкупольном пространстве находится электроаппаратура общей мощностью в несколько десятков киловатт. В работающем телескопе вся эта энергия в конечном счете превращается в тепло. Тепло выделяется неравномерно, и образующиеся температурные неоднородности ухудшают качество изображения в подкупольном пространстве. Сделаны лишь первые попытки свести к минимуму вредные астроклиматические эффекты башни. Несомненно, для практической астрономии решение этой проблемы — первоочередная задача.

В заключение оценим, насколько может увеличиться в ближайшие годы эффективность крупных наземных телескопов. За исходные данные возьмем условия, при которых на 1,5-метровом телескопе была зарегистрирована 24-я звездная величина: диаметр изображения 2 угловые секунды, квантовый выход 0,1 и время экспозиции 2 часа. На инструментах с диаметром зеркала 4 м вскоре можно будет получать устойчивое разрешение 0,3 угловой секунды. Переход от 1,5-метрового к 4-метровому телескопу дает увеличение эффективности в 2,7 раза, или на одну звездную величину. Выигрыш за счет улучшения

качества изображения примерно в 7 раз, или на две величины. Установив 4-метровый инструмент в местах с хорошим астроклиматом и в башне, согласованной с окружающей атмосферой, удастся увеличить предельную звездную величину с 24 до 27.

Эффективность телескопа зависит еще от квантового выхода и времени предельной экспозиции, которые определяются совершенством приемной аппаратуры телескопа. Квантовый выход созданных в последние годы фотокатодов достигает в видимой области 0,4. Применение в астрономии приемников излучения с такими фотокатодами даст выигрыш почти в 2 раза, или 0,7 звездной величины. У большинства существующих приемников изображения сигнал накапливается на фотоэмульсии, обладающей пороговым насыщением, что ограничивает время экспозиции. Уже проводятся первые наблюдения небесных объектов фотоэлектрическими приемниками, сигнал от которых накапливается в памяти ЭВМ. Порог насыщения у таких приемников зависит от размеров памяти ЭВМ. Внедрение новых приемников, во-первых, позволит увеличить предельную экспозицию до нескольких десятков часов и, во-вторых, даст возможность объединять с помощью ЭВМ несколько телескопов и регистрировать наиболее слабые объекты. Если время экспозиции возрастет до 20 часов, то, согласно формуле эффективности, выигрыш будет в 3 раза, или 1,3 звездной величины. Общий выигрыш наземного телескопа составит 5 звездных величин. Реализация подобных перспектив окажет огромное влияние на все разделы астрономии.



## СОЛНЕЧНЫЕ ПРОТОНЫ И ЖИЗНЬ

Вероятно, окрашенные пятна и слои, наблюдаемые в верхних слоях атмосфер некоторых планет и их спутников, связаны с присутствием органических веществ, именуемых хромофорами. Чтобы установить, могут ли действительно такие вещества образовываться из газов, содержащихся в верхней атмосфере, американские ученые Т. Скатергуд, П. Лессер и Т. Оуэн провели серию экспериментов.

В качестве источника энергии они использовали не электрический разряд и не ультрафиолетовый свет, как это обычно делалось до сих пор, а протоны высоких энергий. Ученые основывались на том, что верхние слои атмосферы должны быть подвержены интенсивной бомбардировке солнечными протонами и такими же частицами, приходящими из радиационных поясов планеты.

В метано-аммиачной атмосфере экспериментаторы наблюдали возникновение оранжево-коричневой жидкости, содержащей, помимо прочего, циклические амины, алкиламины, диацетилены и тетрамин-гексаметилены. Когда добавили сернистый водород, циклические амины исчезли, зато появились некоторые серосодержащие вещества. В этом случае образовавшаяся жидкость была желтоватой и включала свободные полимеры серы, в основном  $S_8$ . Это особенно интересно, так как свободная сера и серосодержащие вещества ранее привлекались для объяснения желтой и желтовато-коричневой окраски атмосферных слоев Юпитера.

Для метано-азотной смеси были получены результаты, сходные с метано-аммиачной, но с большим содержанием алкиламинов по сравнению с циклическими аминами. Даже один метан в этих условиях дал гидродороды.

Вывод исследователей гласит: «Совершенно очевидно, что высокоэнергичные протоны могут быть эффективным источником энергии для образования сложных молекул из простых».

«Science News», 105, 4., 1974.

## РАДИОЛИНИИ ОН В СПЕКТРЕ КОМЕТЫ КОГОУТЕКА

Уже несколько лет на большом радиотелескопе, установленном во Франции, в местечке Нансе, успешно работает изготовленный в СССР приемник, который предназначен для наблюдений в сантиметровом диапазоне длин волн. С этим приемником французским радиоастрономам удалось в начале декабря прошлого года открыть в радиоспектре кометы Когоутека линии, принадлежащие радикалу ОН. («Земля и Вселенная», № 4, 1973 г., стр. 44—48. — *Ред.*)

Самым любопытным в этом открытии оказалось то, что радиолинии ОН наблюдались в поглощении, хотя за кометой в это время не было никаких известных космических радиоисточников. Вещество кометы могло поглощать лишь универсальное космическое радиоизлучение — реликтовый фон. («Земля и Вселенная», № 3, 1969 г., стр. 4—11. — *Ред.*) Температура реликтового фона очень низка — всего  $2,7^\circ$  выше абсолютного нуля. Поглощать такое «холодное» излучение способны только аномально возбужденные молекулы. Суть этой аномалии, которую называют антиинверсией населенностей, заключается в следующем.

Двум энергетическим уровням молекулы, переходы между которыми дают радиолинию, можно приписать определенную температуру возбуждения. Она характеризуется отношением числа молекул, находящихся на верхнем и нижнем уровнях. Чем меньше относительное число молекул на верхнем уровне, тем ниже температура возбуждения. В обычном газе заселенность энергетических уровней молекулами обуславливается главным образом столкновениями молекул друг с другом, и температура возбуждения оказывается равной кинетической температуре газа (последняя определяется скоростью поступательных движений молекул). Но в атмосферах комет, где плотность газа в сотни миллиардов раз меньше плотности земной атмосферы, столкновения молекул происходят очень редко (примерно раз в сутки) и заселен-

ности уровней начинают контролироваться не столкновениями, а поглощением и излучением электромагнитных волн. Здесь уже можно ожидать любых отклонений температуры возбуждения от кинетической температуры газа. В частности, какой-нибудь переход может оказаться «холоднее» окружающего газа. Это явление и называется антиинверсией населенностей.

Такое название, к сожалению, нельзя признать удачным. Еще менее удачен иногда употребляемый термин «антимазерный эффект». Эти термины вошли в обиход после открытия естественных космических мазеров, действие которых основано на инверсии населенностей уровней — явлении, в какой-то мере противоположном антиинверсии.

Для того чтобы молекулы кометы поглощали реликтовый фон, температура возбуждения соответствующего радиоперехода должна быть ниже температуры реликтового фона, то есть ниже  $2,7^\circ$ , иначе собственно излучение молекул будет ярче реликтового фона и вместо линии поглощения мы увидим линию излучения. Кинетическая температура кометной атмосферы, определяемая из различных наблюдений и теоретических соображений, заведомо выше  $2,7^\circ$  и, вероятно, не ниже  $100^\circ$ . Следовательно, в атмосфере кометы температура возбуждения радиопереходов молекул ОН гораздо меньше кинетической температуры, то есть имеет место антиинверсия населенностей энергетических уровней ОН.

Следует отметить, что возможность аномального возбуждения молекулярных уровней энергии в кометах была предсказана советским физиком Д. А. Варшавичем еще в 1967 году.

Конкретные механизмы, приводящие к антиинверсии энергетических уровней ОН в кометах, сейчас усиленно изучаются, и это, безусловно, поможет нам лучше понять природу кометных атмосфер.

Кандидат физико-математических наук  
В. С. СТРЕЛЬНИЦКИЙ



ЛЮДИ  
НАУКИ

## Джерард Койпер

В декабре 1971 года, в день 400-летия со дня рождения Кеплера, получая Кеплеровскую золотую медаль за вклад в понимание планет и Солнечной системы, Дж. Койпер сказал: «Можно удивляться, как астроном, занимавшийся двойными звездами, а также открытием белых карликов, переключился на исследования планет. На самом деле последовательность была обратной. В начале моей деятельности меня просили прорецензировать книгу о происхождении Солнечной системы. Аналитическая часть этой книги произвела на меня большое впечатление. Но вторая, синтетическая часть была совершенно разочаровывающей. После того как рецензия была написана, я в течение многих месяцев продолжал заниматься этой проблемой и пришел к заключению, что состояние астрономии не позволяет ее решить. Тем не менее эта проблема захватила меня, и я ознакомился хотя бы с частью обширных и трудных публикаций, написанных в поисках ее решения. Я тогда поставил цель найти родственную проблему, поддающуюся решению ценой конечных усилий. Я думал, что таковой является проблема происхождения двойных звезд.

Несколькими годами позднее я почувствовал, что пришел к пониманию проблемы происхождения двойных звезд, по крайней мере в общих чертах. Я понял, что их происхождение является частью общего процесса образования звезд из слаботурбулентных дозвездных облаков, сжимающихся с сохранением углового момента. Отсюда следовало, что Солнечная система — всего лишь «неудавшаяся» двойная звезда, у кото-

рой масса спутника оказалась радиально распределенной в диск, который со временем превратился в планеты». Таковы те скрытые пружины, которые предопределили два основных направления научной деятельности Джерарда Койпера.

Дж. Койпер родился в Голландии в 1905 году. Он получил астрономическое образование в Лейденском университете, где его учителями были Э. Герцшпрунг, А. Паннекук, П. Эренфест. В 1933 году он переехал в США и остался там на всю жизнь. Сначала Койпер работал на Ликской обсерватории, затем, после краткого периода чтения лекций в Гарвардском университете, — на Йерксской обсерватории, а с 1939 года и на Мак-Дональдской обсерватории, созданной при его участии. В конце 40-х и в конце 50-х годов он был директором объединенных Йерксской и Мак-Дональдской обсерваторий.

Дипломная работа Койпера в Лейдене и последующие работы в Америке были посвящены исследованию двойных звезд — визуальных, спектральных и затменных. Им открыто много новых двойных звезд, а также белых карликов. На основании наблюдений Койпер пришел к заключению, что по крайней мере 50% ближайших к нам звезд — двойные или кратные системы. Наблюдения позволили ему также уточнить соотношение масс-светимости для звезд главной последовательности. В 1937 году Койпер опубликовал диаграмму цвет-светимости для галактических звездных скоплений, которая сыграла выдающуюся роль в изучении эволюционных путей звезд на диаграмме Герцшпрунга — Рессела.

Зимой 1943/44 года, оторвавшись на время от работ, связанных с войной, Койпер провел на Мак-Дональдской обсерватории свои первые наблюдения планет — спектроскопические наблюдения планет-гигантов и их спутников. Тогда ему удалось обнаружить атмосферу на Титане, что имело огромное значение для правильного понимания истории развития планет и спутников. С этого времени и до конца своей жизни Койпер уделял много внимания исследованию планетных атмосфер.

Когда после окончания войны были раскритикованы сернисто-свинцовые приемники инфракрасного излучения, Койпер построил инфракрасный спектрометр, с которым начал наблюдения спектров звезд и планет в области 1—3 мк. И сразу же (1947 г.) ему удалось обнаружить углекислый газ в атмосфере Марса. На протяжении последующих 25 лет он в 1000 раз повысил разрешающую способность спектрометров для близкой инфракрасной области спектра.

В 1947 году в связи с 50-летием Йерксской обсерватории Койпер организовал симпозиум по планетным атмосферам, который дал толчок к развитию во всем мире наблюдательных и теоретических исследований. Труды этого симпозиума дважды издавались в США и переведены на русский язык. Они содержат составленный Койпером общий обзор планетных атмосфер, положивший начало космохимии атмосфер.

В феврале 1948 года Койперу повезло обнаружить пятый спутник Урана, получивший название Миранда, а в мае 1949 года — второй спутник Нептуна, названный Нереидой.



В 1949—1956 годах под его руководством проводился обзор астероидов до 16,5 звездной величины. Впервые был определен блеск астероидов в единой фотометрической системе, что послужило основой для статистического анализа малых планет.

В сентябре 1949 года во время одного из очередных выступлений по радио Койпер поразил ученый мир своим утверждением, что в среднем одна из 1000 звезд должна обладать планетной системой. Эта оценка, превосходившая прежние в миллиард раз, была основана на его представлении о Солнечной системе как «неудавшейся» двойной звезде. Он выдвинул и на протяжении 50-х годов развивал гипотезу образования планет из массивных газо-пылевых протопланет, сформировавшихся в око-

лосолнечной туманности. Однако эта гипотеза столкнулась с многочисленными трудностями, и Койпер прекратил ее разработку. В 1972 году он вновь вернулся к планетной космогонии, но эти исследования остались не завершенными.

В 50-е годы Койпер организовал издание двух серий коллективных сборников. Первая посвящалась Солнечной системе (4 тома), вторая — звездам и звездным системам (9 томов). Ряд этих томов переведен на русский язык.

Койпер дважды посетил Советский Союз. В 1958 году он был в Москве на Генеральной ассамблее Международного астрономического союза, а в 1960 году — в Ленинграде на Международном симпозиуме по Луне.

В конце 50-х годов усиление интереса к Луне, связанное с началом космических исследований, побудило Койпера начать визуальные и фотографические наблюдения поверхности нашего естественного спутника на 82-дюймовом телескопе. Вместе с Д. Ар-

туром, Ю. Уитекером и другими сотрудниками он подготовил издание «Фотографического атласа Луны» (1960 г.), составленного из лучших в то время фотографий. В качестве приложения к нему были изданы «Ортографический лунный атлас» (1960—1961 гг.), основанный на большой работе по созданию системы лунных координат, а затем «Ректифицированный лунный атлас» (1963 г.), в котором для участков поверхности, далеких от центра видимого диска, были в значительной мере устранены перспективные искажения. Эти атласы явились ценным подспорьем для всех исследователей Луны.

В ряде статей Койпер дал сжатое, но ясное описание структуры различных объектов на поверхности Луны — кратеров и морей, трещин и грабенов. В ходе подготовки «Ректифицированного атласа» Дж. Койпер и В. Хартман изучили круглые лунные моря, сыгравшие, как теперь известно, огромную роль в истории наружных слоев Луны. В 1971 году Койпер имел все основания с удовлетворением отметить, что его взгляды на природу лунных объектов были подтверждены дальнейшими исследованиями.

Стремясь получить лучшие условия для наблюдений планетной системы, а также расширить контакты с геофизиками и геологами, Койпер в 1960 году переехал в Тусон, где он организовал при Аризонском университете Лунно-планетную лабораторию. Сперва она была частью Института физики атмосферы, но затем, сохранив свое скромное название, превратилась в крупный самостоятельный институт, обладающий двумя горными

Джерард Койпер (1905—1973)  
Фото Д. Милон из журнала  
«Sky and Telescope» (47, 3, 1974).



дании телевизионной аппаратуры для «Маринера-10», который должен был сфотографировать с близкого расстояния Венеру и Меркурий. Но, увы!.. Снимки этих планет были получены в начале 1974 года уже после смерти Койпера.

Койпер был совершенно неутомимым наблюдателем, превосходившим работоспособностью своих молодых помощников. Как вспоминает один из его учеников Д. Крукшенк, когда Койпер начинал серию спектроскопических инфракрасных наблюдений на каком-либо крупном телескопе, то программа работы предусматривала не только многочасовые ночные наблюдения, но и дневные. Он мог в течение двух недель, попеременно работая с двумя помощниками, ограничиваться тремя-четырьмя часами сна в сутки. В любое время дня, почувствовав себя чрезмерно утомленным, он мог лечь на пол, прямо на наблюдательной платформе, и заснуть, а через 20 минут проснуться освеженным и способным продолжать наблюдения еще несколько часов.

Джерард Койпер скончался от сердечного приступа 24 декабря 1973 года. Это случилось в Нью-Мехико, на следующий день после полета над горами Гвадалахары в поисках места для горной обсерватории. Многие ученики Койпера — Т. Герельс, К. Саган, В. Хартман, Т. Оуэн, Д. Крукшенк и др. — давно стали самостоятельными исследователями планет. Можно надеяться, что они понесут дальше ту научную эстафету, которую передал им их учитель.

**Доктор физико-математических наук  
Б. Ю. ЛЕВИН**

обсерваториями в окрестностях Тусона (Каталина и Маунт Леммон). Койпер был бессменным директором этой лаборатории в течение первых тридцати лет ее быстрого развития.

В эти годы редкостная энергия и работоспособность позволили Койперу сочетать большую организационную деятельность с активной научной работой. Он продолжает конструировать спектрометры для инфракрасной области спектра с большей разрешающей способностью и повышенной чувствительностью; с их помощью наблюдает звезды и планеты, измеряет изотопные отношения углерода и кислорода на Венере, открывает новые молекулярные полосы поглощения в спектрах холодных звезд. Для лабораторных исследований поглощения света в различных газах под его руководством строится 40-метровая труба, которую свет может пробегать несколько раз, организуются измерения спектров отражения инея и

других твердых веществ, важных для планетной астрономии. Чтобы избавиться от помех, создаваемых теллурическими полосами поглощения, для инфракрасных наблюдений оборудуется специальный самолет, поднимающийся на высоту 12—13 км. На основе наблюдений с самолета был создан детальный атлас инфракрасной части солнечного спектра. («Земля и Вселенная», № 5, 1970 г., стр. 26—29.— Ред.) По снимкам Луны, полученным на обсерватории Каталина, а также на Морской обсерватории США, составляется «Консолидированный атлас Луны» (1967 г.), дающий изображение всех участков видимой стороны Луны при разных условиях освещения.

Подготовка и издание лунных атласов, организация и развитие Лунно-планетной лаборатории были осуществлены Койпером благодаря тесному контакту, установленному им с Национальным управлением по аэронавтике и исследованию космического пространства (НАСА). В 1960—1966 годах он был главным экспериментатором по программе «Рейнджер». Затем принимал участие в работах по программам «Сервейер», «Орбитер», «Аполлон». Наконец, в последние годы он участвовал в соз-

*Дж. Койпер, А. И. Лебединский и Б. Ю. Левин в перерыве между заседаниями Генеральной ассамблеи Международного астрономического союза в Москве.*

Фото Д. Я. Мартынова



ЭКСПЕДИЦИИ

## «Дмитрий Менделеев» в Индийском океане

Не так давно известный американский океанограф Р. Ревелл сказал: «Мы знаем дно Индийского океана хуже, чем поверхность Луны». И это не было преувеличением. Действительно, Индийский океан еще полтора десятка лет назад был почти сплошным «белым пятном» на карте изученности Мирового океана. Теперь, конечно, о течениях, рельефе дна и биологии Индийского океана можно судить достаточно определенно. И все же Индийский океан в наши дни изучен меньше, чем Атлантический или Тихий. Этот факт не может не вызывать удивления, ведь Индийский океан — колыбель мореходства. Многие тысячелетия он был ареной дальних плаваний. Именно здесь создано первое мореходное судно, по-видимому, типа катамарана. Его изображение нашли на стенах древнеиндийских храмов. Недалеку индийские археологи неподалеку от Бомбея обнаружили самый древнейший морской порт Лотхал. Раскопана выложенная камнем верфь — правильный прямоугольник, стороны которого составляют 218 и 37 м. Парусные мореплавания разных эпох, конечно, позволили в какой-то мере изучить режим ветров и течений в северной части океана, образно называемой «морем муссонов». Однако эти знания не дошли до наших дней. В силу разных причин Индийский океан оказался в роли «пасынка» и у современных океанологов. Поэтому в Индийском океане предстоит выполнить много интересных исследований.

10-й экспедиционный рейс научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» был предпринят в Индийский океан с июня по октябрь 1973

года для оптических исследований и изучения внутренних волн. Руководил рейсом академик Л. М. Бреховских. Перед экспедицией стояла задача не только исследовать оптические процессы и свойства вод Индийского океана как географического объекта, но также изучить одну из фундаментальных проблем оптики океана — механизм формирования оптических полей в зависимости от расположения источников взвешенного и растворенного вещества.

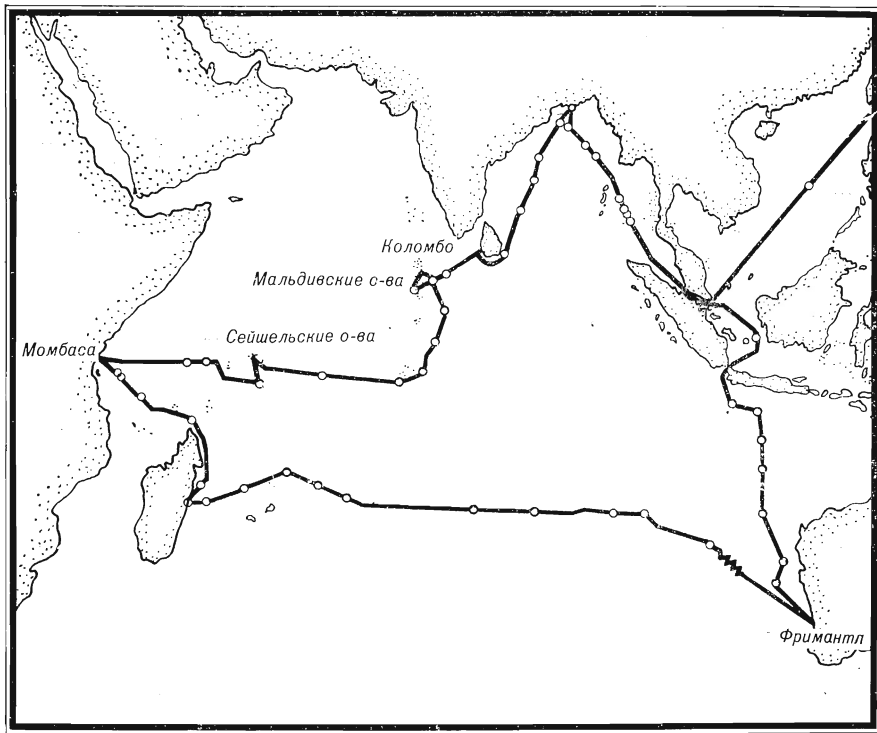
Как известно, разнообразие оптических свойств вод в Мировом океане определяется разным содержанием взвешенных частиц и растворенного органического вещества — гумиподобных соединений («желтое вещество»), заметно поглощающих свет в синей и фиолетовой частях спектра. Взвешенные и растворенные вещества попадают в океан не только с речными водами, но и рождаются в самом океане в результате биологических процессов. Это — микроскопические водоросли (фитопланктон), мельчайшие рачки (зоопланктон), а также бактерии. Из континентальных пустынь выносятся в океан частицы золотого происхождения.

В Индийском океане на небольшой акватории сосредоточен почти полный набор своеобразных «генераторов» взвешенного и растворенного вещества. Воздушные потоки пронесут над океаном из африканских, арабских и австралийских пустынь мельчайшие частицы, которые оседают в водной толще. Также из атмосферы в океан попадают вулканические пеплы. В прибрежной полосе материков и островов взмучиваются

и выносятся в открытый океан мельчайшие частицы. Великие реки Инд, Ганг с Брахмапутрой и другие менее крупные потоки несут воды, насыщенные терригенным материалом и «желтым веществом».

Первым объектом исследования был глубоководный Яванский желоб, где начали отрабатывать методику взятия придонных проб 200-литровым батометром. Взятые пробы воды использовались для самых различных оптических измерений, а также для определения в них количества взвешенных частиц и содержания органического вещества. Для того чтобы избежать механического взмучивания тонких донных осадков самим батометром и отобрать пробу воды с истинными для данной глубины оптическими свойствами, применяли груз-разведчик. В качестве груза-разведчика использовался основной концевой груз. Как только груз касался дна, батометр закрывался. Таким способом брали пробы придонной воды (расстояние от дна 30 м) и в Западно-Австралийской котловине, и в Центральной котловине, и в желобе Чагос. Придонные воды оказались оптически чистыми, показатель ослабления для длины волны 546 нм (1 нанометр =  $10^{-9}$  м) равен 0,06—0,09 м<sup>-1</sup>, то есть весьма близок к показателю ослабления дистиллированной воды.

От берегов Австралии к острову Мадагаскар маршрут «Дмитрия Менделеева» почти полностью лежал в тропических и субтропических широтах. Здесь воды тоже очень прозрачны от поверхности до самого дна. Советский космонавт Герман Титов, пролетая над Индийским океаном, отмечал, что цвет воды меняется от



зеленого до темно-синего индиго, причем индиго присущ всему Индийскому океану в тропических широтах.

Центральную область Индийского океана можно сравнить с Саргассовым морем. Это — огромная океаническая зона малоподвижных вод, окруженных кольцом направленных против часовой стрелки течений (Пассатного, Мадагаскарского, Южно-Индоокеанского и Западно-Австралийского). В центре «кольца» преобладает опускание вод и поверхностная толща обеднена биогенными элементами, поэтому планктон развивается здесь в очень малых количествах. А если учесть еще и блокирующее действие течений, которые препятствуют поступлению вод с материков, то становится понятным, почему воды в центре гигантского круговорота прозрачные и глубокого синего цвета — цвета океанской пустыни. Исследования показали, что оптические параметры вод этой океанской пустыни весьма близки к оптическим характеристикам дистиллированной воды, хотя к молекулярному рассеянию, свойственному идеально чистой воде, добавляется рассеяние на частицах.

■ *Маршрут научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» в 10-м рейсе. Светлыми кружками отмечены пункты оптических исследований, измерения внутренних волн, течений и других элементов гидрологического режима*

■ *Центральная улица кенийского города Момбасы. Момбаса — символические ворота в Африку. Когда-то этот порт был главным по вывозу слоновой кости*







## ЭКСПЕДИЦИИ

У восточного берега Мадагаскара исследовали малоизученное Мадагаскарское течение. Установлено, что это течение — мощный океанский поток со скоростями 1—1,5 м/сек. Его расход лишь в 4—6 раз меньше расхода Гольфстрима. По-видимому, роль Мадагаскарского течения в системе западных пограничных течений значительно больше Мозамбикского.

Акватория севернее Мадагаскара с множеством островов — одно из самых загадочных мест Мирового океана. Предполагают, что здесь, на океанском дне, спит вечным сном давно окаменевший растительный и животный мир индоокеанской Атлантиды — веро-западной части океана, которые, Лемурии. Острова и архипелаги севернее, являются осколками Лемурии, — настоящая «Лавка древностей». На островке Альдабра живут гигантские слоновые черепахи, сохранившиеся еще только на Галапагосских островах. Около Коморских островов до сих пор встречается «живое ископаемое» — рыба целакант. Здесь и на Мадагаскаре обитают загадочные лемуры. На Сейшельских островах растут единственные в мире пальмы с двойными плодами...

Поэты, воспевая синь моря, просят его пустыню, а между тем признак жизни — зеленый цвет океанских вод. Зеленый цвет воде придают скопления планктона и прежде всего фитопланктона — мельчайших водорослей. При измерении спектра излучения океана в синем и зеленом свете с помощью палубного фотометра было обнаружено, что хлорофилл, содержащийся в фитопланктоне, имеет свою «полосу поглощения». Аналогичные измерения по всему

спектру излучения проводились также монохроматором, установленным в шахте, проходящей в днище корабля. Они подтверждают этот вывод. Таким образом, имеется возможность оптическим методом регистрировать скопление планктона, то есть находить океанские пастбища. Ведь там, где много фитопланктона, можно ожидать скоплений и мельчайших рачков — зоопланктона и рыбы.

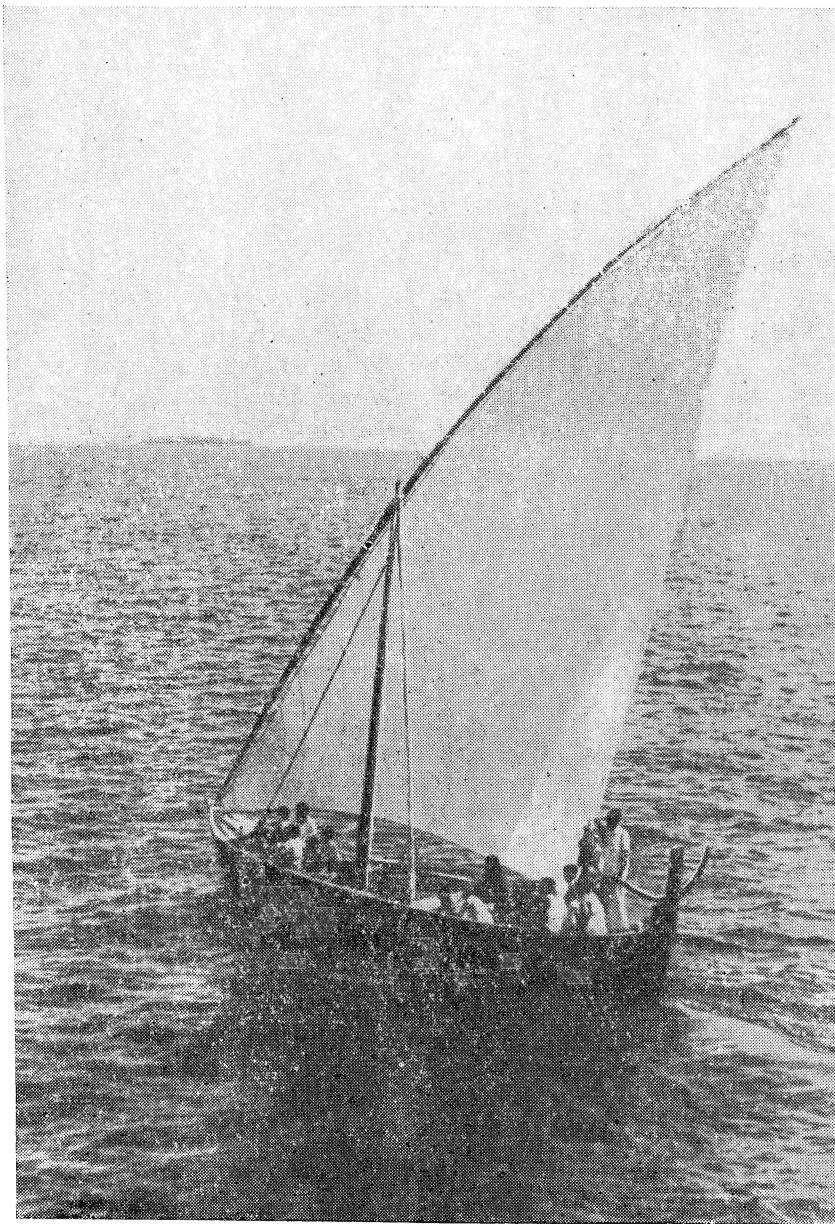
От берегов Африки «Дмитрий Менделеев» направился в полосу широт 5—10° ю. ш. Здесь решалась вторая задача экспедиции — исследование внутренних волн. Впервые в практике использовались распределенные датчики температуры, изготовленные из кабеля со стальными жилами. При измерении сопротивления такого кабеля определяется средняя температура вдоль всей длины кабеля, поэтому исключается влияние тонкой структуры вертикального распределения температуры на показания датчика. Это дает ряд преимуществ по сравнению с обычными точечными датчиками. Распределенные датчики сообщили новую информацию о природе внутренних волн. В частности, установлено, что короткопериодные волны обладают более правильным характером и более распространены, чем это предполагалось ранее.

Идя к Шри Ланке примерно по меридиану 76°30' в. д., «Дмитрий Менделеев» пересек экватор. Общепринятая точка зрения, что Муссонное течение пересекает весь океан в летний период с запада на восток, оказалась неверна. Наши измерения течений у экватора к востоку от Мальдивских островов выявили неожиданную картину: Муссонное течение направля-

лось на запад. Этот факт предварительно объяснили воздействием «меридиональной стенки» — Мальдивского хребта, расположенного на 75° в. д. На глубине 100 м у экватора было обнаружено противотечение — аналог течения Кромвелла в Тихом океане и течения Михаила Ломоносова в Атлантическом. Встретив Мальдивский хребет, возвышающийся над поверхностью океана цепочкой островов, муссонный поток поворачивает на север, вовлекаясь в циклоническую циркуляцию Аравийского моря.

Во время стоянки в столице Шри Ланка, городе Коломбо, на борту «Дмитрия Менделеева» академик Л. М. Бреховских устроил пресс-конференцию для местных журналистов. На пресс-конференции присутствовал известный английский писатель-фантаст и ученый Артур Кларк. Он подробно рассказал о своих книгах и литературных планах: все его будущие произведения посвящаются теме контактов с внеземными цивилизациями.

Научная программа 10-го рейса «Дмитрия Менделеева» была продолжена в Бенгальском заливе и Андаманском море. В центре Бенгальского залива неожиданно высокой оказалась концентрация растворенной органики, «съедающей» синий свет. Источником органического вещества, по-видимому, были прибрежные районы Индостана, где наблюдается энергичный подъем глубинных вод и интенсивно развивается жизнь (неретические формы). Вероятно, прибрежные организмы выносились ветром и течениями в открытое море и здесь погибали, увеличивая концентрацию растворенных органических веществ и минеральных частиц.



Однако частицы опускались на глубину, а растворенная органика оставалась в поверхностной толще вод.

В верхних слоях приустьевого района Ганга и Брахмапутры величина

*Мальдивская рыбацкая лодка с косям треугольным арабским парусом. На таких лодках островитяне выходят в открытый океан*

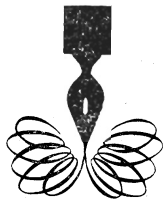
Фото В. П. Андрушко

на показателя ослабления для длины волны 546 нм составила  $1,3 \text{ м}^{-1}$ , что в 26 раз больше, чем в океанских чистых водах. Здесь, в водах малахитового цвета, очень велико поглощение света «желтым веществом». Считалось, что граница распространения вод Ганга и Брахмапутры располагается в 60—100 милях от устья. Однако лазерное зондирование на ходу суд-

на помогло обнаружить воды Ганга и Брахмапутры в виде «линз» даже в 500 милях от берега. Граница же сплошного поля речных вод, лежащих на океанских, встречена на расстоянии 150—200 миль от устья. Но влияние этого речного «источника», как выяснилось, не ограничивается верхними слоями воды. В 660 милях от Ганга и Брахмапутры было замечено, что воды на глубинах 1200—1800 м мутнее поверхностных. Помутнение вод на этих глубинах прослеживается вплоть до приустьевого района, где мутные воды сползают по подводным каньонам и глубинным течением выносятся далеко на юг.

Индийский океан (как географический объект) очень удобен для оптических исследований. Здесь представлены все виды «генераторов» взвешенного и растворенного вещества, что по существу позволяет рассматривать Индийский океан как исследовательский полигон. В 10-м рейсе «Дмитрия Менделеева» удалось охватить маршрутами всю акваторию, что невозможно сделать в любом другом океане. Полученные данные существенно продвинули ученых в проблеме построения оптической модели всего Мирового океана, так как выяснены интересные закономерности и взаимосвязи оптических характеристик океанских вод с составом и происхождением различных взвесей. Многочисленные измерения оптических свойств вод Индийского океана показали, что от поверхности до дна он «заполнен» оптически чистой водой.

Кандидат географических наук  
В. И. ВОЙТОВ



ГИПОТЕЗЫ,  
ДИСКУССИИ,  
ПРЕДЛОЖЕНИЯ

Доктор физико-математических наук  
И. А. КЛИМИШИН

## Стоунхендж — вычислительная машина каменного века

На юго-западе Англии, на равнине Солсбери находится Стоунхендж — мегалитическое сооружение, возраст которого почти 4000 лет. Стоунхендж принадлежит к кромлехам — кольцевым строениям, состоящим из врытых в землю каменных монолитов. В Англии и Шотландии таких сооружений диаметром от 2 до 113 м обнаружено несколько сот, остатки кромлехов встречаются и в других странах Западной Европы. Однако Стоунхендж неповторим, его развалины и сегодня поражают своим величием и загадочностью. («Земля и Вселенная», № 5, 1970 г., стр. 45—47.— Ред.)

В центре Стоунхенджа лежит камень размером  $4,8 \times 1 \times 0,5$  м. Вокруг него в виде исполинской подковы диаметром около 15 м высятся пять трилитов. Трилит — это два вертикальных камня, на которые положен третий. Высота трилитов — 6; 6,5; 7,2 м — увеличивается к центру подковы.

Трилиты когда-то были окружены тридцатью вертикальными камнями высотой около 5,5 м. На этих опорах лежали, образуя кольцо, горизонтальные плиты. Диаметр кольца, которое называют сарсеновым, 29,6 м.

За этим кольцом располагалось еще несколько кольцевых сооружений. Одно из них — кольцо Z — имело диаметр около 40 м и насчитывало 30 лунок. Другое — кольцо Y диаметром примерно 53,4 м — также состояло из 30 лунок. Следующее кольцо, диаметр которого 88 м, получило свое название в честь первого исследователя Стоунхенджа Дж. Обри, жившего в XVII веке. Кольцо образуют 56 лунок Обри. Далее, за кольцом Обри шел внутренний меловой вал. Его

Возможно, что четыре тысячи лет назад исполинские каменные сооружения Стоунхенджа служили для предсказания солнечных и лунных затмений.

диаметр примерно 100 м, ширина насыпи около 6 м, высота 1,8 м. И, наконец, весь комплекс сооружений окружал внешний земляной вал диаметром 115 м, шириной насыпи 2,5 м и высотой 50—80 см.

Вход в Стоунхендж сделан с северо-востока, именно в эту сторону открывалась подкова трилитов. В том же направлении, на расстоянии примерно 85 м от центра комплекса стоит каменный столб — менгир, высотой около 6 м и весом 35 т (его еще называют «Пяточным камнем», хотя никакого углубления в форме пятки на нем нет).

Уже давно высказано предположение, что Стоунхендж был не только храмом, но и своеобразной астрономической обсерваторией. В самом деле, наблюдатель, находясь на центральной площадке комплекса, мог видеть сквозь одну из арок сарсенового кольца, как в день летнего солнцестояния дневное светило восходит прямо над менгиром. Во все последующие (как и предыдущие) дни точка восхода Солнца лежит справа от менгира, описывая за полгода вдоль горизонта дугу  $78^\circ$ . Отмечая восход Солнца над менгиром, строители Стоунхенджа регулярно измеряли отрезки времени между двумя летними солнцестояниями, отсчитывая время по количеству прошедших тропических годов.

Недавно английский астроном Дж. Хокинс, работающий сейчас в

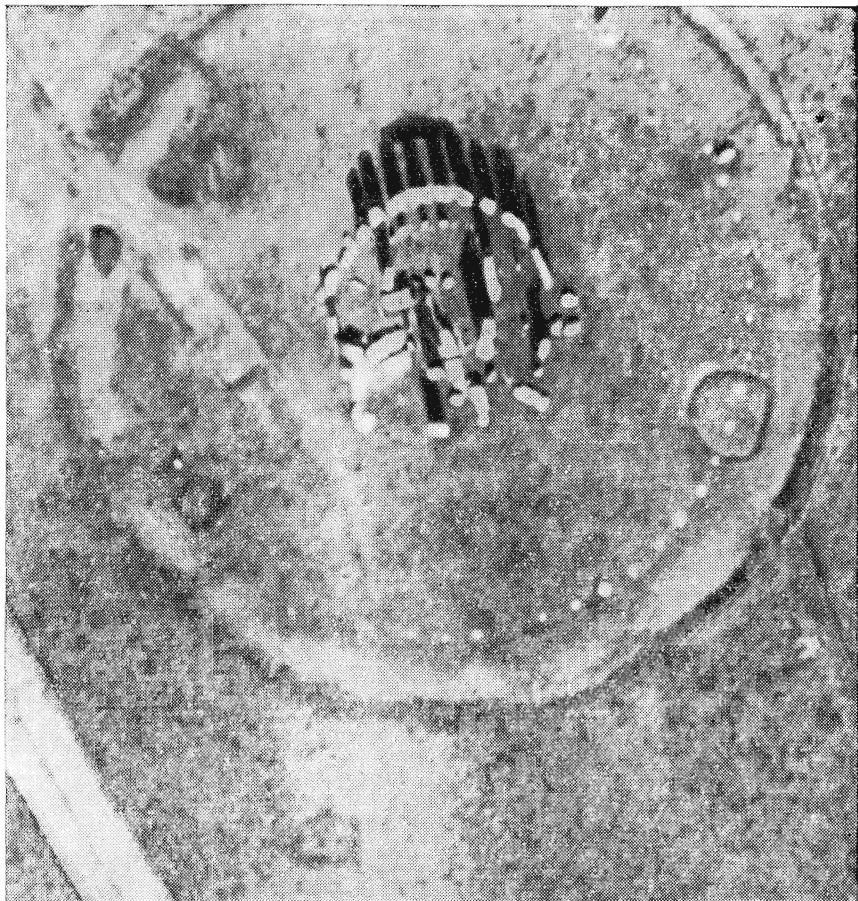
США, с помощью электронно-вычислительной машины сопоставил направления на все имеющиеся в Стоунхендже ориентиры с положением на небе отдельных ярких светил в моменты их восхода и захода. Оказалось, что практически все «привилегированные» направления указывают точки восхода и захода Солнца и Луны в разные времена года. Так Хокинс пришел к выводу, что строители Стоунхенджа могли использовать это сооружение для предсказания солнечных и лунных затмений. Действительно, если в момент зимнего солнцестояния полная Луна восходит над менгиром, значит, она находится на эклиптике в узле своей орбиты и, двигаясь вокруг Земли, вскоре начнет входить в ее тень.

Хокинс предположил также, что лунки Обри служили гнездами вычислительной машины для отсчета лет (по одной лунке на каждый год). Используя шесть камней (в «нулевой момент» три белых камня размещались в лунках 56, 38 и 19, три черных — в лунках 47, 28 и 10) и передвигая их ежегодно в следующую ямку, строители Стоунхенджа, по мнению Хокинса, предсказывали год, когда состоится затмение Солнца или Луны. Затмения в момент зимнего солнцестояния происходили, если только в лунке 56 (первая слева от направления на менгир) лежал камень, а это случалось через каждые 9, 9, 10, 9, 9 и 10 лет, что вместе и составляет 56-летний цикл, или же три 18-, 19- и 19-летних цикла. Затмения в дни равноденствий приходятся на тот год, в котором белый камень займет место в лунке 51 и 5, а в дни летних солнцестояний — в лунке 28.

Затмения между солнцестоянием и равноденствием состоятся, лишь когда камень переместится в лунку 3 или 4. Чтобы установить, какое из полнолуний будет ближайшим к моменту затмения, строители Стоунхенджа вели также учет фаз Луны, ежедневно переставляя камень в арках сарсенового кольца.

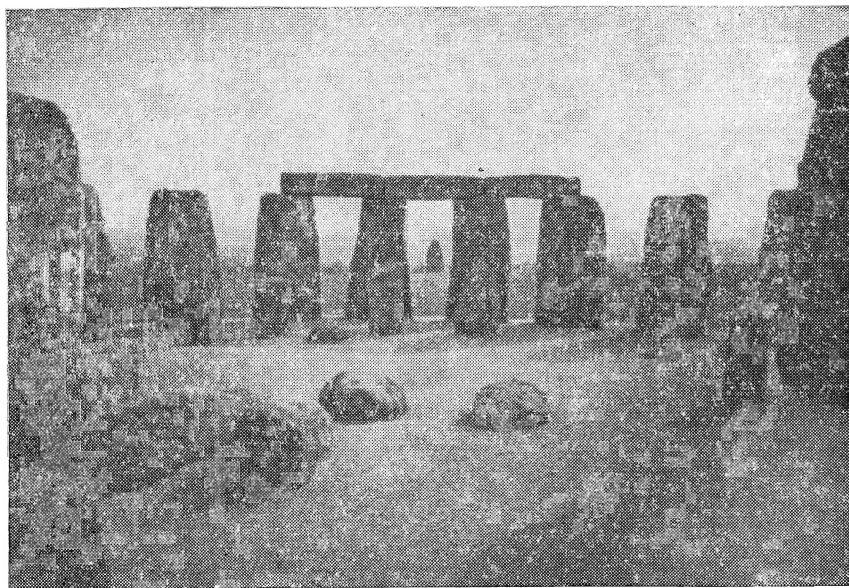
Можно предложить другую, более простую, на наш взгляд, модель «вычислительной машины» Стоунхенджа для предсказания солнечных и лунных затмений.

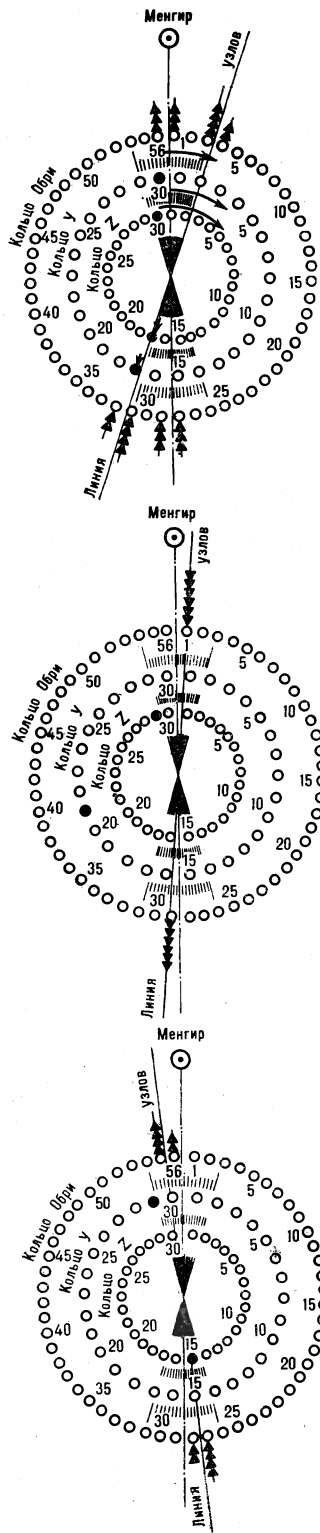
Прежде всего напомним, что затмения происходят непрерывно при любом положении узлов лунной орбиты на эклиптике, если только вблизи этих узлов одновременно находятся и Солнце и Луна. Известно, что в среднем каждый год бывает 1,55 лунных затмений (из них 0,72 полных и 0,83 частных) и 2,38 солнечных (1,54 полных или кольцеобразных и 0,84 частных). Половина лунных затмений в Стоунхендже видна, если только этому благоприятствует погода. В теории затмений применяется такая важная характеристика, как дракониче-



*Стоунхендж. На снимке видны кольцевые сооружения древней обсерватории: остатки сарсенового кольца из каменных монолитов, засыпанные мелом лунки кольца Обри. За лунками проступают следы мелового и внешнего земляного валов*

*Стоунхендж. На заднем плане, в центральной из сохранившихся арок сарсенового кольца виден менгир*





■ Работа «вычислительной машины» Стоунхенджа. Запустим в ход машину 21 июня 1974 года, на следующий день после полного солнечного затмения. В день затмения по три «каменя узла» лежат в лунках Обри 56 и 1, 28 и 29, «камень возраста Луны» помещается в лунку 30 кольца Z и «камень поправок» — в лунке 30 кольца У. На 17-й день работы четыре «каменя узла» будут находиться в лунках 3 и 31 и два — в лунках 4 и 32 кольца Обри. «Камень возраста Луны» переместится в лунку 17 кольца Z, а «камень поправок» — в лунку 17 кольца У. Линия узлов пройдет вблизи лунок 3 и 31 кольца Обри, поскольку в них камней больше. Если линия узлов попадет внутрь заштрихованного конуса, то в эти дни происходят солнечные и лунные затмения

■ На 176-й день работы «вычислительной машины» шесть «камней узла» попадут в лунки 1 и 29. «Камень возраста Луны» будет находиться в лунке 29 кольца Z, а «камень поправок» в лунке 21 кольца У. Линия узлов пройдет через лунки 1 и 29 кольца Обри, внутри заштрихованного конуса. В этот день — 13 декабря 1974 года произойдет частное солнечное затмение

■ На 339-й день работы по четыре «камня узла» будут лежать в лунках 55 и 27, по два — в лунках 56 и 28 кольца Обри. «Камень возраста Луны» переместится в лунку 15 кольца Z, а «камень поправок» — в лунку 29 кольца У. Линия узлов пройдет между лунками 55 и 56, 28 и 29 кольца Обри, внутри заштрихованного конуса. В этот день — 25 мая 1975 года произойдет полное лунное затмение

ский год — период синодического обращения Солнца относительно узлов лунной орбиты, который составляет 346,62 средних суток. Через 346,62 суток Солнце возвращается по эклиптике к одному и тому же узлу лунной орбиты. Поэтому в каждом следующем году группа затмений наступает на 18—19 дней раньше, чем в предыдущем.

Попробуем использовать кольцо Обри для моделирования обращения узлов лунной орбиты по отношению к Солнцу (его положение на эклиптике будем моделировать менгиром), кольцо Z — для определения фазы Луны и кольцо У — для учета поправок в положении линии узлов. Полный оборот относительно менгира («искусственного Солнца») линия узлов должна делать за 346,62 суток. Лунок Обри всего 56. Разделив 346,62 на 56, находим, что от одной лунки к другой узел должен передвигаться в течение 6,19 суток. Удобнее, однако, считать движение целыми сутками. Так как  $6,2 \times 5 = 31 = 6 \times 5 + 1$ , то можно передвигать узел от одной лунки к другой более ускоренно — за 6 суток, а через каждые 30 дней задерживать его на одни сутки. На этот момент задержки движения и должно указывать кольцо У. После 11 циклов по 31 дню узел приходит к лунке 55, а еще через 6 суток — к исходному положению. Таким образом, полный цикл обращения узлов составит 347 суток. На самом же деле период обращения узлов короче на 0,38 суток. Это дает за 50 лет поправку в 19 суток. Иначе говоря, на протяжении каждых пяти лет необходимо дважды ускорить движение узлов от лунки 55 к лунке 56 на одни сутки.

Строители Стоунхенджа могли использовать для фиксации положения узлов относительно менгира двенадцать (2 × 6) «камней узла», для определения фазы Луны — один «камень поправок». «Вычислительная машина» Стоунхенджа будет работать следующим образом.

Пусть в заданный день произошло затмение Солнца. Тем самым было зафиксировано положение линии узлов по отношению к Солнцу (Солнце находится на линии узлов). Учитывая симметричное расположение менгира относительно лунок 56 и 1, поместим три камня в лунку Обри 56 и три — в лунку 1 (и, соответственно, три в лунку 28 и три в лунку 29). В день солнечного затмения было новолуние, в этот день возраст Луны равнялся 30 дням. Положим «камень возраста Луны» в лунку 30 кольца Z, «камень поправок» — в лунку 30 кольца Y.

По установленному ритуалу, на следующий день (например, при восходе Солнца) один «камень узла» переносится из лунки 56 в лунку 1 (соответственно, из 28 в 29), «камень возраста Луны» — в лунку 1 кольца Z, «камень поправок» — в лунку 1 кольца Y. На другой день еще один камень переносится из лунки Обри 56 в лунку 1, из лунки 1 кольца Z в лунку 2, из лунки 1 кольца Y в лунку 2 и т. д. В день, когда возраст Луны составит 30 дней, три «камня узла» будут находиться в лунке Обри 5 и три — в лунке 6 (соответственно, по три в лунках 33 и 34). Чтобы ликвидировать накопившуюся погрешность в положении узлов, на 31-й день все двенадцать «каменной узла» и «камень поправок» остаются без движения, «камень возраста Луны» переставляется в лунку 1 кольца

Z. На 32-й день цикл кольца Y возобновляется, «камни узла» продолжают двигаться...

Каждый день та из лунок Обри имеет больший вес, в которой больше «камней узла». Это позволяет фиксировать положение узлов с высокой точностью.

Затмение происходит, когда направление линии узлов совпадает с положением менгира, играющего в этой модели роль искусственного Солнца. Если «камень возраста Луны» лежит в лунках 29, 30 или 1 кольца Z, то затмение будет солнечным, если же в лунке 15 или 16 — лунным. Точнее, «опасным» будет положение линии узлов не только между лунками Обри 56 и 1, но также от лунки 55 до лунки 2, а для солнечных затмений этот интервал еще шире — от лунки 54 до лунки 3.

Лунки колец Y и Z необходимы для независимой подстройки «вычислительной машины». Так, в каждое второе новолуние камень из лунки 29 кольца Z следует перенести в лунку 1, поскольку длительность синодического месяца равна 29, 53 суток. Круг Z расчета фаз Луны должен «работать» непрерывно. В круге Y каждый раз, как только линия узлов делает полный оборот, а «камни узлов» примут исходное положение по три в лунках 56 и 1, «камень поправок» снова устанавливается в лунке 30 (или же его можно оставлять в ней на протяжении последних 6 дней движения узла).

Таким образом, Стоунхендж — действительно, удивительная машина, позволяющая не только строго определять времена года, но и предсказывать солнечные и лунные затмения.

## НОВЫЕ КНИГИ

### КАК РАБОТАЮТ ЗЕМЛЕМЕРЫ?

В научно-популярной брошюре «Простейшие измерения на местности» (Изд-во «Недра», 1973 г., 2-е изд.) профессор В. Н. Ганьшин подробно излагает простейшие геодезические методы измерений. Это, — прежде всего, измерения длин линий (например, глазомерно, шагами, дальномером, рулеткой), горизонтальных углов, превышений и высот точек, а также приемы выполнения глазомерной съемки и составления плана небольшого участка местности.

На наш взгляд, строителям Стоунхенджа было вполне под силу такое (хотя, возможно, и неосознанное) моделирование системы Солнце — Земля — Луна. Было бы интересно после перерыва примерно в 3000 лет снова запустить эту машину.

Модель такой машины могут создать участники астрономических кружков. Удобнее, правда, сделать число лунок Обри равным 58. В этом случае отпадает необходимость в «кольце поправок». Приняв время движения узла от одной лунки Обри ко второй равным 6 суткам, найдем, что  $58 \times 6 = 348$ , что несколько больше продолжительности драконического года. Здесь, однако, достаточно в последний день цикла перенести из лунки 57 в лунку 58 не один, а два камня сразу. Это же следует делать дополнительно каждые три года.



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ  
АСТРОНОМИЯ

## Лето юных астрономов

По книге можно научиться вычислять площади участков, неприступные расстояния и высоты (ширину реки, высоту дерева или фабричной трубы), ориентироваться по странам света и определять направления меридиана (по Солнцу и Полярной звезде). Можно узнать, как выполняются измерительные работы на местности без специальных точных приборов, с использованием лишь треугольника, транспортира, компаса, рулетки, самодельного эккера и ватерлиаса.

Вероятно, всем знаком знаменитый «египетский» треугольник со сторонами 3, 4 и 5 м, с помощью которого в Древнем Египте строили на местности прямые углы. А вот какие углы можно построить с помощью треугольника со сторонами 17, 17 и 13 м, знают далеко не все. Не забыты в брошюре и способы «нивелирования» — определения превышений (разностей высот) точек. В книге представлены фотографии геодезических инструментов и формулы для решения наиболее трудных задач; есть также и рекомендации, как самому изготовить простые измерительные приборы.

Брошюра написана популярно и достаточно четко. Но, к сожалению, не обошлось без некоторых неточностей (стр. 7, 39, 59, 136) и досадных опечаток (например, на стр. 85 «положительные» вместо «положение»). На стр. 139—144 приведена таблица хорд, но в тексте нет на нее ссылок и пояснений. Оживили бы книгу и краткие исторические сведения.

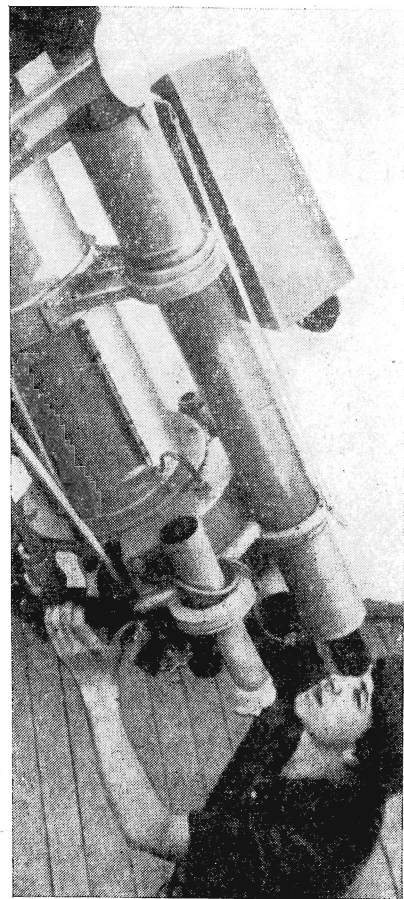
Брошюра будет полезна учителям и учащимся средних школ при выполнении измерений на местности, бригадирам тракторных и полеводческих бригад при работах на орошаемых участках и при севе квадратно-гнездовым методом, а также членам кружков ДОСААФ, изучающим топографию и ориентирование.

Профессор  
А. В. БУТКЕВИЧ

Три года подряд Клуб юных техников Сибирского отделения Академии наук СССР организует экспедиции в один из районов Новосибирской области. Юные астрономы выезжали наблюдать серебристые облака и заревой сегмент. («Земля и Вселенная», № 2, 1972 г., стр. 72—73.— Ред.) Экспедиции оснащались самодельным электрофотометром, призмным спектрографом, фотоаппаратами, кинокамерами и другими приборами. Хотя лето в 1972 и 1973 годах было не очень благоприятно для наблюдений, ребятам все же удалось получить более 2000 замеров яркости заревого сегмента и облаков. Сейчас Ирина Леонтьевская, Татьяна Синичкина, Андрей Литвинов заканчивают обработку этих наблюдений.

Традиционными становятся поездки ребят в обсерваторию Одесского государственного университета. Здесь они знакомятся с оборудованием обсерватории, принимают участие в фотоэлектрических и фотографических измерениях блеска звезд и, самое главное, работают в «стеклянной библиотеке» обсерватории, где собраны обширные наблюдения переменных звезд. Павел Григорьев, Владимир Демьяновский, Сергей Лебедев, Ирина Леонтьевская, Сергей Юрковский и другие ребята оценивали блеск звезд типа RR Лиры, Миры Кита и затменных переменных типа Алголя. Часть этого материала обработана и сдана в редакцию бюллетеня «Переменные звезды».

Летом 1973 года Андрей Литвинов, большой энтузиаст метеорной астрономии, более месяца провел в Гиссарской обсерватории Института астрофизики АН ТаджССР. Эта обсерватория



известна своими работами в области метеорной и кометной астрономии. Правда, из-за плохой погоды Андрею не удалось наблюдать Персеиды, но зато он детально ознакомился с раз-

Евгений Гончаров знакомится с 20-сантиметровым телескопом наблюдательной станции Маяки, принадлежащей Одесскому государственному университету



■ Эмблема летнего лагеря астрономов

■ Ночные наблюдения звездного неба

■ Валерий Демидов объясняет Александру Фролову из Новокузнецка устройство электрофотометра

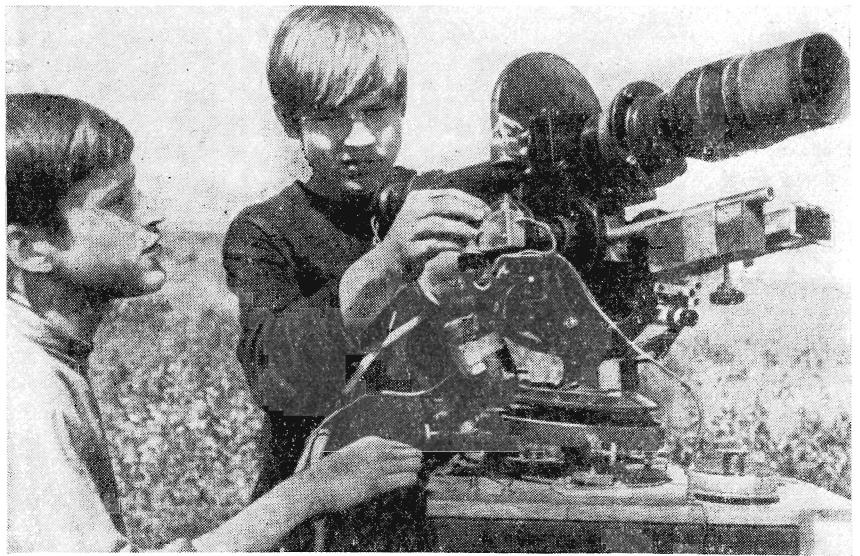
■ Первое знакомство с телескопом

■ Серебристые облака. Снимок сделан Александром Белоусовым в 1966 году

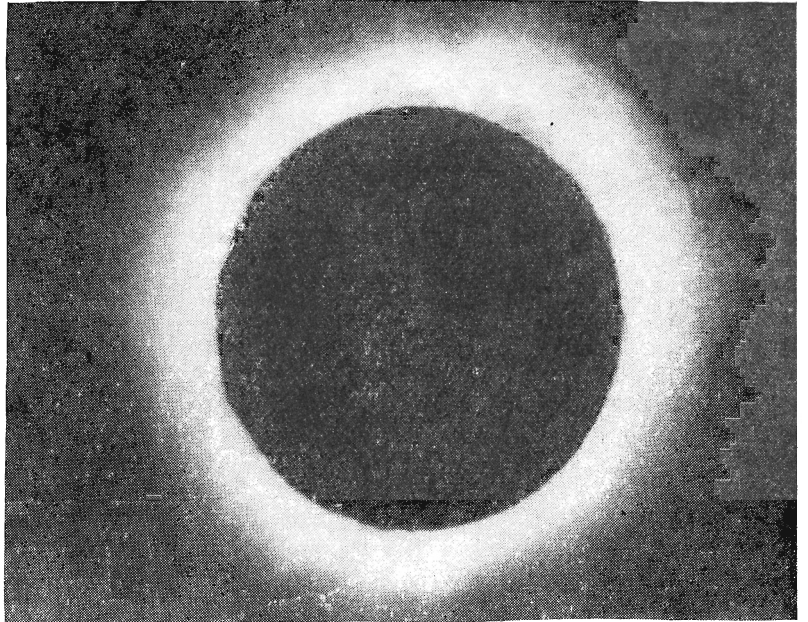
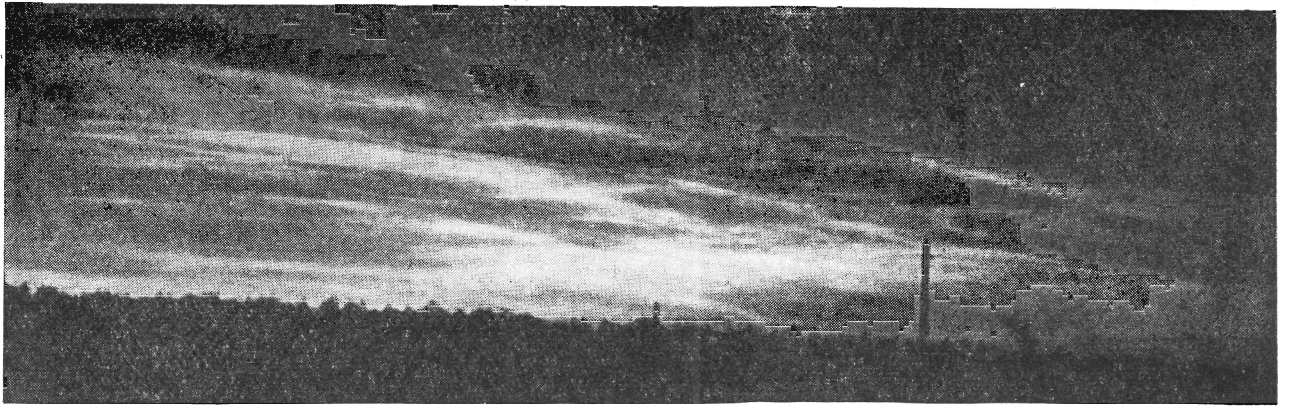
■ Луна. Анатолий Белкин получил этот снимок на 20-сантиметровом телескопе

■ Солнечная корона 22 сентября 1968 года. Корону сфотографировал на 10-сантиметровом телескопе фирмы «Карл Цейсс» Юрий Абрашитов

■ Участок лунной поверхности: в центре — большой кратер Архимед, сверху — горный хребет Апеннины, слева — Кавказ и Альпы. Фотография получена Анатолием Белкиным на 20-сантиметровом телескопе







нообразным оборудованием обсерватории.

Летом Клуб юных техников организует также лагерь «Юный астроном» и проводит семинары руководителей астрономических кружков и детских обсерваторий. Палаточный городок юных астрономов Новосибирска в 1972 году приветливо встретил ребят и их руководителей из Красноярска, Новокузнецка, Приморского края и Новосибирской области, из Уфы, Ленинграда, Тувинской АССР и ряда других городов и поселков. Участники лагеря отдыхали и занимались. Они выполняли лабораторные работы, учились наблюдать метеоры, переменные звезды, серебристые облака, слушали лекции. Неоценимую помощь в организации учебного процесса оказали научные сотрудники Сибирского института магнетизма и распространения радиоволн АН СССР, Института астрофизики АН ТаджССР, Астрономической обсерватории Одесского государственного университета Г. В. Куклин, А. М. Бахарев, В. П. Безденежный, учитель физики Н. А. Павленко, юные астрономы Симферополя. Это была хорошая астрономическая школа для всех участников летнего лагеря.

Прошлом лето знаменательно еще одним, правда, менее многочисленным сбором любителей астрономии. Наш лагерь располагался по соседству с районным пионерским лагерем «Лесная поляна». Как только бывало чистое небо, ребята демонстрировали пионерам Солнце, Луну, планеты, звезды. Они рассказывали им о своем лагере и о древней и прекрасной науке астрономии.

Очевидно, излишне задавать вопрос о том, чем занимались ребята прошедшей зимой. Конечно, они пытались наблюдать Солнце и звезды, готовились к летним экспедициям, обрабатывали полученные материалы, совершенствовали конструкцию старых приборов и изготовляли новые, занимались в обсерватории еще многими интересными для них делами.

**Заведующий астрономической обсерваторией Клуба юных техников Сибирского отделения АН СССР С. С. ВОЙНОВ**

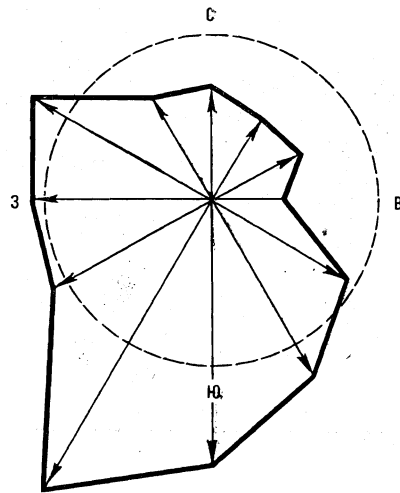
## СТРАНИЧКА НАБЛЮДАТЕЛЕЙ МЕТЕОРОВ

### НАБЛЮДЕНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ МЕТЕОРНЫХ ПОТОКОВ

Группа любителей астрономии средней школы № 18 города Армавира под руководством преподавателя Г. Н. Сизонова 17—22 октября 1973 года провела подсчет метеоров, видимых невооруженным глазом. В этот период действуют три метеорных потока. Самый обильный из них — Ориониды — связан с кометой Галлея и представляет собой частицы, выброшенные из ее ядра. Земля встречается с потоком в нисходящем узле его орбиты ежегодно около 22 октября. Скорость встречи достигает 66 км/сек, поэтому Ориониды быстрые, белые. Значительно менее интенсивный поток — Южные Ариетиды — имеет радиант в созвездии Овна. Максимум потока обычно приходится на 20 октября. Хотя поток известен с 1928 года, наблюдения его немногочисленны. Скорость Южных Ариетид невелика, порядка 20 км/сек, метеоры медленные, оранжевые. Еще один слабый поток — Цетиды (радиант действует 20 октября в созвездии Кита) — неуверенно наблюдался с конца прошлого века. В 1935 году он дал резкую вспышку активности — до 100 метеоров в час. (Сведения о потоках содержатся в «Астрономическом календаре. Постоянная часть». М., Изд-во «Наука», 1973 г.)

Наблюдения велись по традиционной методике: три-четыре наблюдателя одновременно следили за одной и той же областью неба поперечником 50°. Центр этой области находится в зените. Поле зрения каждого наблюдателя оконтуривалось проволочным кольцом. Кольцо вырезает в метеорном слое атмосферы площадь от 5500 до 7000 км<sup>2</sup>, в зависимости от высоты метеора. (Методика наблюдений изложена в книге В. В. Мартыненко «Задачи и методы любительских наблюдений метеоров». М., Изд-во «Наука», 1967 г.)

Всего за 1093 минуты было зарегистрировано 437 метеоров, которые по звездным величинам распределяются так:



Зв. величина  $\leq 0 + 1 + 2 + 3 + 4 + 5$   
 Кол-во метеоров 6 12 40 206 149 24  
 Строго говоря, число метеоров должно монотонно увеличиваться с ростом звездной величины. Но из-за неидеальных погодных условий и малого опыта наблюдателей потери слабых метеоров оказались большими.

Относительная активность потоков, то есть процентное отношение метеоров потока к общему числу, в ночи наблюдений было таким:

Дата, октябрь	17	18	20	21
Южные Ариетиды	7	8	8	6
Цетиды	14	16	17	11
Ориониды	15	22	30	36

Следовательно, 40—50% метеоров — спорадические, не принадлежащие к потокам.

Часовое число — количество метеоров, пересекших обозреваемую площадь за 1 час, — менялось в течение времени наблюдений следующим образом:

Южные Ариетиды	0,6 → 2,9
Цетиды	0,9 → 5,0
Ориониды	0,6 → 10,5

Рост активности потока объясняется, с одной стороны, приближением к максимуму, а с другой, — увеличением практических навыков молодых наблюдателей. Наблюдения после максимума, к сожалению, не состоялись.

Зная часовые числа и скорость метеоров, можно оценить среднее

■ «Роза направлений» метеорного потока. Диаграмма показывает, сколько процентов из числа спорадических метеоров двигалось по каждому из 12 румбов направлений. Круг на чертеже соответствует 100/12% от числа метеоров

Таблица 1

Звездная величина	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Количество (%)	0,6	4,8	20,2	34,2	29,8	8,9	1,8

Таблица 2

Созвездие	Дракон	Геркулес
Склонение, $\delta$	+55°	+39°
Прямое восхождение, $\alpha$	265°	269°
Число метеоров	33	16
Часовое число метеоров	3,6	1,8

Таблица 3

Дата ночи наблюдений	21/22	22/23	23/24
Предельная величина звезд	4,8	4,6	3,8
Число всех метеоров	35	77	56
Активность потока (%)	51	30	44
Часовое число Лирид	9,8	7,3	11,5

Таблица 4

Звездная величина	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
Число метеоров (%)	1	1	2	4	9	32	38	12	+1

### НЕОБХОДИМО ПОДТВЕРЖДЕНИЕ РАДИАНТОВ

Любители астрономии Винницкой областной станции юных техников сообщают о метеорных радиантах, которым они не нашли точного соответствия в каталогах. Наблюдения метеоров состоялись 28 июня — 1 июля 1973 года в поселке Гнивань. В работе участвовало около 60 человек, в основном школьники.

За 9 часов 5 минут чистого времени зарегистрировано 336 метеоров. Метеоры наносились на звездную карту; отмечались их характеристики согласно «программе максимум» (П. Г. Куликовский «Справочник любителя астрономии». М., «Наука», 1971 г.). Распределение метеоров по звездным величинам см. в табл. 1.

Значительные потери слабых метеоров свидетельствуют о неблагоприятных условиях наблюдений.

При рассмотрении зарисованных метеоров удалось выявить два слабых радианта в Драконе и Геркулесе и получить о них сведения (см. табл. 2).

В каталоге А. К. Терентьевой «Фотографические радианты малых потоков» («Астрономический календарь. Постоянная часть». М., «Наука», 1973 г.) приведены два радианта, близкие по положению и дате к радианту в созвездии Дракона. Один из них  $\zeta$ -Дракониды 252 + 69° (скорость метеоров 23,3 км/сек); другой —  $\mu$ -Дракониды 250 + 53° (скорость ме-

теоров 26,2 км/сек). Желательно подтвердить существование здесь радианта, действующего в конце июня.

### ЛИРИДЫ В 1974 ГОДУ

Метеорный отдел Московского отделения ВАГО провел наблюдения потока Лирид 21—24 апреля во Внуково (Московская область). Пять наблюдателей одновременно подсчитывали количество метеоров в околозенитной области диаметром 57°. За 420 минут чистого времени было замечено 165 метеоров, распределение которых см. в табл. 3.

Работу сильно осложняла облачность, временами закрывавшая до 60% обзораемой площади. Об этом свидетельствуют и низкая предельная величина звезд в зените, и полученное распределение метеоров по блеску, где отчетливо видна потеря слабых метеоров (см. табл. 4).

Согласно индексу активности, то есть отношению числа Лирид к числу всех метеоров, максимум потока пришелся на ночь 21/22 апреля. Индекс активности определяет изменения интенсивности потока более надежно, чем часовое число.

Во время наблюдений около звезды в Большой Медведицы удалось выявить неизвестный слабый радиант, в котором был замечен стационарный метеор. Такой метеор летит почти на наблюдателя и поэтому кажется неподвижной точкой.

Раздел ведет И. Т. ЗОТКИН

расстояние между частицами: в Южных Ариетидах 840—490 км, в Цетидах 680—380 км, в Орионидах 1070—430 км. Приведенные числа относятся только к достаточно крупным частицам (около 0,01 г), порождающим метеоры не слабее 5-й звездной величины. Более мелкие частицы при визуальных наблюдениях невооруженным глазом практически не регистрируются. (С методами обработки наблюдений можно познакомиться в брошюре И. Т. Зоткина «Наблюдения метеоров». М., Изд-во «Наука», 1972 г.)

Поскольку метеоры октябрьских потоков наблюдались близ зенита, удалось зарегистрировать азимут их полета. Оказалось, что большинство метеоров шло с северо-востока, то есть со стороны апекса — точки, куда направлена орбитальная скорость Земли.

### МАКСИМУМ МЕТЕОРНОГО ПОТОКА КВАДРАНТИД В 1974 ГОДУ

Более 20 человек — членов Крымского общества любителей астрономии — со 2 по 5 января 1974 года провели в районе Симферополя наблюдения потока Квадрантид. Этот зимний поток труден для наблюдений, так как отличается довольно кратковременным и острым максимумом. За 9 часов 20 минут зарегистрировано около 300 метеоров. Лишь 28 из них принадлежат потоку, остальные — спорадические. Условия видимости были средние: предельная величина звезд в зените не превышала 4,5.

Максимум Квадрантид отмечен 4 января между 4 и 6 часами Московского времени. В этот период часовое число метеоров достигало 11.

По нанесенным на карту метеорам определен радиант потока: прямое восхождение 227°3 и склонение +52°8.



ПО ВЫСТАВКАМ  
И МУЗЕЯМ

## Юбилейная экспозиция

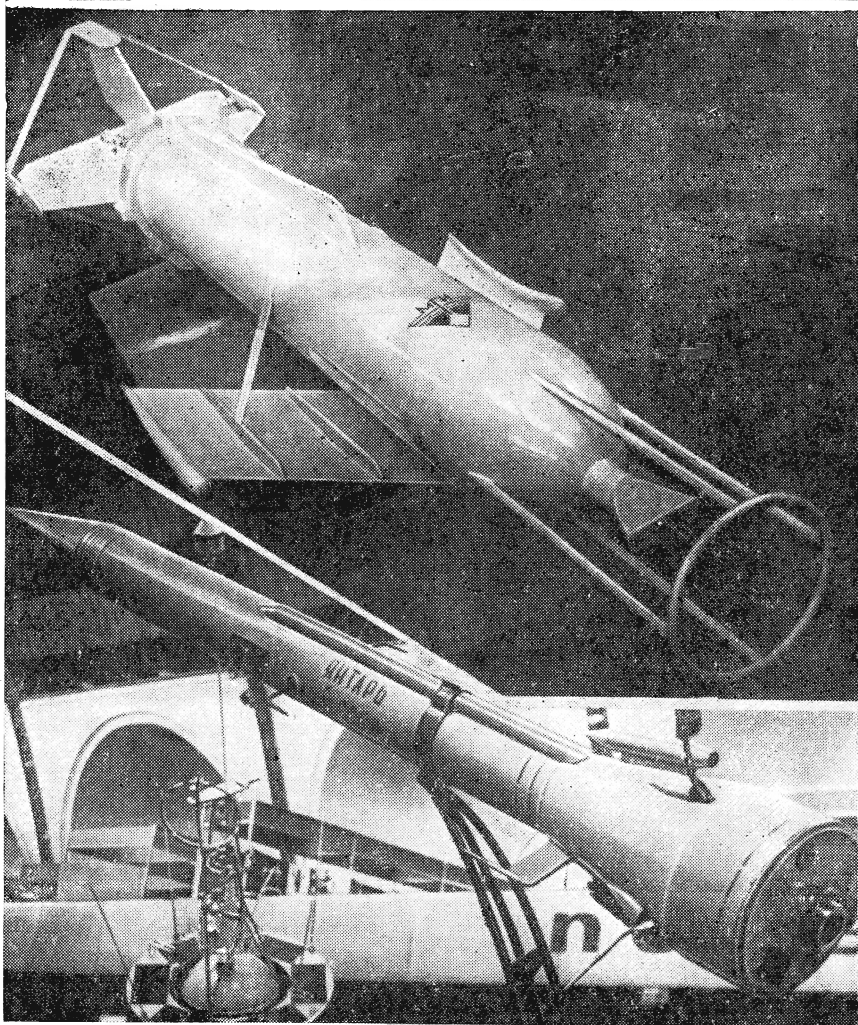
НА ВДНХ 5 июня открылась выставка в честь 250-летия Академии наук СССР. Все научные учреждения АН СССР, филиалы и научные центры Академий наук союзных и автономных республик представили свои материалы. В этой заметке мы расскажем лишь о тех экспонатах павильона «Космос», которые имеют отношение к астрономии, геофизике и исследованию космического пространства.

Среди экспонатов, знакомящих посетителей выставки со славными страницами прошлого Академии наук, — первый русский сейсмограф, сконструированный Б. Б. Голицыным, первые отечественные географические карты и описания, портреты русских академиков. Последовательный показ научных достижений помогает пред-

■  
*У входа на юбилейную выставку АН СССР*

■  
*Буксируемый измерительный комплекс «Нырок-2». Этот прибор, разработанный в Морском гидрофизическом институте АН УССР, позволяет изучать пространственное распределение температуры и электропроводности воды в поверхностном слое океана*

■  
*Автоматическая ионосферная лаборатория «Янтарь» с плазменно-ионным двигателем. В полетах лаборатории на высоте 100—400 км впервые была показана принципиальная возможность работы таких двигателей в верхних слоях земной атмосферы*





ставить, как развивалась отечественная наука в стенах академии — от разрозненных научных школ до современных многотысячных коллективов.

Большая экспозиция посвящена наукам о Земле, современным успехам геофизиков, изучающих все оболочки нашей планеты: твердую Землю, Мировой океан, атмосферу, космическое пространство. Стенды повествуют об открытии и освоении Курской магнитной аномалии — уникального клада железной руды. История освоения этого месторождения — это история формирования советской школы геофизиков. Сегодняшний день наук о Земле представлен картой сейсмического районирования СССР, а также многочисленными приборами для определения землетрясений. Наиболее интересны оригинальные приборы для регистрации сильных землетрясений. Разработаны они в Институте физики Земли имени О. Ю. Шмидта АН СССР.

Много сделали советские геофизики в области автоматизации наблюдений. В Институте физики Земли создан комплекс аппаратуры «Сапфир», который обеспечивает многоканаль-

ную регистрацию геофизических данных. Этот комплекс будет широко использоваться для централизованной обработки всей геофизической информации и, особенно, для прогноза землетрясений. Если заглянуть в ближайшее «завтра» сейсмологии, то можно представить, как из опасных, сейсмоактивных районов непрерывно поступают сигналы на разветвленную сеть аппаратуры комплекса. «Сапфир», получив сигнал, тут же может оценить параметры очага землетрясения (координаты, глубину, механизм), энергию толчка. Точно так же «Сапфир» собирает и обрабатывает данные о любых других геофизических полях, например, о состоянии околоземного космического пространства. Каждый желающий может увидеть приборы «Сапфира» в действии.

В разделе «Океанология» экспонируются измерители морских течений и турбулентных вихрей в океане, разработанные ведущими академическими институтами.

Ознакомившись с «земными» стендами выставки, посетитель попадает в раздел астрономии. На большой карте-схеме нашей страны изображены все астрономические и астрофизические обсерватории Советского Союза. Внимание привлекают два стенда, посвященных радиоинтерферометрии сверхвысокого разреше-

ния. Этот перспективный метод у нас в стране разрабатывают Институт космических исследований АН СССР и Научно-исследовательский радиофизический институт (город Горький).

Много новых экспонатов увидит посетитель выставки в эллинговом зале павильона «Космос». Это, прежде всего, макет советского спутника «Ореол», участвовавшего в совместном советско-французском эксперименте, метеорологическая ракета МР-12 и головной блок геофизической ракеты «Вертикаль». В подкупольной части павильона установлены два бюста: К. Э. Циолковский (автор — скульптор Д. Б. Рябичев) и Ю. А. Гагарин (автор — скульптор Ю. Г. Орехов). Здесь же представлены портреты русских и советских ученых — основоположников теоретической и практической космонавтики.

На юбилейной выставке, посвященной 250-летию Академии наук СССР, использованы все современные изобразительные средства, чтобы празднично, емко, доходчиво рассказать людям о трудном и славном пути отечественной науки от первых географических описаний до сложнейших экспериментов в космическом пространстве.

**В. В. БАЛАН**  
Фото В. А. Милюшенко

■ *Комплекс геофизической аппаратуры «Сапфир» обеспечивает многоканальную регистрацию самых разнообразных геофизических данных*



## УНИКАЛЬНЫЙ ТЕЛЕСКОП

В Абастуманской астрофизической обсерватории АН ГрузССР заканчивается монтаж 1,25-метрового телескопа (АЗТ-11). Его изготовило ордена Ленина Ленинградское оптико-механическое объединение. Такой же телескоп устанавливается и в Крымской астрофизической обсерватории АН СССР.

Новый телескоп — специализированный. Он предназначен для электрофотометрических, электроколориметрических и электрополяриметрических наблюдений небесных объектов. Эти наблюдения имеют одну особенность: измерения требуют гораздо меньше времени, чем подготовка к ним. Лишь полная автоматизация всех вспомогательных операций помогает сократить время, в течение которого световая энергия от небесного объекта не регистрируется. Новый телескоп полностью автоматизирован. Управляться он будет электронной вычислительной машиной АСВТ-М-6000.

Вращающийся купол башни телескопа имеет диаметр 12,5 м и изготовлен на тбилиском и руставском заводах.

В 30-х годах в Абастуманской обсерватории был установлен первый советский рефлектор, а в ближайшее время здесь начнутся испытания первого отечественного автоматического телескопа.

Кандидат физико-математических наук  
Г. Н. САЛУКВАДЗЕ

## СВЕТИМОСТИ РЕНТГЕНОВСКИХ ИСТОЧНИКОВ И МАССЫ СВЕРХПЛОТНЫХ ЗВЕЗД

Уже открыто более сотни источников рентгеновского излучения. За некоторым исключением, все они принадлежат нашей Галактике. Американские астрономы Б. Маргон и Дж. Острикер отобрали из полного списка рентгеновских источников те, для которых известны расстояния,

а следовательно, и мощность рентгеновского излучения. Сюда вошло и несколько источников в Магеллановых Облаках — ближайших к нам карликовых галактиках. У всех этих источников рентгеновская светимость примерно одинакова и не превышает  $10^{38}$  эрг/сек.

Большинство стационарных источников рентгеновского излучения — двойные системы, в которых имеется сверхплотная звезда с гигантским ускорением силы тяжести на поверхности и нормальная звезда, интенсивно теряющая свою массу. Рентгеновские источники светят за счет энергии, выделяемой при падении газа на сверхплотный компонент. Казалось бы, чем мощнее падающий поток газа, тем больше рентгеновское излучение сверхплотной звезды. Однако, если поток очень мощный, то выходящее излучение начинает отталкивать падающий газ и энерговыделение не увеличивается выше определенного предела. Критическая светимость для сверхплотной звезды с массой в одну солнечную составляет примерно  $10^{38}$  эрг/сек. Наблюдаемая верхняя граница светимостей рентгеновских источников совпадает с этой величиной. По-видимому, массы сверхплотных звезд в рентгеновских источниках не превосходят одной солнечной. Значит, массивные звезды теряют почти всю свою массу к моменту, когда их эволюция завершается образованием сверхплотного остатка в виде, например, нейтронной звезды.

Поскольку светимость большинства рентгеновских источников прак-

тически одинакова, их можно использовать в будущем как «стандартную свечу» при определении расстояний до внегалактических объектов, в которых источники удастся обнаружить.

«Astrophysical Journal», 186, 1, 1973.

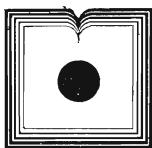
## НОВОЕ О СОСТАВЕ МЕЖЗВЕЗДНОЙ СРЕДЫ

Во время ультрафиолетовых спектральных наблюдений на спутнике «Коперник» (США) были обнаружены многочисленные линии поглощения, принадлежащие атомам и ионам межзвездного газа. Эти линии, видимые в спектрах горячих звезд, возникают при поглощении их излучения межзвездным газом. В ультрафиолетовом диапазоне линии межзвездного газа гораздо интенсивнее, чем в видимой области. Поэтому именно ультрафиолетовые линии поглощения выбраны в качестве индикаторов содержания элементов в межзвездном газе.

Оказалось, что содержание различных химических элементов в межзвездном газе заметно отличается от содержания их в составе Солнца и звезд. Например, в направлении на созвездие Змееносца обнаружен дефицит почти всех наблюдаемых химических элементов. Отношение числа атомов различных элементов на луче зрения к числу атомов водорода в 3 и более раз меньше, чем в солнечном веществе. Лишь для азота и серы это отношение нормальное. Столь неожиданный результат противоречит прежним представлениям, согласно которым химический состав межзвездного газа соответствует солнечному. Правда, наблюдаемая аномалия химического состава межзвездного газа может иметь локальный характер и быть связанной, например, с выбросом звездного вещества, прошедшего определенные этапы термоядерной переработки.

«Bulletin of the American Astronomical Society», 5, 4, 1973.





КНИГИ  
О ЗЕМЛЕ  
И НАС

## Хронология извержений

«Наступило 24 августа 79 года — день, ознаменовавшийся землетрясением. Из впадины на вершине Соммы, словно высокий столб с расходящимися в стороны ветвями, поднялось белое с грязно-темными пятнами облако, затем ставшее черным,....» — так начинается вышедшая недавно книга старейшего советского вулканолога В. И. Влодавца «Вулканы Земли» в серии «Настоящее и будущее Земли и человечества». (М., Изд-во «Наука», 1973 г.).

О вулканах написано много, сняты десятки фильмов, им посвящены специальные монографии и популярные статьи. Поэтому перед автором книги стояла необычайно сложная задача: в популярной форме дать не только описание главных действующих вулканов на земном шаре, но и рассказать, как современная вулканология, накопившая огромный фактический материал об этом грозном явлении, учится предугадывать извержения и разрабатывать способы защиты от них.

В. И. Влодавец подчеркивает, что хотя не все извержения приводят к несчастьям, тем не менее каждый вулкан может в той или иной степени стать источником трагических событий. Извержения бывают различной силы, но к катастрофическим относятся лишь те, которые сопровождаются гибелью людей и материальных ценностей. Автор приводит описания нескольких таких катастроф.

В 1631 году произошло извержение Везувия. Лавовый поток вырвался из кратера и, растекаясь огненными реками, разрушил частично или полностью девять поселений, при этом погибло около 3 тыс. человек.

26 марта 1669 года, в 11 часов утра



началось сильное землетрясение вблизи вулкана Этна, на острове Сицилия. Вслед за этим в воздух поднялась огромная туча пепла. Вершина вулкана обрушилась, и последовал заключительный акт драмы — лавовый поток приблизился к городу Катанья, а 15 апреля лава достигла бастионов северо-западной части города. Жители Катаньи, боясь, что лава ворвется в город, замуровали ворота. Пять дней люди вели непрерывную борьбу с надвигающейся катастрофой. В результате извержения пострадали 18 поселений и большой город Катанья.

Извержение вулкана Кракатау в 1883 году автор описывает следую-

щим образом: «26 августа, в 13 часов жители острова Явы, находившиеся на расстоянии 160 км от Кракатау, услышали шум, похожий на гром. В 14 часов над вулканом поднялась черная туча высотой около 27 км. В 14 часов 30 минут были слышны частые взрывы, и шум все время усиливался. В 17 часов произошло первое цунами, которое, вероятно, было вызвано обрушением кратера...». Погибло 36 417 человек, были уничтожены здания, полотно железной дороги, посеяны, леса, сады. В. И. Влодавец подсчитал, что общее число жертв от деятельности вулканов за период с 1914 по 1970 год — 240 000 человек.

Как и где возникают вулканы, можно ли своевременно обнаружить извержение, предупредить людей о приближении опасности и ослабить его разрушительное действие? Ответы на эти вопросы мы находим в книге В. И. Влодавца. Он подробно рассказывает о происхождении и особенностях грозных сил природы, об их влиянии на человеческую деятельность.

С интересом читаются страницы, посвященные прогнозу вулканических извержений и защите от них. Извержению обычно предшествуют сильные или средней силы землетрясения, частоты их меняются по-разному на участках непосредственно у вулкана или в некотором удалении от него. Эти и ряд других признаков позволили с точностью до нескольких месяцев предсказать извержения вулканов на Новых Гебридах, Курильских островах, Филиппинах, в Японии и других районах.

А как отвести угрозу, если извержение уже произошло? В этом случае важную роль приобретают бомбарди-

ровки кратеров или бортов лавовых потоков с воздуха, создание различного рода дамб, проведение туннелей к кратеру для спуска накопившейся воды и т. д. В 1955 году во время извержения вулкана Килауэа, чтобы отклонить широкий язык лавового потока, в течение 4 часов при помощи шести бульдозеров был создан вал высотой около 3 м и длиной 300 м.

Книга В. И. Влодавца доступна каждому, кто интересуется вулканизмом нашей планеты. Она открывает читателю мир событий, происходящих в глубинах и на поверхности Земли.

Кандидат геолого-минералогических наук  
**А. Я. САЛТЫКОВСКИЙ**

## НОВЫЕ КНИГИ

### КНИГА О НИКОЛАЕ КОПЕРНИКЕ

В 1974 году издательство «Наука» выпустило монографию И. Н. Веселовского и Ю. А. Белого «Николай Коперник», в которой подробно, очень образно и интересно рассказывается о жизни и деятельности великого польского астронома. «Внешне жизнь Коперника,— пишут авторы,— была небогата событиями. Лишь постоянные притязания на северопольские земли соседнего Тевтонского ордена, угрозы, сменявшиеся грабительскими набегами и прямыми военными действиями, омрачали и осложняли ее. За исключением лет учения в Кракове, а затем на родине гуманизма — в Италии,— почти вся его сознательная жизнь прошла в одном из самых глухих уголков Европы — маленьком городке Фромборке, расположенном на побережье Балтийского моря строго на север (буквально на одном меридиане) от тогдашней польской столицы Кракова. И вот в этом «медвежьем углу» Коперником были выполнены исследования, влияние которых на умы людей, на последующее развитие науки трудно переоценить.

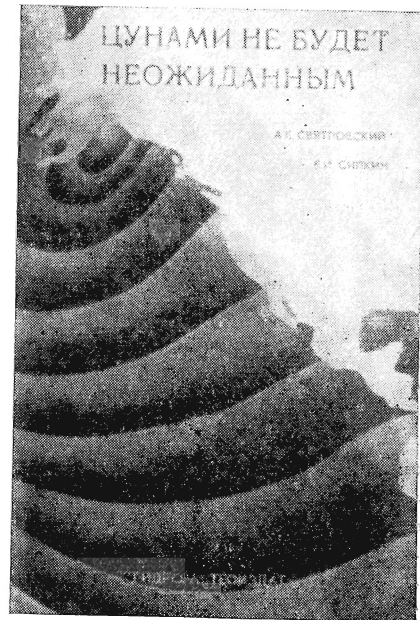
Книга состоит из введения «Николай Коперник и естественно-научная революция Нового времени»; двадцати трех небольших глав, посвященных различным периодам жизни ученого и анализу основных положений его теории; заключения и справочного раздела. Последний содержит «Основные даты жизни и деятельности Коперника», «Библиографический указатель», «Толковый словарь астрономических и историко-астрономических терминов», «Именной указатель».

## «Большая волна»

В небольшой по объему (123 стр.) научно-популярной книге А. Е. Святловского и Б. И. Силкина «Цунами не будет неожиданным» (Л., Гидрометеоиздат, 1973 г.) в живой и увлекательной форме рассказывается о грозном природном явлении — цунами. «Цунами» — японское слово, образованное из двух иероглифов; первый читается как «tsu», что означает «гавань», второй «nami» — «большая волна». Однако формальный термин не дает представления о грандиозности и многообразии этого явления. Гораздо лучше раскрывают его содержание описания очевидцев. Вот, например, одно из значительных цунами, описанных в книге: «... 1896 год. Япония, Остров Хонсю. 15 июня... во второй половине дня стали ощущаться далекие подземные толчки... Здесь они (люди) увидели, что море отошло от берега намного дальше, чем при обычном отливе. В восемь часов вечера послышалось могучее шипение и свист, как будто десятки поездов приближались на всех парах. Шипение перешло в грохот, и океан обрушился на берег шестью или семью волнами высотой до 35 м, с интервалами от 7 минут до получаса.

Когда вода ушла, оставшиеся в живых с ужасом подвели итоги: 27 тысяч убитых, сотни тысяч раненых...

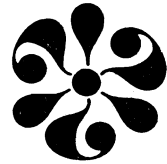
Цунами—это гигантские волны, эпизодически возникающие в результате землетрясений, происходящих на дне океана. В рецензируемой книге подробно и интересно рассказывается об этом явлении начиная с древних времен и до наших дней, приводятся многие свидетельства очевидцев и специальные наблюдения ученых. В популярной форме, но достаточно



строго излагается физическая суть цунами.

Авторы убедительно доказывают, иллюстрируя свои доводы яркими примерами, что цунами—детище землетрясений. Однако не каждое подводное землетрясение вызывает свою «мрачную тень» — цунами. Для этого необходимо многое: чтобы подземный толчок обладал определенной силой, чтобы его очаг лежал неглубоко, чтобы он повлек за собой перемещение целых блоков земной коры или хотя бы вызвал оползни в подводных хребтах и долинах... Авторы приводят наглядную схему возникновения цунами в результате сброса (вертикального сдвига) участка морского дна. Оказывается, горизонтального смещения





ОТВЕТЫ  
НА ВОПРОСЫ  
ЧИТАТЕЛЕЙ

земной коры еще недостаточно для рождения цунами. Таким образом, внимательный читатель получит много полезных сведений и о строении земной коры, и о тектонически активных ее областях.

Описав основные источники цунами в Мировом океане, авторы переходят к анализу распространения волн и объяснению их разрушительных действий у берегов. Здесь читатель узнает, что скорость и направление распространения волн цунами и его интенсивность у берегов в значительной степени определяются рельефом дна океана. Например, цунами от чилийского землетрясения 1960 года «прибежало» к берегам острова Тасмания за 12 часов, то есть его скорость была около 825 км в час. Бывают волны и еще «проворнее», они пробегают 1000 км в час. Правда, вдали от суши эти волны не опасны, так как в открытом океане они как бы растягиваются. Опасными волны цунами становятся на мелководье. Здесь по мере уменьшения глубины и увеличения трения скорость затухает, а высота волны становится чудовищной. К тому же цунами влияют на столб воды от самого дна до поверхности. У побережья волна опрокидывается, смывая и разрушая все на своем пути.

Может ли сегодняшняя наука дать прогноз цунами? В некотором, хотя и ограниченном смысле — да. Особое внимание уделяется в книге проблеме защиты от цунами и Службе цунами. Описаны принципы осуществляемых в настоящее время краткосрочных прогнозов цунами и трудности долгосрочного прогноза. Более десяти лет на Тихом океане действует специальная международная сеть, связывающая

организации, которые следят за цунами в Японии, на Советском Дальнем Востоке, на Гавайях, Аляске, Алеутских островах и Тихоокеанском побережье континентальной части США. Эта сеть состоит из цунаместанций, подчиненных государственным метеорологическим управлениям.

В книге приводятся примеры оповещения о цунами, которыми наука может гордиться (1952, 1957 гг.). Служба предупреждения цунами у нас в стране с 1958 по 1968 год не пропустила ни одного значительного цунами. В книге ярко отражена роль советских ученых в исследовании этого явления.

К недостаткам книги следует отнести иногда чрезмерное стремление авторов упростить или излишне оживить изложение. В то же время некоторые вопросы, затронутые авторами в общей форме (влияние вращения Земли, дисперсия волн), вероятно, будут непонятны неподготовленному читателю. Их следовало бы изложить подробнее, или вообще не помещать в популярной книге. Впрочем, недостатки эти не имеют принципиального характера. Книга безусловно интересна и полезна широкому кругу читателей. В ней представлен список литературы, к которому он может прибегнуть, желая более углубленно ознакомиться с предметом.

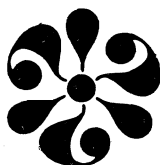
Кандидат географических наук  
Ю. А. ИВАНОВ

Уважаемые товарищи!

В «Неделе» [№ 4 за 1974 г.] была опубликована статья о новой гипотезе, пытающейся раскрыть тайну Тунгусской катастрофы 1908 года. Американские астрофизики Джексон и Рейн предположили, что в бассейне реки Подкаменная Тунгуска 30 июня 1908 года в земной шар врезалась черная дыра. Американские астрофизики рассчитали, что если черная дыра вошла в земной шар под углом  $30^\circ$  к горизонту со скоростью 30 км/сек, то она должна была выйти в Атлантическом океане, где-то между островом Ньюфаундленд и Азорскими островами. Поэтому авторы гипотезы пытаются найти следы этого события в вахтенных журналах судов, плававших в тот день в указанном районе.

В провинции Квебек в Канаде, недалеко от острова Ньюфаундленд, открыт один из самых больших в мире кратеров Чабб диаметром 3,5 км. Он имеет округлую форму и заполнен водой, вследствие чего его глубина не определена. Кратер образован в мощных гранитах, но метеоритные осколки возле него не обнаружены. В свете гипотезы американских астрофизиков у меня возникло предположение, что именно здесь черная дыра могла выйти из земного шара без взрыва. При прохождении через толщу Земли сверхплотное космическое тело могло толкать перед собой огромную массу вещества, вследствие чего и получился большой кратер. Так ли это!

И. Л. ПОЛЯКИН  
Ташкент



ОТВЕТЫ  
НА ВОПРОСЫ  
ЧИТАТЕЛЕЙ

По просьбе редакции это письмо комментирует аспирант Физико-технического института А. Г. ПОЛНАРЕВ.

Исследование картины поваленного на сотни квадратных километров леса в районе Подкаменной Тунгуски позволило, хотя и весьма грубо, определить количество энергии, вызвавшей столь грандиозное явление. Оказалось, что выделилась такая же энергия, как при взрыве атомной бомбы с тротильным эквивалентом от 0,2 до 20 мегатонн ( $10^{22}$ — $10^{24}$  эрг). Может ли столкновение Земли с черной дырой привести к выделению энергии? Ведь основное свойство черной дыры в том и состоит, что из нее ничто не выходит — ни частица, ни свет, а следовательно, ни энергия, ни информация. Но черная дыра, двигаясь с большой скоростью в атмосфере Земли (или в любом другом веществе), создает своим гравитационным полем ударные волны. Благодаря им и может выделиться энергия, вызывающая сильные разрушения.

Представить себе, что происходит при движении объекта в газе, легче всего в системе отсчета, сопутствующей объекту. Тогда объект (черная дыра) будет покоиться, а газ набегать на него с некоторой скоростью. Какова эта скорость? Поскольку черная дыра пришла к Земле из далеких глубин Вселенной, то ее скорость у Земли не меньше второй космической (11 км/сек). Это означает, что черная дыра будет двигаться в земной атмосфере со скоростью, намного превышающей скорость звука (около 300 м/сек). Известно, что

движение тел в газе со сверхзвуковой скоростью обязательно приводит к ударным волнам. Вещество в ударной волне сильно сжато и нагреето (по оценке Джексона и Рейна, температура может достигать 10—100 тыс. градусов). Очевидцы заметили в момент падения Тунгусского метеорита «яркую голубую трубку». Это вполне могла быть ударная волна, подобно шлейфу раскинувшаяся за невидимой черной дырой.

В чем же проявляется специфика черной дыры при объяснении Тунгусского метеорита? Ведь любой метеорит (не черная дыра), прилетевший «издалека», тоже двигался бы в атмосфере со сверхзвуковой скоростью и тоже создавал бы ударную волну. Но при движении любого тела, кроме черной дыры, ударная волна возникает в результате столкновения частиц газа с лобовой поверхностью тела. А «лобовой» поверхности как раз и нет у черной дыры! Она взаимодействует с окружающими телами только своим полем тяготения. Частица, падающая прямо к центру черной дыры, никогда не наткнется на какую бы то ни было твердую поверхность. Именно по этой причине удар черной дыры о поверхность Земли не будет сопровождаться взрывом, при котором летят во все стороны осколки, оплавляются и испаряются породы. Отсутствие кратера в месте падения Тунгусского метеорита обычно объясняли взрывом твердого тела в воздухе. Джексона и Рейна предложили свою гипотезу, ибо у черной дыры вообще нет никакой поверхности и она не может взрываться.

При пролете черной дыры через

атмосферу Земли часть вещества атмосферы падает на нее, или, как говорят ученые, аккрецируется черной дырой. Частицы остального вещества под действием достаточно сильного гравитационного поля черной дыры искривляют свои траектории, соударяются друг с другом, в результате чего и возникает ударная волна.

Теория аккреции на черные дыры позволяет связать энергию, заключенную в ударной волне, с массой и скоростью черной дыры. (В это соотношение входят также некоторые параметры газа; в данном случае — известные параметры земной атмосферы.) Согласно расчетам, масса черной дыры, приведшей к Тунгусской катастрофе, составляет  $2 \cdot 10^{-8}$ — $2 \cdot 10^{-6}$  массы Земли. Гравитационный радиус Солнца, то есть радиус, на котором черная дыра с солнечной массой создает бесконечно большие силы гравитационного притяжения, равен 3 км. Для Земли, масса которой в 300 тыс. раз меньше солнечной, гравитационный радиус не превышает сантиметра, а гравитационный радиус рассматриваемой черной дыры измеряется в ангстремах ( $1 \text{ \AA} = 10^{-8}$  см). При своем движении черная дыра захватывает все вещество, заключенное в цилиндре с радиусом  $r_g \left(\frac{c}{V}\right)^2$ , где  $r_g$  — гравитационный радиус черной дыры,  $c$  — скорость света в вакууме,  $V$  — скорость черной дыры. Для черной дыры с массой  $10^{-8}$ — $10^{-6}$  солнечной радиус захвата порядка  $10$ — $10^3$  см. Отсюда видно, что возникновение кратера диаметром 3,5 км ( $3 \cdot 10^5$  см) маловероятно, хотя полностью исклю-

чить такую возможность нельзя. Скорее всего, пройдя всю Землю насквозь и став массивней лишь на сотые доли процента, черная дыра породит по дороге внутренние сейсмические волны, а затем — волны в океане и вновь вылетит в атмосферу Земли, где, случись это все на самом деле, она проявилась бы такой же «яркой голубой трубкой», как и в бассейне реки Подкаменная Тунгуска.

Последний вопрос, которого стоит вкратце коснуться: могут ли быть черные дыры такой малой массы? В результате звездной эволюции образуются черные дыры с массой, в 2 раза или более превосходящей солнечную. Английский ученый С. Хоукинг полагает, что маленькие черные дыры могли бы существовать «извечно». Они возникли, когда звезд и в помине не было — на ранних стадиях расширения Вселенной, из первоначальных возмущений плотности. Это — так называемые первичные, или реликтовые, черные дыры. Однако большинство ученых считает такую возможность крайне маловероятной.

Как видите, много гипотез, много неопределенностей. К сожалению, пока никто не может с уверенностью сказать, явилась ли черная дыра причиной Тунгусской катастрофы или нет. Заметим, что специалисты относятся к этой гипотезе весьма скептически.

**Расскажите, пожалуйста, о комете Аренда — Ролана и ее исследованиях.**  
В. М. КОПНИН

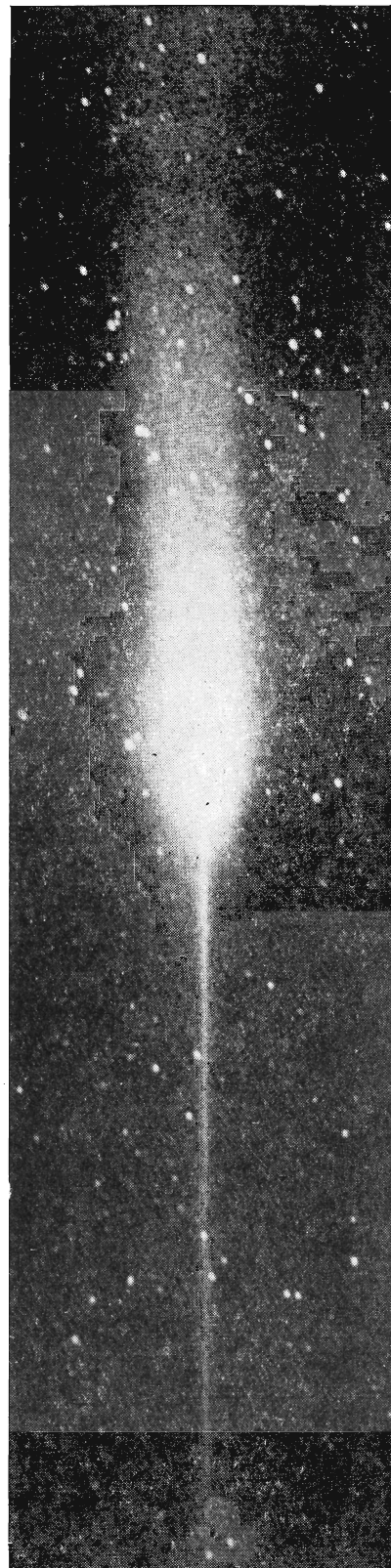
Село Н-Еделево Горьковской области.

Эту просьбу читателя журнала выполняет кандидат физико-математических наук В. А. БРОНШТЭН.

Эту комету открыли бельгийские астрономы С. Аренд и Г. Ролан на фотографиях, полученных 6 и 8 ноября 1956 года. Фактически открытие состоялось 19 ноября, когда были просмотрены пластинки. Потом выяснилось, что еще 14 сентября комету сфотографировали в Зоннеберге (ГДР), после чего там сделали еще несколько снимков кометы, по которым уже в октябре могли бы вычислить ее орбиту. Но эти фотографии, так же как и полученные на японской обсерватории Конко, не были просмотрены своевременно, и честь открытия досталась бельгийцам.

При открытии комета была 10-й величины и не имела хвоста. Расчеты показали, что комета должна была пройти перигелий 8 апреля 1957 года. По мере приближения к перигелию блеск ее возрастал, и в марте она уже стала видна невооруженным глазом. 2 апреля после соединения с Солнцем комета достигла 2-й величины. Орбита ее была наклонена к эклиптике на  $120^\circ$ , и комета перемещалась обратным движением. В начале ноября она находилась в созвездии Треугольника, затем, описав дугу, перешла в южное полуша-

■  
*Комета Аренда — Ролана. Видны широкий, главный хвост кометы, направленный от Солнца, и узкий хвост, вытянутый к Солнцу*



рие, а после 21 апреля вновь вернулась в северное. Наступил период, благоприятный для наблюдений кометы в СССР. На советских обсерваториях было получено много фотографий кометы.

В конце апреля у кометы наблюдалось два хвоста: главный, длиною до  $25^\circ$ , направленный, как и полагается, от Солнца, и второй, узкий хвост, напоминавший острую иглу, вытянутую от ядра кометы к Солнцу. Некоторые ученые сочли его аномальным. Но после того как в течение нескольких дней астрономы наблюдали поворот хвоста, стало ясно, что в действительности он направлен от Солнца почти под прямым углом к радиусу — вектору. Кажущийся поворот хвоста объясняется тем, что 25 апреля Земля пересекла плоскость орбиты кометы, в которой и был расположен псевдоаномальный хвост, внешне похожий на широкий, но тонкий веер. Длина хвоста равнялась 10 млн. км, ширина (в плоскости орбиты) — не более 13 тыс. км. Главный хвост протянулся на 40 млн. км, голова же кометы имела поперечник 200 тыс. км. 2 мая псевдоаномальный хвост исчез.

Главный хвост имел непрерывный спектр и был слегка изогнут. Это позволило профессору Б. А. Воронцову-Вельяминову отнести его ко II типу по классификации Бредихина. Хвост состоял из мельчайших пылинки. Но внутри него наблюдались газовые струи, характерные для хвостов I типа. В спектре головы обнаружили полосы углерода ( $C_2$ ), циана (CN) и натрия (Na), интенсивность которых испытывала колебания.

10 марта 1957 года американский астроном Дж. Краус сообщил, что им замечены признаки радиоизлучения кометы на волне 11 м. Однако это излучение исходило не из головы кометы, а из области хвоста, расположенной в 10 млн. км от ядра. 20—21 апреля излучавшая часть хвоста словно отделилась и начала удаляться от Солнца. 9 апреля В. Кокеленберг в Бельгии зарегистрировал радиоизлучение кометы на длине волны 50 см. Оно тоже исходило из хвоста. В то же время астрономы в Двингелло (Голландия) и в Сиднее не обнаружили

никаких следов радиоизлучения кометы, так что вопрос о том, наблюдалось ли оно в действительности, не был решен.

Комета Аренда — Ролана, получившая окончательное обозначение 1957 III, наблюдалась до 7 июня 1958 года, когда она была уже 20-й величины. Ее орбита близка к параболе, поэтому мы вряд ли когда-либо вновь увидим эту комету. Но ее наблюдения, проведенные в 1956—1958 годах, внесли ценный вклад в физику комет.

#### НОВЫЕ КНИГИ

#### ПОПУЛЯРНО О БЕСКОНЕЧНОСТИ

В нынешнем году издательство «Знание» выпустило книгу В. Н. Комарова «По следам бесконечности», в которой просто и доходчиво на ряде примеров из философии, астрономии, космологии, физики и математики дается представление о сложной и чрезвычайно важной проблеме — проблеме бесконечности.

Понятие бесконечности имеет богатое и разнообразное содержание, причем, как показано в книге, на разных этапах развития науки выдвигаются на первый план те или иные «типы бесконечности». Поэтому автор рассказывает об истории развития идеи бесконечности — от ее зарождения в науке древних до современных представлений.

Особое место в книге уделяется бесконечности Вселенной, связи геометрических свойств окружающего нас мира с распределением материи, с физическими условиями в различных областях Вселенной, с удивительными свойствами недавно открытых космических объектов.

Книга В. Н. Комарова адресована широкому кругу читателей: она будет понятна и интересна многим школьникам и студентам, преподавателям астрономии и лекторам.

# 5 СЕНТЯБРЬ ОКТАБРЬ 1974 И 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 физ.-мат. наук Д. Я. МАРТЫНОВ  
Ответственный секретарь кандидат пед. наук Е. П. ЛЕВИТАН  
Член-корреспондент АН СССР Г. А. АВСЮК, доктор географ. наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗОТОВ, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географ. наук В. Г. КОРТ, доктор физ.-мат. наук Р. В. КУНИЦКИЙ, доктор физ.-мат. наук Б. Ю. ЛЕВИН, кандидат физ.-мат. наук Г. А. ЛЕЙКИН, академик А. А. МИХАЙЛОВ, доктор физ.-мат. наук И. Д. НОВИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Ф. ОГОРОДНИКОВ, доктор физ.-мат. наук Г. Н. ПЕТРОВА, доктор геол.-мин. наук Б. А. ПЕТРУШЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук В. В. РАДЗИЕВСКИЙ, доктор физ.-мат. наук Ю. А. РЯБОВ, доктор техн. наук К. П. ФЕОКТИСТОВ

Адрес редакции: 117333 Москва, В-333, Ленинский пр., д. 61/1. тел. 135-64-81 135-63-08

Художественный редактор

Л. Я. Шимкина

Корректоры: С. М. Кристьянпольер, А. Н. Федосеева

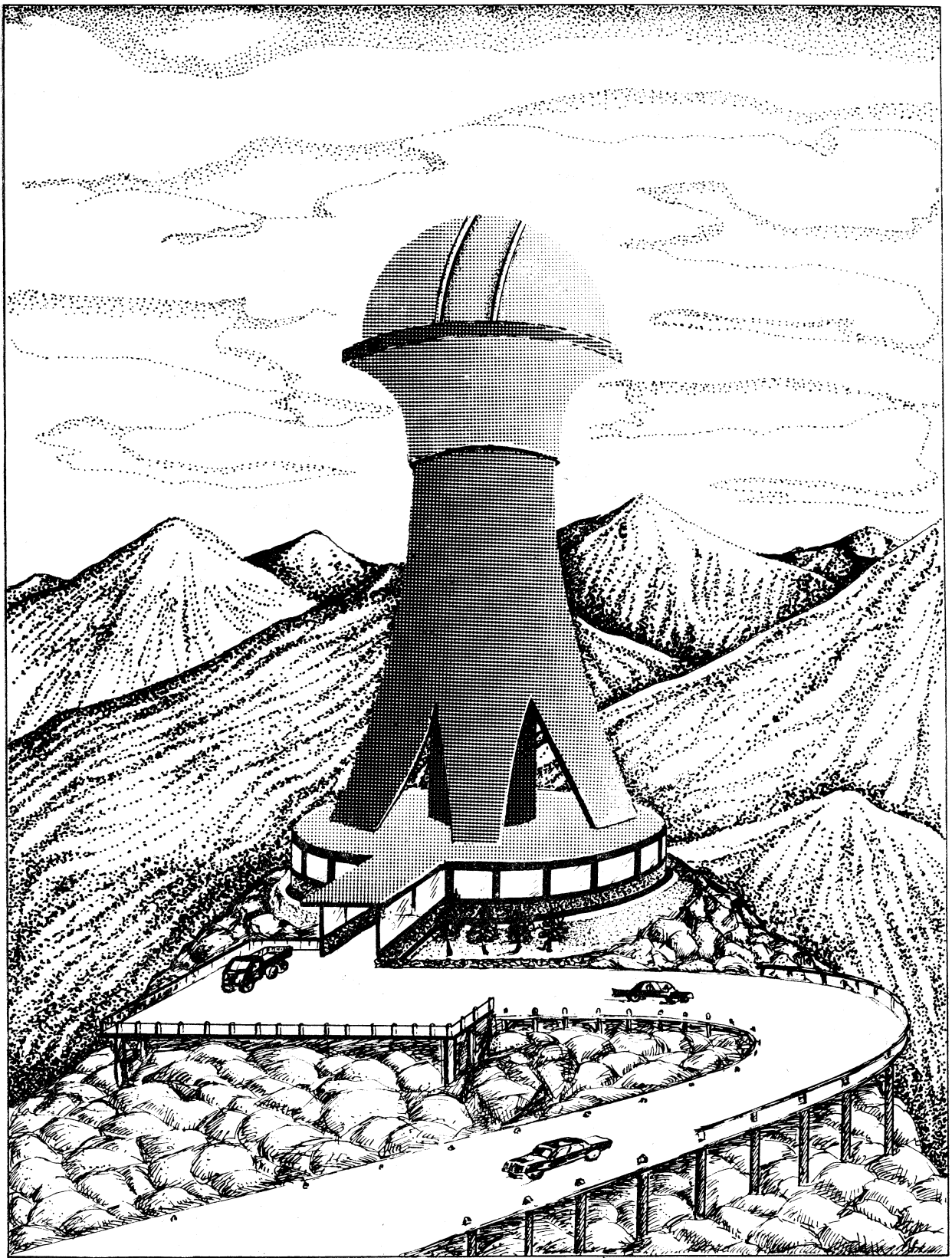
При перепечатке ссылка на журнал «Земля и Вселенная» обязательна.

Оформление обложки

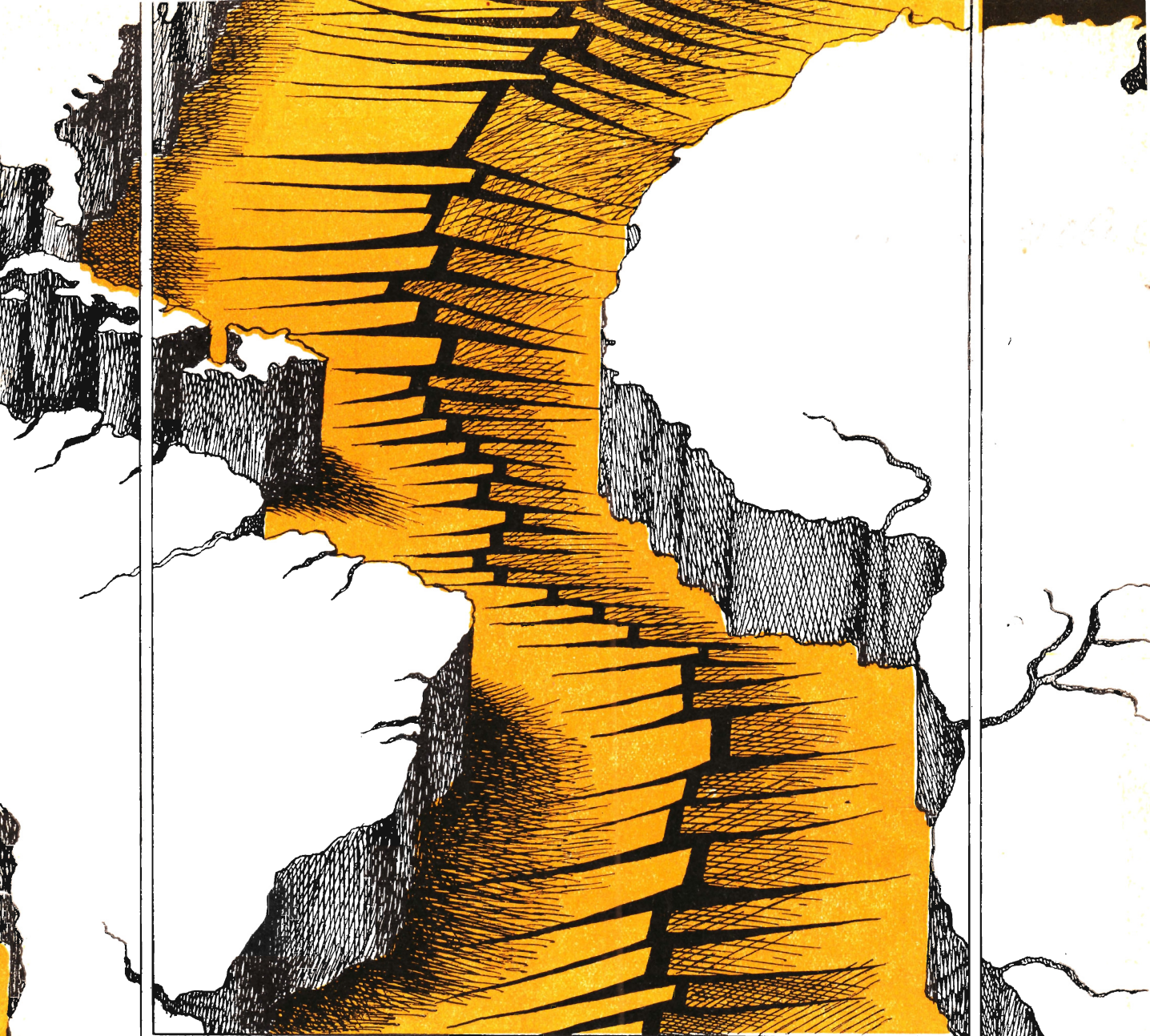
М. М. Верхованцева

T-13238. Подписано в печати 17/IX 1974 г. Сдано в набор 29/VI 1974 г. Формат бум. 84×108<sup>1/16</sup>. Бум. л. 2,5. Печ. л. 8,4. Уч.-изд. л. 10,3. Цена 40 коп. Тираж 45 000 экз. Заказ 826.

2-я типография издательства «Наука» Москва, Г-99, Шубинский пер., 10



Башня телескопа будущего. (К статье С. Б. Новикова)



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА



ИНДЕКС 70336

ЦЕНА 40 КОП

ЦЕНА

