

1 1975

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

· АСТРОНОМИЯ · ГЕОФИЗИКА ·
· ИССЛЕДОВАНИЯ КОСМИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА ·

На орбите научная пилотируемая станция «Салют-4»

В соответствии с программой исследования космического пространства 26 декабря 1974 года в Советском Союзе произведен запуск орбитальной научной станции «Салют-4».

Станция «Салют-4» выведена на околоземную орбиту с параметрами: максимальное удаление от поверхности Земли (в апогее) — 270 км; минимальное удаление от поверхности Земли (в перигее) — 219 км; период обращения — 89,1 минуты; наклонение орбиты — 51°,6.

11 января 1975 года в 0 часов 43 минуты был выведен на орбиту искусственного спутника Земли космический корабль «Союз-17». После коррекции траектории движения, проведенной утром того же дня, параметры орбиты корабля стали:

расстояние от поверхности Земли (в апогее) — 354 км; расстояние от поверхности Земли (в перигее) — 293 км; период обращения — 90,7 минуты; наклонение орбиты — 51°,6.

Корабль «Союз-17» пилотирует экипаж в составе командира корабля подполковника Алексея Александровича Губарева и бортинженера кандидата технических наук Георгия Михайловича Гречко.

Алексей Александрович Губарев родился в 1931 году. С 1950 года он в рядах Советской Армии. А. А. Губарев окончил военно-морское авиационное училище, служил в авиации. В 1957 году поступил в Краснознаменную Военно-

воздушную академию (ныне имени Ю. А. Гагарина), после окончания которой продолжал службу в армии. А. А. Губарев был командиром эскадрильи авиаполка. Он имеет квалификацию «Военный летчик I класса». В отряде космонавтов А. А. Губарев с 1963 года. Он прошел полный курс подготовки на различных пилотируемых космических аппаратах, глубоко изучил их системы и бортовую аппаратуру. А. А. Губарев — член КПСС с 1957 года.

Георгий Михайлович Гречко родился в 1931 году. В 1955 году с отличием окончил Ленинградский механический институт и работал в конструкторском бюро. В 1967 году Г. М. Гречко успешно защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. В отряде космонавтов Г. М. Гречко с 1966 года. Высокая теоретическая подготовка и инженерный опыт позволили ему отлично овладеть специальными навыками в работе на различных типах пилотируемых космических аппаратов. Г. М. Гречко — член КПСС с 1960 года.

После выведения корабля «Союз-17» на расчетную орбиту космонавты приступили к выполнению программы полета, быстро освоившись с условиями невесомости.

12 января 1975 года была осуществлена стыковка транспортно-космического корабля «Союз-17» с орбитальной научной станцией «Салют-4».

Процесс стыковки космических аппаратов проводился в

два этапа. На участке дальнего сближения управление транспортным кораблем «Союз-17» осуществлялось автоматически с помощью бортовых средств. С расстояния 100 м операции по сближению и причаливанию корабля к станции проводились экипажем. После стыковки космонавты проверили бортовые системы станции, открыли внутренний люк-лаз и перешли в помещение станции.

После перехода космонавтов товарищей Губарева и Гречко в помещение станции в околоземном космическом пространстве стала функционировать научная пилотируемая станция «Салют-4».

Программой работы экипажа пилотируемой научной станции «Салют-4» предусматривается:

исследование физических процессов и явлений в космическом пространстве;

наблюдение геолого-морфологических объектов земной поверхности, атмосферных образований и явлений с целью получения данных в интересах народного хозяйства;

медико-биологические исследования;

испытание усовершенствованной конструкции станции, бортовых систем и аппаратуры.

Экипаж орбитальной станции «Салют-4» приступил к выполнению намеченной программы. О ходе ее выполнения и важнейших научных результатах будет подробно рассказано в следующих номерах «Земли и Вселенной».

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

1 ЯНВАРЬ
ФЕВРАЛЬ
1975

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

В номере:

В. В. Шулейкин — Развитие и движение тропических ураганов	4
Д. В. Богданов — Тропические широты Мирового океана	13
В. П. Николаев — Флуктуации солнечного света в море	19
Б. Ю. Левин, С. В. Маева — Загадки происхождения и истории Луны	22
Н. В. Васильев — Проблема Тунгусского метеорита	29
Н. И. Идельсон — Лобачевский — астроном	38

ОБСЕРВАТОРИИ И ИНСТИТУТЫ

В. М. Можжерин — Крымская астрофизическая обсерватория	46
--	----

СИМПОЗИУМЫ, КОНФЕРЕНЦИИ, СЪЕЗДЫ

Е. Л. Рускол — Советско-американская конференция по космохимии Луны и планет	58
---	----

ЛЮДИ НАУКИ

А. И. Еремеева — Петербургский астрофизик XVIII века	62
Е. М. Зингер — Владимир Александрович Русанов	66

ЭКСПЕДИЦИИ

Р. В. Озмидов — От Северного тропика до Южного полярного круга	72
--	----

АСТРОНОМИЧЕСКОЕ ОБРАЗОВАНИЕ

Е. П. Левитан — Курс астрономии в школе будущего	80
--	----

ИЗ ИСТОРИИ НАУКИ

Д. Н. Фиалков — «Каналы Ермака»	84
---	----

ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ АСТРОНОМИЯ

В. П. Цесевич — Великое противостояние Эроса	87
Ю. К. Любимов — Фотографируем Луну в школьный телескоп	89

КНИГИ О ЗЕМЛЕ И НЕБЕ

Б. Ф. Ломов — Человек — оператор в космосе	94
--	----

НОВОСТИ НАУКИ И ДРУГАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Полет «Союза-16» [2]; Природа лунного альbedo [28]; Метеорит «Горловка» [35]; Скорпион X-1 — двойная система [37]; Тесные пары квазаров — реальность или эффекты проекции? [56]; «Снежный лед» [74]; Болид Циолковского [91]; Стабилизированный буй на Черном море [93].



Полет «Союза-16»

В соответствии с советской программой подготовки к экспериментальному совместно-му полету космических кораблей «Союз» (СССР) и «Аполлон» (США) 2 декабря 1974 года в 12 часов 40 минут по московскому времени был осуществлен запуск космического корабля «Союз-16». Этот корабль аналогичен кораблю, которому предстоит в 1975 году участвовать в советско-американском эксперименте.

После коррекции траектории движения, проведенной на пятом витке, корабль совершал движение по орбите с параметрами:

максимальное удаление от поверхности Земли (в апогее) — 223 км,

минимальное удаление от поверхности Земли (в перигее) — 177 км,

период обращения — 88,4 минуты,

наклонение орбиты $51^{\circ},8$.

Космический корабль пилотировал экипаж в составе командира корабля Героя Советского Союза, летчика-космонавта СССР полковника Анатолия Васильевича Филипченко и бортинженера Героя Советского Союза, летчика-космонавта СССР Николая Николаевича Рукавишникова.

А. В. Филипченко в октябре 1969 года совершил свой первый орбитальный космический полет в качестве командира корабля «Союз-7». С мая 1973 года А. В. Филипченко участвует в подготовке предстояще-

го совместного советско-американского полета по программе «Союз» — «Аполлон».

Н. Н. Рукавишников свой первый космический полет совершил в апреле 1971 года на корабле «Союз-10». С мая 1973 года Н. Н. Рукавишников участвует в подготовке предстоящего совместного советско-американского полета по программе «Союз» — «Аполлон».

По программе первого дня полета «Союза-16» космонавты А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишников проводили проверку работы систем корабля в различных режимах полета.

На следующий день космонавты приступили к медико-биологическим исследованиям и контролировали рост микроорганизмов в условиях невесомости. Проводились испытания системы обеспечения жизнедеятельности. В частности, давление в отсеках корабля «Союз-16» было снижено до 540 мм ртутного столба.

В ходе третьего рабочего дня экипаж космического корабля «Союз-16» продолжал выполнение намеченных исследований и экспериментов. В частности, по программе медико-биологических исследований космонавты осуществляли наблюдения за характером зонообразования у лучистых грибов.

3 декабря на 17-м и 18-м витках полета космонавты провели коррекцию траектории движения, в результате которой корабль вышел на круго-

вую орбиту высотой около 225 км с периодом обращения, равным 88,9 минуты, и наклоном — $51^{\circ},8$. Эта орбита подобна той, на которую должен будет выйти космический корабль «Союз» при будущем совместном полете с американским кораблем «Аполлон».

На 32-м, 38-м и 48-м витках проводились испытания автоматической системы и отдельных узлов нового стыковочного агрегата.

В ходе испытаний проверялось функционирование механизмов и устройств, которые должны будут обеспечивать сцепку, стягивание и герметичное соединение кораблей при стыковке их на орбите. Во время экспериментов космонавты контролировали работу узлов стыковочного агрегата и автоматической системы управления.

6 декабря продолжалась проверка автоматики и узлов стыковочного агрегата. При этом имитировались процессы стыковки и расстыковки космических кораблей. Испытания стыковочного агрегата прошли без замечаний.

Космонавты завершили эксперименты по микробному обмену и с проростками высших растений. Продолжались наблюдения и за ростом микроорганизмов, и формированием колец у зонообразующих грибов.

На 68-м и 69-м витках космонавты фотографировали панораму дневного горизонта в

поляризованном свете на трассе протяженностью около 30 тыс. км. С целью проверки в условиях реального космического полета основных элементов оборудования для запланированного в предстоящем совместном полете эксперимента «Искусственное солнечное затмение» космонавты фотографировали выбранный участок звездного неба.

Готовясь к спуску на Землю, экипаж проводил проверки систем управления, энергоснабжения, двигательной установки и подготавливал к возвращению материалы научных исследований.

8 декабря 1974 года после успешного завершения программы работ на борту корабля «Союз-16» космонавты товарищи Анатолий Васильевич Филипченко и Николай Николаевич Рукавишников возвратились на Землю.

В 11 часов 04 минуты по московскому времени спускаемый аппарат космического корабля «Союз-16» совершил мягкую посадку на территории Советского Союза в 300 км севернее города Джезказган. Самочувствие космонавтов после приземления хорошее.

В ходе шестисуточного орбитального полета проведены запланированные испытания нового стыковочного агрегата и его автоматики, систем ориентации, управления движением и жизнеобеспечения, модернизированных в соответствии с



Анатолий Васильевич Филипченко

Николай Николаевич Рукавишников

требованиями предстоящего в 1975 году советско-американского эксперимента по стыковке космических кораблей «Союз» и «Аполлон».

На всех этапах полета, проходившего в условиях, максимально приближенных к условиям предстоящего космического эксперимента, системы корабля «Союз-16» и установленная на его борту аппаратура работали нормально.

Согласно намеченной программе, космонавты А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишников выполняли научные и научно-технические исследования, фотографировали различные участки территории Советского Союза в интересах народного хозяйства.

Результаты научных экспериментов, полученные в ходе полета, обрабатываются и изучаются.

Указом Президиума Верховного Совета СССР от 11 декабря 1974 года А. В. Филипченко и Н. Н. Рукавишников за успешное осуществление орбитального полета на космическом корабле «Союз-16» и проявленные при этом мужество и героизм награждены орденом Ленина и второй медалью «Золотая Звезда». В ознаменование совершенного подвига на родине космонавтов, ставших дважды Героями Советского Союза, будут сооружены их бронзовые бюсты.

[По материалам сообщений ТАСС]

Академик
В. В. ШУЛЕЙКИН



Развитие и движение тропических ураганов

ОТ ОПИСАНИЯ — К ОБЪЯСНЕНИЮ

Каждый год в периодической печати встречаются сообщения о больших бедствиях, причиненных тропическими ураганами в Северном Атлантическом, Индийском и Тихом океанах, на островах и материках, куда ураганы вступают с океанов. В настоящее время приходится уделять все больше и больше внимания исследованиям тропических ураганов потому, что с каждым годом растет число промысловых судов, работающих в тропическом поясе всех океанов и особенно — Атлантического. Советский промысловый флот также работает в этом поясе, богатом рыбой, и для нас исследование тропических ураганов приобрело не только важное принципиальное научное значение, но и столь же важное прикладное.

Когда где-то в океане замечен зародившийся ураган, то можно уйти с его пути, если известен закон его развития и известны законы движения: хотя скорость ветра в системе урагана может приближаться к 100 м/сек, а в некоторых случаях и превышать это значение, для достижения полной мощности урагану требуется несколько суток. Скорость перемещения системы урагана по его траектории достигает всего лишь 6—8 м/сек.

Но как развивается ураган? Какие законы управляют его движением на путях, иногда очень замысловатых?

Для правильного ответа на эти важные вопросы совсем не достаточны одни лишь систематические наблюдения за тропическими ураганами, ве-

В 1970 году автором предложена гидродинамическая модель тропического урагана. Получен закон изменения вертикальной составляющей скорости ветра при удалении от центра урагана, найдена граница «ядра урагана». В последующие годы автор развил эту модель — проанализировал зависимость развития урагана и его угасания от температуры подстилающей поверхности, рассмотрел механизм поступательного движения урагана. Вопреки общепринятому мнению о том, что ураганы пассивно переносятся ведущими потоками в слоях 3—5 км, автор утверждает, что на систему вихря-урагана воздействует сила Жуковского, направленная перпендикулярно относительной скорости ведущего потока. Кроме того, он рассматривает силу лобового давления, направленную так же, как и относительная скорость потока, и доказывает, что она мала по сравнению с силой Жуковского.

дущиеся метеорологами и океанографами различных стран. Необходимо разобраться в физике явления, выяснить, каков механизм питания тропического урагана энергией, где источник этой энергии. Необходимо найти предельное значение мощности урагана в зависимости от условий, в которых он развивается, а также условия, в которых ураган затухает, разрушается; наконец, необ-

ходимо исследовать те силы, что управляют движением тропических ураганов в океане и иногда приводят их на сушу.

Именно поэтому во всех странах, даже далеких от тропиков, ведутся исследования природы тропических ураганов.

Не очень давно развитие ураганов пытались связать с неустойчивостью атмосферы над океаном в некоторые сезоны года. Но, во-первых, никому не удавалось найти аналитическую зависимость между степенью неустойчивости, выражаемой в условных единицах, и нарастанием мощности ураганов. Во-вторых, в настоящее время существуют надежные объективные данные, которые показывают, что самые мощные ураганы в таких районах, как Карибское море, Мексиканский залив, возникают тогда, когда неустойчивость либо очень мала, либо отрицательна, то есть атмосфера устойчива, а максимальная неустойчивость атмосферы относится к сезонам с очень редкими и слабыми ураганами.

В настоящее время еще можно встретить в литературе высказывания о том, что тропические ураганы развиваются в каком-то промежуточном районе между двумя или даже тремя районами, охваченными антициклонами. Предполагается, что под влиянием движения воздуха в антициклонах по часовой стрелке в северном полушарии должно возникнуть в промежуточном районе движение воздуха против часовой стрелки, характерное для ураганов. Не будем останавливаться и на этой гипотезе, поскольку она не только не позволяет построить какую-то фи-



13 января 1975 года исполнилось 80 лет выдающемуся ученому нашей страны, основоположнику физики моря, академику Василию Владимировичу Шулейкину. Трудно переоценить роль академика В. В. Шулейкина в науке и влияние его идей и исследований на развитие советской океанологии. Число научных работ и изобретений В. В. Шулейкина к настоящему времени превышает 350. Они посвящены теории распространения света в море, тепловому взаимодействию материков и океанов, исследованию ветровых волн и электромагнитных явлений в Мировом океане, молекулярной и биологической физике моря и многим другим областям науки. Сейчас Василий Владимирович ведет очень важные исследования тропических ураганов.

В. В. Шулейкин — создатель школы физиков моря. Его книги «Физика моря», «Очерки по физике моря», «Краткий курс физики моря» и др. многие годы служат основным учебным пособием для студентов университетов и гидрометеорологических институтов.

В 1929 году В. В. Шулейкин основал первую в мире гидрофизическую станцию, на базе которой в 1948 году был создан Морской гидрофизический институт Академии наук УССР.

Научная, педагогическая и общественная деятельность академика В. В. Шулейкина высоко оценена Советским правительством — ему присуждена Государственная премия, он награжден двумя орденами Ленина, орденами Трудового Красного Знамени, Красной Звезды, «Знак Почета» и восемью медалями. За заслуги в развитии океанологии и в связи с юбилеем Василия Владимировича награжден орденом Октябрьской Революции.

зико-математическую модель для количественного описания развития тропического урагана, но и противоречит наблюдаемому движению ураганов по их траекториям.

Очень давно было замечено, что настоящими направляющими для движения ураганов служат теплые поверхностные течения, такие, как Гольфстрим, Северо-Атлантическое в Атлантике, Куроисио в Тихом океане, теплые течения в Индийском.

ТРОПИЧЕСКИЙ УРАГАН — ТЕПЛО-ВАЯ МАШИНА

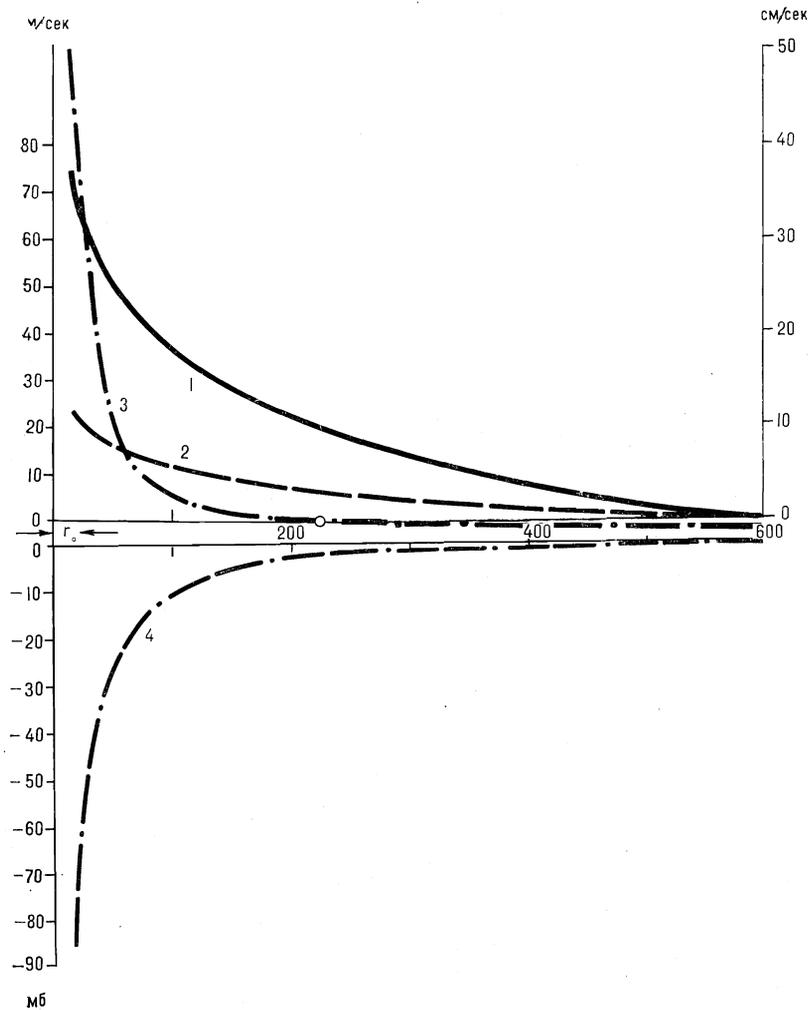
Тропические ураганы никогда не наблюдались в Атлантике к югу от экватора — там отсутствуют теплые течения. Возникает вопрос: не от таких ли теплых вод ураганы получают свою громадную мощность? Нельзя ли рассматривать ураганы как своего рода тепловые машины? А по законам термодинамики механическая работа, производимая машинами, зависит от количества тепла, поступающего от какого-то нагревателя и частично передаваемого какому-то холодильнику. Если в данном случае нагревателем является поверхностная вода теплых течений, то холодильником можно считать все полупространство над океаном, охватывающее со всех сторон систему урагана. Не так ли?

Именно так. Подобное воззрение позволило автору настоящей статьи предложить физико-математическую модель тропического урагана, найти связь между его мощностью и температурой подстилающей водной поверхности океана, найти законы развития и затухания тропического ура-

гана в различных тепловых условиях, наметить основы расчета траекторий тропических ураганов по достаточно надежным данным синоптических карт.

Пришлось отказаться от попыток решения всех этих задач стандартными методами: ведь даже самые большие современные электронные вычислительные машины не могут довести до конца решения сложнейших термо-гидродинамических задач при интегрировании полных уравнений. Простое отбрасывание тех или иных членов в этих уравнениях привело, например, японских ученых к результатам, противоречащим непосредственным наблюдениям в природе. Поэтому в основу работы автора, опубликованной в 1970 году, были частично положены достаточно надежные, чисто эмпирические данные, полученные финским геофизиком Е. Пальменом и другими в итоге очень большого числа измерений в природных условиях, проведенных различными авторами.

Как известно, в центральной части системы урагана лежит узкая область практически полного штиля. Там близки к нулю и радиальная составляющая скорости ветра (u), и тангенциальная составляющая (v), перпендикулярная к радиусу и направленная вправо от него. Существует лишь вертикальная составляющая, направленная вверх. Будем считать, что на внешней границе этой области, носящей название «глаза урагана», тангенциальная составляющая достигла максимального значения $v=A_0$, а при еще большем удалении от центра системы урагана она уменьшается по логарифмическому



закону (кривая «1» на рисунке стр. 6). На внешней границе системы урагана положим $v=0$. Под ось абсцисс нанесены цифры, обозначающие расстояние (в километрах) от центра. Вверх по оси ординат, слева от диаграммы, отмечены скорости ветра (в м/сек). Выбран частный случай типичного сильного урагана с максимальным значением $A_0 = 75$ м/сек на высоте 500 м над уровнем океана (теоретические расчеты ведутся применительно к этому уровню; от них можно перейти к значениям скоростей на уровне океана, применяя переходный множи-

тель, о котором будет сказано ниже). Анализ современных фотографий облачных образований в системе ураганов, полученных посредством искусственных спутников Земли, показывает, что частицы воздуха в системе ураганов движутся по кривым, которые (в плане) можно считать весьма близкими к логарифмическим спиральям. Отсюда заключаем, что траектории частиц всюду составляют постоянный угол с радиусами-векторами, проведенными из центра системы (таково свойство спирали). В данном случае этот угол близок к 18° , а потому отношение радиальной составляющей скорости (u) к тангенциальной составляющей (v) сохраняет постоянное значение, равное тангенсу этого угла, то есть $u/v=0,325$. Исходя

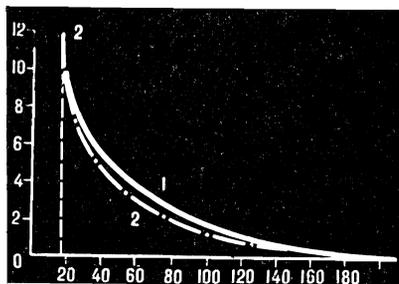
из этого, была построена кривая «2» на первом рисунке, описывающая убывание радиальной составляющей u^* скорости ветра при удалении от границы «глаза урагана».

Составив представление о том, как меняется радиальная составляющая, можно использовать условие неразрывности для определения вертикальной составляющей воздушных потоков на всем протяжении от внешней границы «глаза» до внешней границы всей области урагана (то есть от $r=r_0$ до $r=R$). Несложные выкладки привели автора в 1970 году к выводу закона изменения вертикальной составляющей w , представленного на первом рисунке кривой «3». Для нашего типичного урагана получены значения скорости w , которые отмечены справа от диаграммы по оси ординат (в см/сек).

Очень важно, что в некоторой точке — на расстоянии 220 км от центра — кривая «3» пересекает ось абсцисс. Это означает, что с площади кольца, «вырезанного» на поверхности океана внутренней окружностью с радиусом $r_0=15$ км и внешней окружностью с радиусом $r_1 = 220$ км, воздух поднимается от уровня оке-

* Е. Пальмен и другие исследователи приводят не только эмпирическую кривую, описывающую уменьшение тангенциальной составляющей v , но и аналогичную кривую, описывающую уменьшение радиальной составляющей u . Однако эта составляющая мала по сравнению с полной скоростью ветра V . Значит, ее измерения в природных условиях ненадежны. Именно поэтому автор данной статьи предпочитает иной способ определения u .

Характеристики гидродинамической модели тропического урагана



ана вверх. Вместе с собой он увлекает водяной пар, которым почти насыщен приводный слой атмосферы. Попадая в значительно более холодные слои, лежащие на высоте сотен и тысяч метров над уровнем океана, пар конденсируется, образуя хорошо известные густые облака в области урагана с ливнями и грозами. При этом каждый грамм конденсировавшегося пара выделяет 539 калорий тепла.

Именно этим количеством определяется осредненная по вертикали плотность воздуха, перегретого в «ядре урагана» — области, ограниченной на поверхности океана окружностями с радиусами r_0 и r_1 . Было предположено, что остальные составляющие теплового баланса атмосферы здесь взаимно компенсированы: дополнительный приход тепла за счет контактного и лучистого теплообмена с водной поверхностью уравнивается дополнительным излучением тепла нагретым воздухом во внешнее пространство. Законно ли такое допущение? Да, законно. В этом убеждает вычисление осредненной по вертикали температуры воздуха на различных расстояниях от «глаза» в пределах «ядра урагана» двумя независимыми способами. С одной стороны, уравнения гидродинамики позволяют определить, как ведет себя атмосферное давление в системе урагана, если скорости ветра меняются в соответствии с кривыми «1» и «2» на первом

рисунке. Вычисления, проделанные автором в 1970 году, показали, что атмосферное давление должно падать от внешней границы всей системы урагана к внешней границе его «глаза» по закону, выраженному кривой «4» на том же рисунке. В случае нашего типичного урагана давление здесь упало на всем протяжении на 85 мб. Надо с удовлетворением отметить, что именно такое полное падение давления и наблюдается в природе при возникновении ураганов. При этом формула, полученная в 1970 году из нашей теории, не только тождественна по своему строению с эмпирической формулой, полученной практиками на основании наблюдения 14 ураганов различной силы, но и по числовому коэффициенту, фигурирующему в формуле.

Зная закон падения давления, описанный кривой «4», можно вычислить, на сколько градусов повысилась температура воздуха, осредненная по вертикали, на том или ином расстоянии от «глаза».

Кривая «1» на рисунке (стр. 7) представляет результаты вычисления перегрева по этому способу. На том же рисунке кривая «2» выражает закон распределения перегрева воздуха, найденный на основании нашего упрощенного представления о тепловом балансе воздуха, — предположения, что выделением скрытого тепла при конденсации водяного пара определяется перегрев воздуха в пре-

делах «ядра урагана». Как видим, кривые «2» и «1» на рисунке проходят очень близко одна к другой. Следовательно, допущение, сделанное автором, законно: ценой небольших погрешностей удалось получить важные сведения о том, что источники питания урагана энергией располагаются на поверхности океана, обладающей высокой температурой.

МОЩНОСТЬ УРАГАНА

Формула для вычисления мощности, отдаваемой океаном всей системе урагана, получена по известному содержанию пара в единице объема приводного слоя воздуха над теплым течением. Но содержание пара при известной относительной влажности полностью зависит от температуры поверхностной воды.

К счастью, только незначительная доля этой мощности — всего лишь около 3% — может превращаться в механическую энергию, создающую громадные волны в океане и несущую разрушения на берегах. Но и этой доли достаточно, чтобы при максимальной скорости ветра близ границы «глаза урагана» 60 м/сек волны на пути его достигли высоты более 12 м за полсутки.

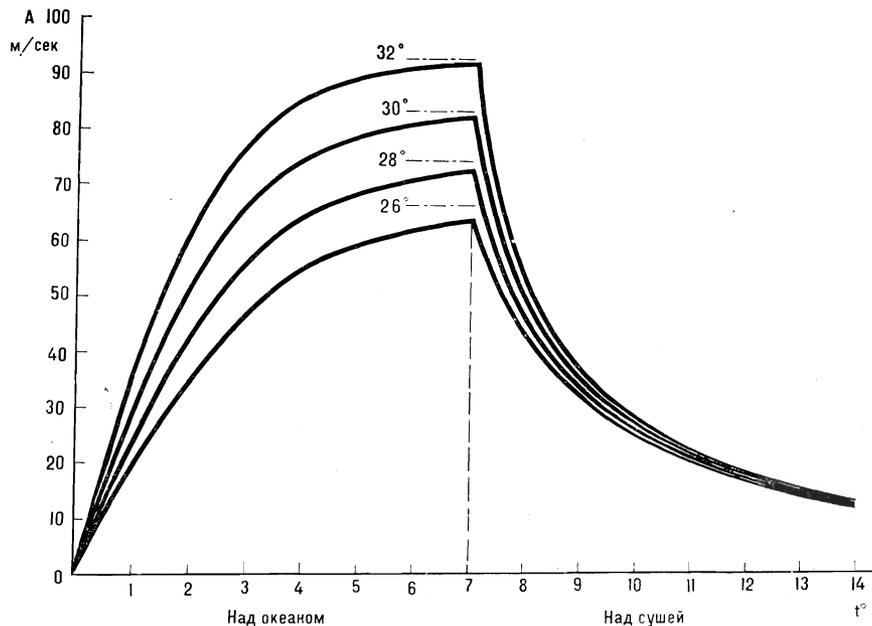
Питание системы урагана тепловой энергией по схеме, описанной здесь, возможно лишь, когда в атмосфере возникло какое-то начальное движение в форме вихря с вертикальной

Повышение осредненной температуры столбов воздуха в «ядре урагана»

Температура поверхностной воды	27°	28°	29°	30°	31°	32°
Максимальная мощность, передаваемая океаном установившемуся тропическому урагану (млрд. квт.)	185	200	217	237	258	282

осью. Только тогда с поверхности океана осуществим перенос пара вверх, конденсация пара и соответствующее выделение скрытого тепла. В условиях тропиков наиболее вероятной причиной возникновения таких «начальных вихрей» надо считать обтекание неоднородностей подстилающей поверхности упорядоченным воздушным потоком. Неоднородностями служат либо остроконечные мысы, полуострова, врезающиеся в океан, либо даже такие географические объекты, как, например, озеро Чад, над которым воздух нагревается меньше, чем над окружающими африканскими песками. В действительности и от озера Чад, и от самого Зеленого мыса начинают свое путешествие по параллели начальные вихри, которые уже западной островов Зеленого мыса превращаются в тропические ураганы.

Как же развиваются тропические ураганы? Этот вопрос был исследован автором в 1972 году. Решение очень сложной — нестационарной задачи пришлось разбить на два этапа. Сперва было сделано необходимое упрощающее допущение: считалось, что с момента зарождения урагана до его полного развития меняются лишь динамические и тепловые характеристики урагана, а геометрические параметры его поля остаются постоянными, — теми, какие будут достигнуты при полном развитии урагана. Было установлено, что тропический ураган представляет собой не просто тепловую машину, а машину с а м о в о з б у ж д а ю щ у ю с я: с течением времени возрастают скорости ветра в системе урагана и, соответственно, вертикальные



составляющие этих скоростей. Увеличивается количество водяного пара, поднимающегося вверх с поверхности океана в слои воздуха, где пар конденсируется в воду; при этом усиливается перегрев воздушных масс в пределах «ядра урагана», а следовательно, все больше и больше падает атмосферное давление в этой важнейшей области поля. Значит, возрастает градиент давления, а это влечет за собой дальнейшее увеличение скорости ветра. Создается замкнутый цикл явлений, возникает самовозбуж-

дение тепловой машины — тропического урагана.

До каких же пор может продолжаться подобное «накачивание» мощности в такую самовозбуждающуюся машину? До тех пор, пока мощность тепловая, переходящая в механическую энергию (3% от полной, передаваемой океаном!), не поглотится трением воздушных потоков о поверхность океана без всякого остатка.

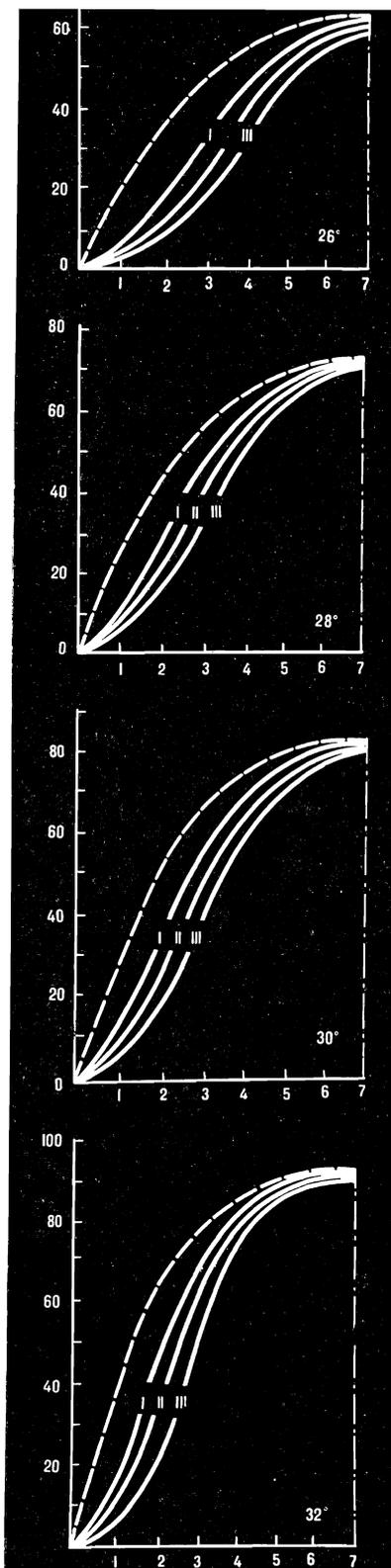
Обратимся к рисунку на стр. 8. Здесь по оси абсцисс отмечено время, выраженное в сутках, с момента зарождения начального вихря в атмосфере. По оси ординат отмечены значения тангенциальной составляющей скорости ветра на высоте 500 м над уровнем океана, на границе «глаза урагана». Чтобы найти полную скорость ветра над самой поверхностью океана, надо все значения, снятые с диаграммы, уменьшить на 5%. Нарастание мощности урагана, скоростей ветра в нем ограничено на рисунке недельным сроком. Предполагалось, что затем ураган вступает на материк. Что меняется при этом? Совершенно очевидно, прекращается подача энергии с океана вместе с парами, которые поднимаются вверх (количество паров, поднимающихся с

Нарастание скоростей ветра близ «глаза урагана» при различных температурах поверхностной воды в океане и затухание урагана, обрушившегося на материк (первое приближение). На рисунке показаны четыре кривые, которые соответствуют температурам поверхности воды, отмеченным при каждой из них. Надо учесть, что в действительности наблюдались тропические ураганы только при температурах поверхностной воды, превышавших 26°. Следовательно, нижнюю кривую надо рассматривать, как служащую лишь для интерполирования между 26 и 28°.

суши, ничтожно). В то же время возрастают потери энергии воздушных потоков на трение о подстилающую поверхность (потери энергии на трение о поверхность суши больше, чем на трение о поверхность воды). В результате начинается затухание урагана, которое в первом приближении описывается ниспадающими ветвями кривых на рисунке.

Вслед за таким — первоначальным — анализом явлений задача была решена во втором приближении: с учетом незначительности первоначальных размеров пространства, охваченного вихрем, и постепенного возрастания этого пространства. До накопления более достоверных сведений о развитии ураганов оказалось необходимым выполнить это осложненное решение применительно к некоторым частным значениям характеристических параметров в исследуемых уравнениях движения. В связи с этим, для каждого из четырех значений температуры подстилающей водной поверхности получено по три варианта кривых для начальных и промежуточных этапов развития урагана. Это — кривые, представленные на рисунке (стр. 9) сплошными линиями; сюда же пунктиром перенесены для сравнения отрезки кривых с предыдущего рисунка. В правых углах диаграмм отмечены температуры поверхностной воды. Кривые, вычисленные во втором приближении, существенно отличаются от своих предшественниц лишь на начальных и отчасти на промежуточных этапах развития. Чем ближе к полному развитию, тем меньше становится различие в поведении урагана.

Сопоставление теоретических рас-



четов с данными непосредственных исследований ураганов в природе дали хорошие результаты. Это относится и к типичным ураганам, движущимся вдоль параллели около 15° с. ш., на запад от островов Зеленого мыса, где максимальные скорости ветра достигают около 75 м/сек, и к мощному урагану «Инесс», развившемуся на том же пути в конце сентября 1966 года и достигшему полного развития над водами Мексиканского залива с температурой поверхностной воды 30° и максимальной скоростью ветра 80 м/сек. Наконец, отличное совпадение надо отметить между теоретической скоростью ветра, полученной для рекордно мощного урагана «Камилла», развившегося во второй половине августа 1969 года над Карибским морем и Мексиканским заливом при температуре поверхностной воды 32°, и результатами измерений скоростей ветра. Здесь максимальная скорость ветра достигала 90 м/сек, несомненно, за счет перегрева поверхностной воды на 3° выше средней климатологической нормы. Мощность этого урагана в полтора раза превышала ту, которая соответствует обычным, очень сильным ураганам в этом районе, и вдвое превышала ту, которой обладают обычные ураганы на путях

■
Результаты решения задачи во втором приближении. Кривые, показанные сплошными линиями, характеризуют параметры движения урагана для начальных и промежуточных этапов развития урагана. Пунктиром обозначены кривые, перенесенные с предыдущего рисунка

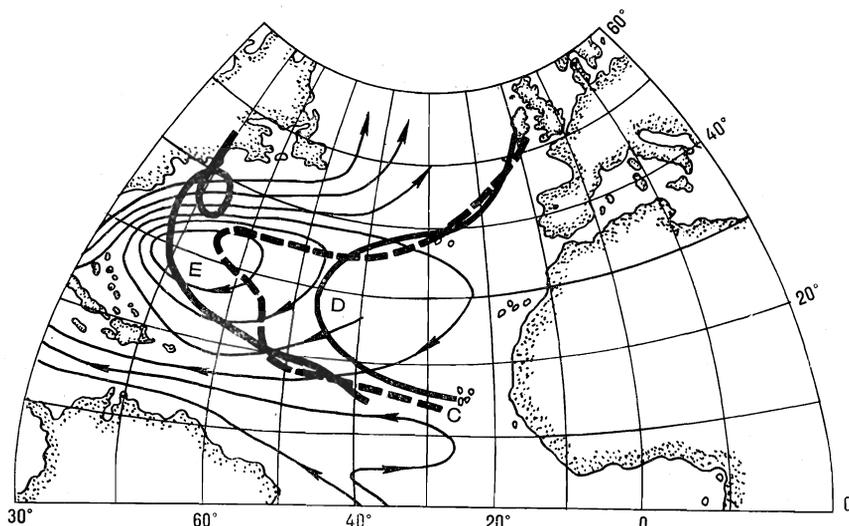


от Зеленого мыса до Антильских островов.

Почему же ураганы, зародившиеся близ Зеленого мыса, не всегда доходят до Антильских островов вдоль параллели 15° с. ш.? Почему они вообще выбрали эту «торную дорогу» и почему, пройдя по ней некоторое расстояние, отклоняются от нее сначала к северо-западу, затем к северу, а потом иногда и к северо-востоку? На эти вопросы можно ответить, только зная силы, воздействующие на систему урагана со стороны окружающих воздушных масс.

СИЛЫ, ДВИЖУЩИЕ ТРОПИЧЕСКИЙ УРАГАН

До настоящего времени среди исследователей широко распространено мнение, будто потенциальные воздушные потоки увлекают за собой гигантские вихри — тропические ураганы — наподобие поплавков, пассивно следующих за ними в том направлении, в каком переносятся окружающие массы. Но легко видеть несостоятельность подобного мнения, вспомнив хотя бы, что в районе островов Зеленого мыса потенциальный поток пассата направлен на юго-запад, между тем как тропические ураганы здесь движутся точно на запад. Гипотеза о «пассивных поплавках» не может быть верной еще и потому, что на границе «глаза урагана» горизонтальные составляющие скоростей ветра стремительно возрастают от нуля до громадных значений. Здесь так же, как и на границе смерча, неизбежны разрывы всех функций, которыми в гидродинамике описывается движение жид-



кости и газа. Что касается смерча, то простым глазом видны результаты подобных разрывов. Видны они и на публикуемом рисунке. Здесь ось смерча, протянувшаяся от грозовой тучи к поверхности океана, изогнута в форме буквы «S». Между тем эта ось должна была бы принять форму прямой, если бы ветер не воздействовал на систему смерча, как на некоторое инородное тело, на-

■
Смерч над океаном

■
Схема поверхностных течений в Атлантическом океане (по Г. Стоммелу) — тонкие линии и пути трех тропических ураганов — жирные сплошные и прерывистые линии

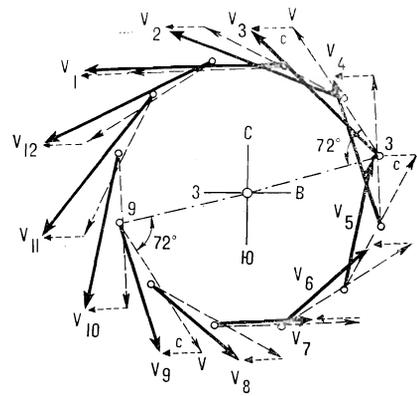
ходящееся в воздушной среде: перегиб оси вызван сменой направления ветра под тучей; в случае постоянства направления ветра ось смерча приобрела бы форму цепной линии.

Подобно смерчу, тропический ураган также должен рассматриваться как инородное тело, находящееся в окружающем потоке воздуха, например в потоке пассата. В отличие от смерча, поверхностью разрыва здесь является внешняя поверхность «глаза урагана». Именно на эту поверхность должен воздействовать окружающий потенциальный поток. Как же он должен на нее воздействовать? Об этом говорит теорема Н. Е. Жуковского, выведенная им в самом общем виде и получившая важное применение в теории самолета. Она количественно объяснила происхождение подъемной силы крыла самолета и позволила вычислять эту силу. Как крыло поддерживает в воздухе самолет, так «глаз урагана» ведет вперед всю систему урагана, управляет ее движениями относительно окружающих воздушных масс (например, в пассате). Сила Жуковского, действующая на единицу длины тела, пропорциональна относительной скорости набегающего потока, плотности воздуха и, что наиболее важно подчеркнуть, — пропорциональна так называемой циркуляции скорости вокруг исследуемого тела. В данном случае циркуляция скорости равна произведению тангенциальной составляющей скорости ветра на границе «глаза урагана» на длину окружности, которой можно опоясать «глаз».

Кроме силы Жуковского, на систему урагана воздействует еще лобовое

давление внешнего потока, но — как показано автором в 1973 году — эта сила в применении к тропическим ураганам пренебрежимо мала по сравнению с силой Жуковского. Отсюда следует, что ураганы должны перемещаться в том направлении, в каком действует сила Жуковского, а действует она — как показал сам Н. Е. Жуковский — в направлении, перпендикулярном относительной скорости внешнего потока, вправо от него.

Можно показать, что в районе пассата — там, где начинаются пути ураганов — относительная скорость пассата (по отношению к движущемуся урагану) направлена на юг. Следовательно, сила Жуковского должна двигать систему урагана на запад. Именно в таком направлении, как известно, движутся здесь тропические ураганы. Нами предложен метод вычисления скорости движения системы урагана под действием внешнего потока. Он основан на очень простых соображениях. Совершенно очевидно, что сила Жуковского в единицу времени производит работу, которая равна произведению этой силы на скорость движения системы урагана. Значит, скорость движения можно определить теоретически, если известно, куда расходуется эта мощность, развиваемая силой Жуковского. Рисунок на стр. 11 помогает понять, куда именно она расходуется. На нем тонкими штриховыми стрелками показаны скорости ветра V в 12 различных точках, отстоящих на одном и том же расстоянии r от центра урагана. Радиусы-векторы, проведенные из центра к двум из этих точек («3» и «9»), позволяют установить, что



скорости V всюду направлены под углом 72° к радиусу-вектору, тангенциальная и нормальная составляющие образуют между собой угол $90^\circ - 72^\circ = 18^\circ$. Это — скорости ветра, создаваемые на уровне океана термодинамическими явлениями, о которых говорилось выше. Но действительные скорости ветра, которые можно измерить в точках, отмеченных на рисунке, должны отличаться от V : к скорости V должна быть прибавлена (геометрически!) еще новая составляющая (о которой мы только что упоминали) — составляющая, вызванная движением самой системы урагана над океаном. Это — искомая скорость c , которую в прежнем масштабе изображают векторы, нанесенные здесь точками. На примере векторов при точках «3» и «9» видно, как геометрическое сложение векторов V и c дает результирующие скорости V_3 и V_9 в данных точках. Таким же путем получены результирующие скорости во всех остальных точках из двенадцати. Известно, что мощность, поглощаемая силами трения воздуха о подстилающую поверхность (в данном случае — о поверхность океана), пропорциональна кубу скорости ветра. На схеме видно, что сумма кубов истинных скоростей ветра с учетом составляющей « c » больше, чем $12 V^3$. Простыми приемами можно вычислить, на-

К расчету сил трения воздуха о поверхность океана



сколько мощность, поглощаемая трением о поверхность океана, во всей системе урагана превышает ту, которая поглощалась бы в отсутствие составляющей «с», вызванной движением системы урагана. Именно эта дополнительная мощность компенсируется воздействием силы Жуковского на ураган, как на некоторое «инородное тело» в атмосфере. Вычисления, проделанные автором в 1973 году, показали, что при скоростях пассата 8—11 м/сек, направленных примерно под углом 45° к меридиану (на юго-запад), ураган, обладающий скоростями около 40 м/сек близ внешней границы «глаза», должен двигаться на запад со скоростью от 6 до 8 м/сек. Вычисления здесь облегчались тем, что скорость самого пассата относительно движущегося урагана (направленная на юг) по абсолютной величине (модулю) равнялась с. Но такая простая картина существует лишь на начальных этапах движения ураганов от островов Зеленого мыса. Дальше условия осложняются: направления и скорости ветра, вызванные синоптическими условиями над центральной Атлантикой, могут самым причудливым образом изменить траекторию движения ураганов.

Было проанализировано сложное движение трех наиболее типичных ураганов. Их траектории показаны на рисунке (стр. 10) жирными линиями. Заглавные латинские буквы при них соответствуют начальным буквам их имен: «Кэрри», «Дебби» и «Эстер». Все три наблюдались в сентябре 1957 и 1961 годов. На ту же схематическую карту нанесены тонкими линиями основные струи теплых течений

в этой области океана. Взглянув на рисунок, естественно заподозрить теплые течения во влиянии на пути всех трех ураганов: ураганы как бы огибают ту замкнутую систему циклических течений, которая видна на карте. Анализ синоптических условий по картам 1957 и 1961 годов за сроки движения исследуемых ураганов подтвердил такие подозрения. Во-первых, над этой областью изобары обладали именно теми очертаниями, которые требовались для «отрыва» траекторий урагана от параллели 15° с. ш. Во-вторых, всюду на путях ураганов температура поверхностной воды была не ниже той, которая оказывается достаточной для питания урагана тепловой энергией (по нашей теоретической схеме). Участки кривых, направленные на север по меридиану, всюду лежат на своего рода «хребте повышенного атмосферного давления», склоны которого спускаются к северу, югу и западу, — над струями, несущими теплые воды. Естественные различия в режиме этих потоков в различные годы и различные сроки вызывают более раннее или более позднее отклонение траекторий ураганов, как видно на рисунке. И на этих участках пути ураганов, и на иных этапах прослеживается одна и та же закономерность, подтверждающая наши теоретические соображения: ведь естественно ожидать, что градиент атмосферного давления примерно совпадает с нормальными к струям теплых течений; с другой стороны, по рассмотренной схеме движение урагана обычно должно направляться перпендикулярно к градиенту, вправо от него. Это и наблюдается

в действительности. Любопытно, что хотя сентябрьские ураганы «Кэрри» и «Дебби» наблюдались в годы, разделенные четырехлетним промежутком, — на протяжении от точки с координатами $\varphi=35^\circ$ с. ш., $\lambda=44^\circ$ з. д. и до южной оконечности Ирландии — прерывистая кривая пути «Кэрри» и сплошная кривая пути «Дебби» идут поразительно близко одна от другой.

Для построения полноценной методики предвычисления развития тропических ураганов — по полученным сигналам о их зарождении — и для предвычисления их путей следования необходимо добиться получения столь же полноценной непрерывной информации о температуре поверхностной воды и барическом рельефе в особо опасных районах Мирового океана.

ЧТО ЧИТАТЬ ПО ТЕМЕ СТАТЬИ

1. В. В. Шулейкин «Зависимость между мощностью тропического урагана и температурой подстилающей поверхности океана». Известия АН СССР, серия «Физика атмосферы и океана», 6, 12, 1219, 1970.
2. В. В. Шулейкин «Развитие и затухание тропического урагана в различных тепловых условиях». Известия АН СССР, серия «Физика атмосферы и океана», 8, 1, 3, 1972.
3. В. В. Шулейкин «К расчету траекторий тропических ураганов». Известия АН СССР, серия «Физика атмосферы и океана», 9, 12, 1227, 1973.

Кандидат географических наук
Д. В. БОГДАНОВ



Тропические широты Мирового океана

ТРОПИЧЕСКИЙ ПОЯС

Тропический пояс Мирового океана тянется с севера на юг приблизительно на 47° , или на 2820 морских миль (5220 км), от тропика Рака до тропика Козерога. В направлении с запада на восток он охватывает весь земной шар, прерываясь лишь материками. Площадь океана в его пределах составляет 153 млн. км². Это больше площади всех материков (включая Антарктиду) с островами и примерно в 7 раз больше площади величайшей страны мира — Советского Союза.

Тропический пояс океана — самый неоднородный по природным условиям. Здесь царит пестрое сочетание непохожих «ландшафтов»: бескрайние пространства теплых синих вод и открытые берега, где гигантские валы океанической зыби накатываются на песчаные пляжи под зелеными кронами кокосовых пальм; густые непроходимые заросли мангров, где исчезает граница моря и земной тверди; порожденные морем острова — атоллы и коралловые рифы с их необычной, неповторимой жизнью; прохладные, зеленые, изобилующие рыбой воды у пустынных берегов Перу; удушливо жаркое необычайно соленое Красное море — все это звенья великого тропического пояса Мирового океана.

Неудивительно, что многие исследователи и путешественники из северных стран стремятся к этим водам и этим берегам. Пестрая, яркая, экзотическая природа тропиков дает колоссальный материал для наблюдений, исследований, сопоставлений и размышлений. В тропическом поясе океана можно изучать такие природ-

В 1975 году в издательстве «Наука» выходит из печати научно-популярная брошюра географа-океанолога, кандидата географических наук Д. В. Богданова «Тропический океан». В ней дается краткая характеристика основных особенностей природы и ресурсов тропических вод Мирового океана. Работа основана на материалах многолетних личных наблюдений и исследований автора в тропических водах Атлантического, Тихого и Индийского океанов и на литературных данных. Ниже мы помещаем отрывки из этой брошюры.

ные объекты, явления и процессы, которые невозможно наблюдать в водах высоких широт: пассатную циркуляцию, развитие и прохождение тропических ураганов экваториальные поверхностные и подповерхностные противотечения, муссоны и вызываемую ими сезонную перестройку течений в океане, массовое органическое осадконакопление, коралловые рифы, атоллы, исключительное разнообразие органического мира. Изучение всего этого разнообразия имеет большое значение для познания не только тропического пояса Мирового океана, но и географии, геологии, геологии и биологии Земли.

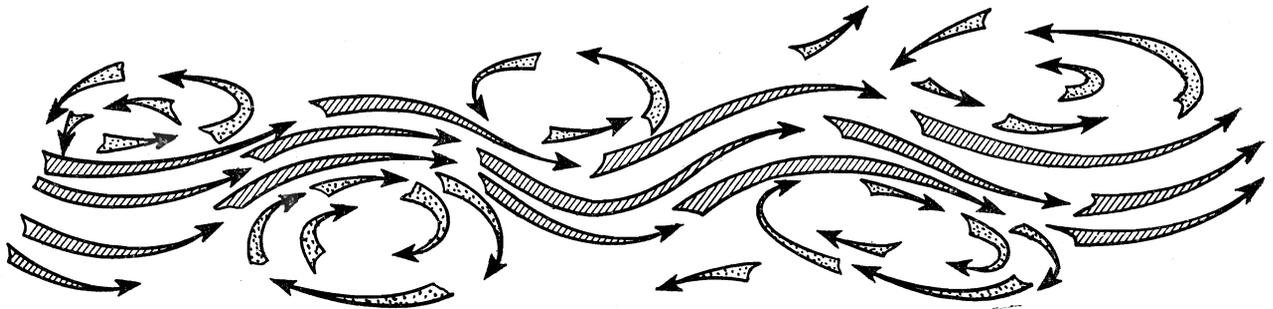
Тропическая природа на суше изучена еще в прошлом веке и подробно описана в трудах А. Гумбольдта, А. Уоллеса и др. О природе тропических вод известно очень мало.

Однако широкий размах разносторонних исследований в последнее время позволяет надеяться, что в ближайшие годы тропическая океанология будет разработана.

Интерес к проблемам тропической океанологии возрастает еще и потому, что половина населения земного шара испытывает недостаток в пищевых белках животного происхождения. Если с углеводами и жирами дело обстоит более или менее благополучно, то с белковой пищей положение очень тяжелое. Явно не хватает мяса, рыбы, молока. А океан может дать значительные количества высококачественных белков, содержащихся в рыбе, моллюсках, ракообразных и других животных. Значительная часть биологических ресурсов тропического пояса недостаточно используется. Одна из причин этого — относительно слабая изученность тропических вод и их ресурсов.

Границами тропического пояса было бы правильнее считать не тропики Рака и Козерога, а изотермы $+20^\circ\text{C}$ на поверхности воды для самого холодного месяца (в северном полушарии — февраль, в южном — август). Дело в том, что эти изотермы — естественный рубеж распространения многих теплолюбивых организмов, в том числе рифообразующих коралловых полипов. По обе стороны от нее резко различаются состав фауны, экологические условия, особенности осадконакопления и береговых процессов, геологическое строение мелководья, многие черты физической географии.

Океанскими течениями и атмосферной циркуляцией тропический пояс оказывает сильное влияние на



природу умеренных и высоких широт обоих полушарий Земли. В тропических водах аккумулируются огромные запасы тепла. Океанские течения, идущие от низких широт в более высокие,— система Гольфстрима в Атлантическом океане и Курисио в Тихом, а также аналогичные течения в южном полушарии — переносят значительно больше тепла, чем атмосферные потоки. Те районы океана, куда проникают их воды, оказываются теплее окружающих вод на этих широтах. Можно сказать, что настоящая теплая «кухня погоды» всей планеты — это тропический океан, так как он — главный аккумулятор солнечного тепла на Земле.

ПОГОДА, КЛИМАТ

Тропический пояс получает максимальное на Земле количество солнечной радиации — около 160 ккал на 1 см² в год на поверхности океана. Частично тепло расходуется в процессе испарения воды, частично идет на нагревание поверхностного слоя. Длинноволновая радиация полностью поглощается в верхних сантиметрах



Схема возможных потоков в пределах пассатного течения северного полушария. Прямой широкой стрелкой показано общее направление пассатного течения. Как видно, преобладающий поток направлен на запад. Его положение с течением времени несколько изменяется. По сторонам основного потока наблюдаются крупномасштабные вихри. С ними связаны потоки, направленные против основного течения

воды. Когда небо безоблачно, а море спокойно, такой приток тепла может нагревать поверхностный слой до 28—30°.

Главный ветер тропического океана — пассат: северо-восточный в северном полушарии, юго-восточный — в южном. Это самый устойчивый и постоянный ветер на земном шаре. Он никогда не прекращается и дует в тропических широтах над океаном из восточной части горизонта под углом к экватору, а в западных частях океанов — почти с востока. Там, где встречаются и затихают пассаты северного и южного полушарий, находится экваториальная зона затишья и штелей.

Между экватором и тропиками наблюдаются существенные климатические различия: на экваторе преобладает маловетрие, постоянно высокая температура воздуха, значительная влажность и облачность, обильные осадки. У тропиков господствуют устойчивые пассатные ветры, более сухой воздух, летние дожди, заметные колебания температуры воздуха в течение года. Морской тропический воздух — теплый и сравнительно сухой — при движении в пассатном потоке к экватору прогревается, насыщается влагой и постепенно трансформируется в экваториальный — очень теплый (27—30°) и влажный.

Обычно атмосферные процессы в тропиках отличаются исключительным постоянством. Это определяет относительно малую изменчивость условий в океане. Лишь тропические ураганы нарушают регулярный ход событий. Механику и термодинамику урагана изучили лишь в самое недавнее время академик В. В. Шулейкин

и другие исследователи. (См. статью, опубликованную в этом номере журнала — Ред.) При анализе условий зарождения и развития ураганов использовали фотографии, сделанные с искусственных спутников Земли, и другие материалы. Было определено количество пара, которое поднимается до уровня конденсации, выделяющееся при этом тепло и энергия, получаемая ураганом в одну секунду при обычной (для лета) температуре на поверхности воды +28°, и вычислена мощность, поглощаемая трением воздуха о поверхность воды. Полная мощность атлантического урагана обычно составляет 200 млрд. квт. Механическая — лишь 7 млрд. квт, а в редких случаях, когда поверхность воды нагрета почти до 32°, достигает 12 млрд. квт. Так было в августе 1969 года, когда над Карибским морем и Мексиканским заливом промчался циклон «Камилла».

ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ И ВЕРТИКАЛЬНЫЕ ПОТОКИ

Поверхностные течения в тропическом поясе Мирового океана определяются пассатными ветрами, распределением плотности воды и разностью уровня. Исследования последних двух десятилетий существенно обогатили, изменили и усложнили наши представления о течениях в этих районах. Оказалось, что схема течений значительно сложнее, чем полагали раньше. В структуре пассатных течений недавно обнаружены отдельные чередующиеся струи сильных потоков, полосы слабых течений и даже противотечений.

Были открыты течение Кромвелла

в Тихом океане, течение Ломоносова в Атлантическом, а также мощные подповерхностные и частично поверхностные струи слева и справа от этих потоков. Н. К. Ханайченко в 1966 году пришел к выводу о существовании в тропическом поясе целой системы подповерхностных и частично поверхностных течений, направленных на восток. Каждая система состоит из трех ветвей. Центральная ветвь — это подповерхностные экваториальные течения (Кромвелла и Ломоносова), идущие точно под экватором. Северная (левая) ветвь частично совпадает с поверхностными экваториальными противотечениями. Южная (правая) ветвь обнаружена недавно южнее экватора в основном как подповерхностный поток. Местами он достигает поверхности океана. С поверхностными течениями связаны подповерхностные и частично глубинные течения, а также вертикальные движения вод. С точки зрения условий развития жизни особый интерес представляет подъем вод. Поэтому в последние два десятилетия делается очень много для изучения вертикальной циркуляции. Вертикальные движения изучены еще недостаточно в значительной мере из-за трудности наблюдений этого явления. Имеющиеся оценки скорости вертикальных движений получены теоретически различными методами.

Сравнительно недавно в мировой научной литературе утвердился термин «апвеллинг». («Земля и Вселенная», № 1, 1971 г., стр. 30—35.—Ред.) Этим термином называют устойчивый подъем глубинных и подповерхностных океанских вод со скоростью не менее нескольких десятков

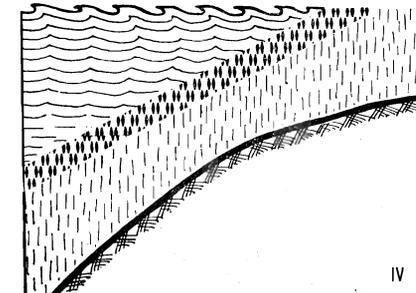
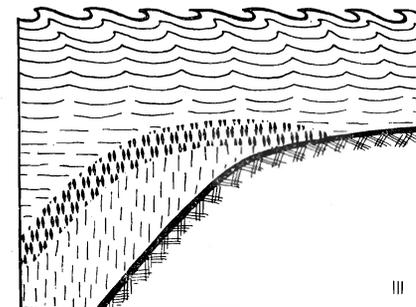
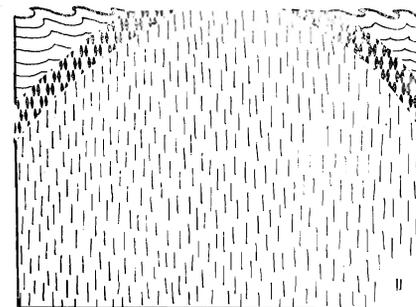
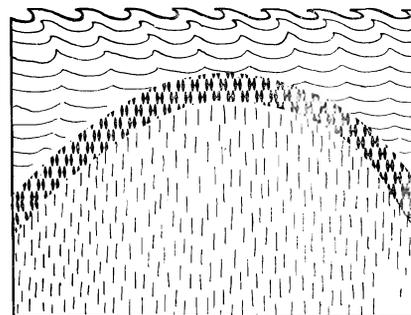
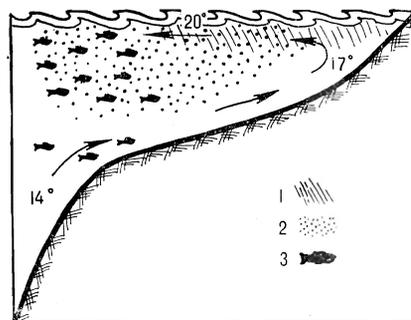
сантиметров в сутки. В океане апвеллинг наблюдается либо круглый год, либо в определенные сезоны. Одна из причин его — действие сгонных ветров. Другая причина — поперечная циркуляция в потоке. Поперечная циркуляция иногда оказывается более мощным фактором подъема вод, нежели непосредственное воздействие сгонного ветра. Самый сильный и постоянный апвеллинг наблюдается у восточных окраин Тихого и Атлантического океанов — у берегов Калифорнии и Перу, Северо-Западной и Юго-Западной Африки. Там всюду холодные течения идут к экватору. В каждом из них пассаты и поперечная циркуляция вызывают подъем вод с глубин к поверхности. Скорость подъема обычно превышает 1 м в сутки. Знание районов подъема вод, устойчивости и интенсивности этого явления в тропиках имеет часто решающее значение для оценки общей биологической и рыбопромысловой продуктивности различных районов.



Зона апвеллинга. Близ берега преобладает фитопланктон (1), дальше от берега господствует зоопланктон (2). Обилие пищи привлекает сюда рыб (3)



Различные типы апвеллинга. Куполообразный подъем вод (I), купол холодных вод с выходом их на поверхность (II), подъем на край шельфа (III), выход вод по шельфу на поверхность (IV). Горизонтальной штриховкой выделена поверхностная вода, вертикальной — вода, поднимающаяся к поверхности; слой скачка показан плотной штриховкой



ВЕЧНОТЕПЛЫЕ ВОДЫ И КРУГОВОРОТ ВЕЩЕСТВ

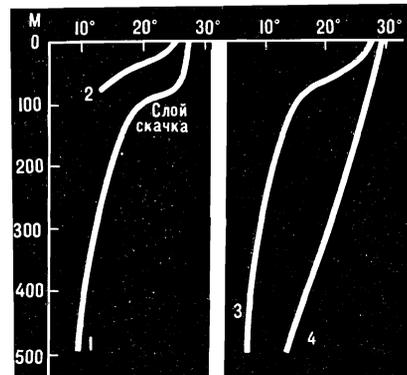
Одна из главных особенностей тропических вод — постоянно высокая температура верхних слоев, как правило, больше 20° С. Это определяет многие особенности природы тропического пояса: физическую океанографию, гидрохимию, биологию и геологию. У экватора температура обычно равна 27—29°.

Полоса теплых вод в восточных частях океанов уже, в западных — шире. Это связано с переносом больших масс теплой воды пассатными течениями на запад, холодные течения восточных окраин понижают температуру там до 20—23°. Еще более резкое понижение температуры, но в более ограниченных районах, происходит в результате интенсивного апвеллинга. Под теплой поверхностной водой находятся холодные воды, приходящие из высоких широт. Поэтому в целом для тропических широт характерно трехслойное распределение температуры по вертикали в верхних слоях: теплый поверхностный слой; слой скачка температуры, или термоклин, где температура более или менее резко понижается с увеличением глубины; относительно холодная вода на глубине. Толщина поверхностного теплового слоя зависит от интенсивности прогрева воды, от силы ветрового перемешивания, от вертикальных и горизонтальных движений вод. Толщина этого слоя несколько десятков метров. В восточных районах океана он обычно тонкий — 25—30, реже 50 м. К западу его толщина, как правило, увеличивается. В последнее время с помощью приборов

непрерывной записи температуры (батитермограф, термозонд) обнаружено несколько слоев скачка, каждый из которых связан с определенными условиями перемешивания. Своеобразный «ступенчатый» рисунок слоя скачка наблюдался в некоторых течениях, несущих различные воды.

Обычно на картах и в атласах приводится распределение температуры на поверхности. Поверхностная температура очень важна для изучения взаимодействия океана и атмосферы. Однако для изучения жизни океана важнее карты горизонтального распределения температуры на глубинах 50, 100, 200, 300 м. Эти карты отражают в основном вертикальные составляющие циркуляции вод и могут служить ориентирами для поиска перспективных в промышленном отношении районов. Обширные районы высоких температур на глубинах 100—300 м соответствуют погружению вод. Районы низких (ниже 20°) температур на глубине 100 м и тем более 50 м — это районы интенсивного подъема вод.

Гидрохимические особенности тропических вод представляют двоякий интерес: как основа биологической и рыбопромысловой продуктивности и как основа осадконакопления. Постоянно устойчивая стратификация вод чрезвычайно затрудняет глубокое вертикальное перемешивание и вынос питательных веществ в поверхностный, освещенный солнцем, фотический слой. Питательные вещества остаются на больших глубинах, лишенных света. Это настоящая «трагедия» тропических вод. Вот почему интерес ученых прикован к имеющимся в тропических широтах

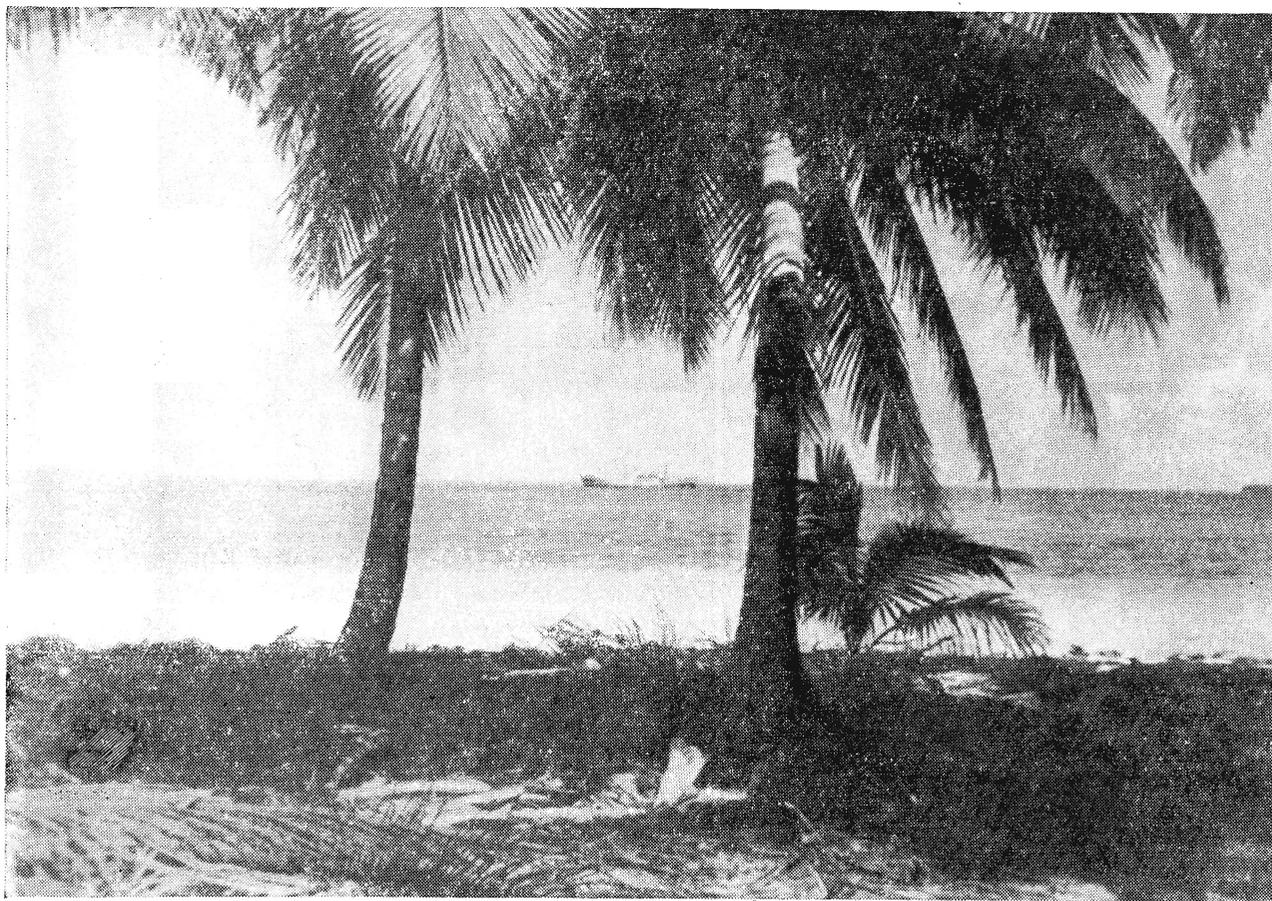


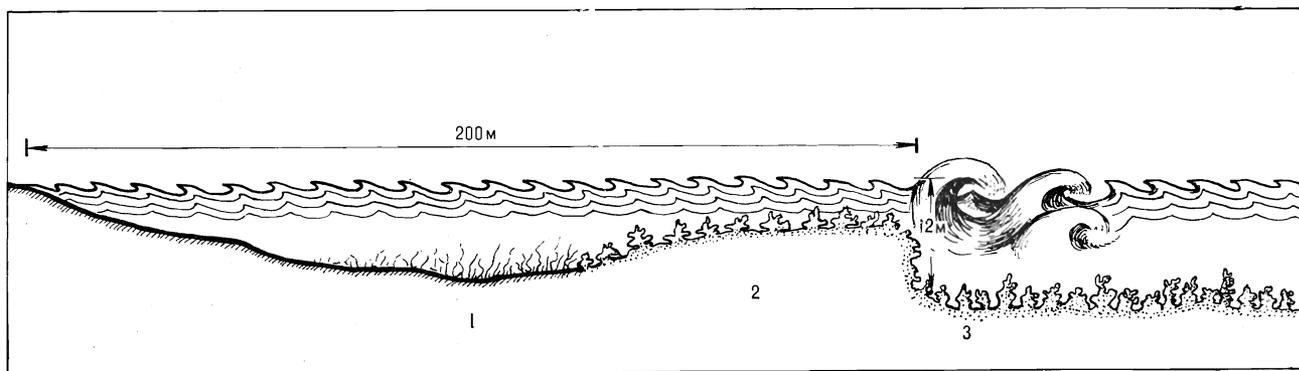
районам подъема вод. Там к поверхности выносятся воды с большим содержанием фосфатов, азотистых и других веществ. В районах апвеллинга — обилие солнечных лучей, кислорода и углекислого газа, питательных веществ. Все это приводит к интенсивному развитию фотосинтетической деятельности фитопланктона, к резкому повышению биологической и рыбопромысловой продуктивности. Поэтому районы апвеллинга очень богаты рыбой.

Второй важнейший аспект гидрохимии тропических вод касается вопросов осадконакопления, геологии и геохимии. В океанской воде, в отличие от речной, содержится очень немного углекислого кальция (CaCO_3), причем в виде диссоциированных ионов $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$. При высокой температуре воды растворимость газов понижается и углекислый газ, увеличивающий растворимость углекислого кальция, выделяется из воды. Теплая вода тропиков оказывается пересыщенной этой солью — идет интенсивное выпадение CaCO_3 в осад-

Распределение температуры воды по вертикали в тропическом поясе: 1 — нормальное, обычное; 2, 3 — в районах апвеллинга (2 — над малой глубиной); 4 — в районе погружения вод. В пределах слоя скачка температуры кривая приближается к горизонтальной

Типичные ландшафты на побережье тропической зоны Мирового океана, остров Диего-Гарсиа (Чagos)





док. Это напоминает образование накипи в чайнике или котле. Из теплой воды углекислый кальций или составляющие его ионы с легкостью извлекаются животными и растительными организмами бентоса и планктона и используются ими для построения внутреннего и внешнего скелета, раковин и т. д. После отмирания организмов огромные количества органического углекислого кальция скапливаются в мелководных районах теплых морей и постепенно, в течение долгого времени образуют толщи мела и известняка. Многие сотни коралловых островов, в том числе все атоллы, обязаны своим существованием органическому осадконакоплению углекислого кальция, которое в таком масштабе возможно лишь в теплых тропических водах.

ТРОПИЧЕСКИЕ РЕЙСЫ

Для исследования тропических вод и их ресурсов много сделали советские экспедиции на судах «Витязь», «Михаил Ломоносов», «Академик Курчатов», «Академик Ковалевский» и других, а также советские рыбохозяйственные экспедиции. В одном из рейсов исследовательское судно «Витязь» вошло в лагуну острова Диего-Гарсиа (архипелаг Чагос в центральной части Индийского

океана) по главному проливу, острожно выбирая путь между коралловыми рифами, прошло в северную часть лагуны и бросило якорь примерно в одной миле от берега. Атолл очень большой, в длину около 25 км, в ширину 10 км. Общая длина неправильного кольца суши 65 км. Оно очень узкое — 0,5—1 км. Берега возвышаются не более чем на 4—5 м над уровнем моря и почти полностью покрыты лесом. Это в основном кокосовые пальмы с ярко-зелеными кронами, южные хвойные казуарины и небольшие широколиственные деревья. Остров с обеих сторон, то есть со стороны открытого океана и со стороны лагуны, окаймлен пляжем из чисто белого кораллового песка. Грунт острова — это по существу сплошной мертвый коралловый известняк, пористый, серого или белого цвета. Внутри острова, куда не достигает дуновение пассата, очень жарко. На берегу — вполне терпимо. Коралловые колонии начинаются почти у самого берега. Это в основном живые коралловые колонии, бурого и зеленоватого цвета. Они доходят до уровня моря в самый сильный отлив. Во время отлива мы ходили прямо по коралловым колониям, тонкие ветви обламывались под ногами. Во время прилива плавали по лагуне и наблюдали кораллы через маску. В тихих водах лагуны полипы строят очень тонкие и хрупкие конструкции с изящными ветвями — это разные виды ветвистой акропоры, а также грибовидные фунгии и др. Совершенно другой подводный ландшафт — со стороны от-

крытого океана. Здесь сильный прибой, и кораллы образуют мощные, крепкие колонии, преимущественно округлой формы. Это различные «мозговики» и прочие крепкие разновидности. Если смотреть на коралловые колонии через поверхность воды, то кажется, что они колыхнутся. Такое впечатление создают волны, действующие последовательно то как выпуклые собирающие линзы (гребни волн), то как вогнутые рассеивающие (впадины между волнами). В итоге постоянно меняется характер преломления и создается впечатление колебания ветвей. Если надеть маску и погрузить лицо в воду, то видно, что каменные ветви кораллов абсолютно неподвижны, а по ним бегут тени мелких волн...

Ученые должны решить множество проблем, изучая тропическую зону; среди них и вопросы обмена энергией и водами между тропической и другими зонами, и сезонная цикличность явлений, и физико-географические комплексы и оценка их ресурсов. Исследователям предстоит глубокая разработка теоретических основ управления системами тропических биологических сообществ и рациональных способов использования биологических ресурсов коралловых рифов.

Схема коралловых рифов: 1 — зона донной растительности; 2 — зона ветвистых кораллов; 3 — зона преобладания мозговики и других массивных коралловых колоний

Кандидат технических наук
В. П. НИКОЛАЕВ

Флуктуации солнечного света в море

СОЛНЕЧНЫЕ «ЗАЙЧИКИ»
НА МОРСКОМ ДНЕ

Многим приходилось наблюдать световые узоры, бегущие по дну моря на мелководье. Если плыть над дном в очень чистой воде, то можно заметить, что с увеличением глубины характер световых узоров резко меняется. Яркая с большим количеством мелких деталей картина, наблюдаемая на малой глубине, постепенно размывается и исчезает; на большой глубине образуются более правильные и более крупные, почти параллельные светлые полосы. Этот непрерывно изменяющийся эффект создается благодаря преломлению солнечных лучей на взволнованной поверхности моря: каждый небольшой участок поверхности волны действует как своеобразная линза, собирающая или рассеивающая лучи. Поэтому всю поверхность волны можно представить в виде совокупности систем таких линз с переменными фокусным расстоянием и ориентацией оптических осей. Преломляющиеся солнечные лучи порождают на дне моря солнечные «зайчики», которые сплетаются в сложные узоры. Теперь нетрудно догадаться, что сложные узоры, наблюдаемые на мелководье, обязаны линзочкам (участкам поверхности волны) с малым фокусным расстоянием, а крупные светлые полосы — линзочкам с большим фокусным расстоянием.

Солнечными «зайчиками» на морском дне ученые заинтересовались в самые последние годы, но уже первые результаты исследований показали, что быстрые колебания величины подводной освещенности могут иметь

С 1968 по 1972 год в Голубой бухте (вблизи города Геленджика), а в 1973—1974 годах у мыса Маслен (Бургасский округ Народной Республики Болгарии) проводились комплексные подводные океанологические измерения на базе обитаемой подводной лаборатории «Черномор». В публикуемой статье рассказывается о выполнении оптической программы подводных исследований.

существенное значение как для морских организмов, так и для практической деятельности человека в море. Биологи предполагают, что горизонты, где фокусируются световые лучи и где, следовательно, возможна высокая концентрация световой энергии, привлекают фитопланктон, то есть микроорганизмы, поглощающие солнечную энергию. Нетрудно представить себе ситуацию, когда правильные периодические колебания подводной освещенности помогают косякам рыб в их «навигации». Такие условия встречаются, например, в зоне пассатов, где многие месяцы на поверхности моря сохраняется устойчивое волнение и где на некоторой глубине также неизменно в одном и том же направлении бегут яркие световые полосы. Морские обитатели очень ловко используют подводные световые узоры в целях маскировки. Например, раскраска многих видов медуз, а также некоторых хищных коралловых рыб очень похожа на световые узоры, возникающие на дне.

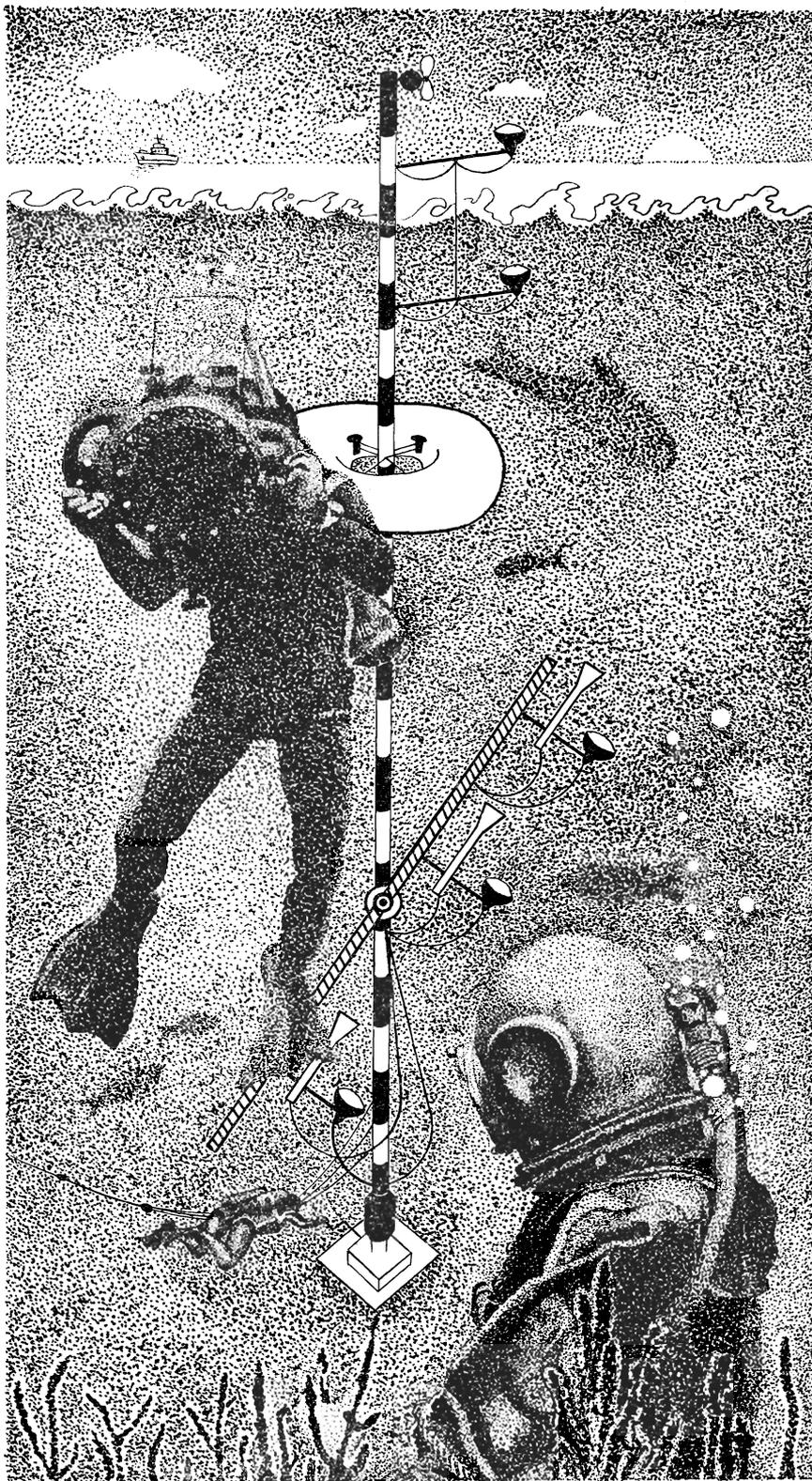
При определении характеристик

волнения на поверхности моря довольно часто возникает необходимость в неконтактных методах измерений, то есть таких методах, когда измеритель волнения находится вдали от морской поверхности. По-видимому, одним из эффективных методов может быть определение характеристик волнения по колебаниям подводной освещенности. (Разумеется, при расчетах здесь не обойтись без электронно-вычислительной машины.)

Есть и еще много проблем, при решении которых надо знать закономерности колебаний подводной освещенности. К ним относится конструирование подводных телевизионных систем, а также систем подводной связи и локации, основанных на использовании светового луча. Чтобы повысить эффективность действия этих измерительных устройств, необходимо в самых мельчайших деталях изучить закономерности колебаний подводной освещенности, которые в данном случае являются помехой.

ИЗМЕРЕНИЯ ПОДВОДНОГО СВЕТОВОГО ПОЛЯ

Удобнее всего статистические характеристики подводного светового поля измерять с помощью светоприемников, смонтированных на какой-либо жесткой опоре, установленной на дне моря. Однако монтаж опоры на морском дне, укрепление светоприемников, а также их обслуживание очень трудно осуществить без водолазных работ. Если же водолазные работы ведутся на значительной глубине и если объем работ достаточно



велик, наиболее эффективно использовать акванавтов. Кроме того, в ряде случаев по различным технологическим соображениям желательно регистрирующую аппаратуру размещать только на дне, не выводя сигнальные кабели к поверхности моря, на судно или берег. Вот почему исследования статистических характеристик подводного светового поля были включены в программу океанологических работ из подводной лаборатории «Черномор».

После погружения «Черномора» на дно и заселения его экипажем недалеко от подводной лаборатории, на расстоянии около 30 м, установили специальную мачту, предназначенную для монтажа светоприемников и других приборов. Это — стальная 20-метровая труба, закрепленная на дне моря якорем с поворотным устройством. Труба обладает собственной плавучестью, кроме того, на ее верхнюю часть насажено массивное кольцо из пенопласта, обеспечивающее мачте дополнительную плавучесть. Мачта стоит вертикально, опираясь на дно и возвышаясь над поверхностью моря. На мачте, в шести метрах от ее нижнего торца, крепится девятиметровая ферма, которую можно вращать относительно горизонтальной оси. В подводной части мачты находятся несколько измерителей освещенности и яркости, а над водой располагается анемометр, из-

■
Акванавты у основания подводной приборной мачты



меритель надводной освещенности и струна волнографа — прибора, регистрирующего колебания уровня морской поверхности. Большинство светоприемников размещается на подвижной ферме, поэтому их можно любым образом ориентировать относительно направления на Солнце. Сигналы от светоприемников, волнографа и анемометра передаются на регистрирующую аппаратуру «Черномора» или береговой лаборатории по кабелю, проложенному на дне.

Как выглядит процедура регистрации колебаний подводной освещенности? Акванавт из «Черномора» — подводный оператор — подходит к основанию мачты и вращением рукоятки поворотного устройства разворачивает мачту относительно вертикальной оси до совмещения плоскости, в которой располагаются светоприемники, с плоскостью солнечного азимута. После этого подводный оператор поднимается к подвижной ферме и, развернув ее относительно горизонтальной оси, фиксирует ферму в таком положении, чтобы ее продольная ось составляла требуемый угол с направлением преломленных солнечных лучей. Иногда оператору приходится изменять и глубину, на которой располагаются светоприемники. Закончив свою часть работы, акванавт по телефону докладывает на «Черномор» и на «Орбели» — судно обеспечения работ с «Черномором» — о готовности светоприемников к регистрации и отходит от мачты. В береговой лаборатории по команде, полученной от акванавтов «Черномора», включают регистраторы, и на ленте осциллографа одновременно фиксируются сигналы от надводного

и подводного светоприемников, от волнографа и анемометра. Одновременно с борта «Орбели» батометром берут пробу воды с нескольких горизонтов, на этих пробах затем определяют первичные оптические характеристики воды.

Когда акванавты не могли участвовать в работах по обслуживанию мачты, обязанности подводных операторов выполняли научные сотрудники лаборатории подводных экспериментов Южного отделения Института океанологии АН СССР В. Г. Якубенко, В. М. Тутубалин и автор этой статьи. «Шефом» регистрирующей аппаратуры был старший инженер лаборатории подводных экспериментов А. Н. Жильцов. Измерениями гидрооптических характеристик занимался старший научный сотрудник лаборатории гидрооптики Института океанологии АН СССР кандидат географических наук В. М. Павлов.

Что стало известно о колебаниях подводной освещенности в результате исследований на «Черноморе»?

Сложный волновой процесс на поверхности моря можно представить в виде суммы большого числа простых колебаний, каждое из которых имеет свою собственную частоту и амплитуду. Оказывается, все самые характерные для волнения на поверхности моря частоты сохраняются и в спектре колебаний подводной освещенности, и чем больше (до известных пределов) глубина наблюдений, тем больше значения характеристик спектра колебаний подводной освещенности приближаются к значениям соответствующих характеристик волнения на морской поверхности. Спектр колебаний подводной освещенности

наиболее богат частотами на малых глубинах в часы, близкие к полудню, но и в этих условиях основная часть энергии колебаний заключена в диапазоне частот от 0 до 5—10 гц. Коэффициент модуляции освещенности (отношение переменной составляющей подводной освещенности к ее постоянной компоненте) вблизи поверхности достигает 0,25—0,30.

Очень интересными оказались результаты определения коэффициента корреляции между колебаниями подводной освещенности и волнением на поверхности моря. Сходство двух этих процессов с глубиной не маскируется, а наоборот, проявляется все более и более отчетливо. Точно так же сходство этих процессов возрастает с уменьшением угла между направлением, характеризующим ориентацию оптической оси светоприемника, и направлением распространения солнечного луча в воде. Полученные результаты позволяют надеяться, что, разместив светоприемники под водой на жесткой горизонтальной опоре и вращая эту опору относительно вертикальной оси, можно определить и направление распространения волн на поверхности моря. Вероятно, в ближайшие годы такие работы будут проведены.

Доктор физико-математических наук
Б. Ю. ЛЕВИН
Кандидат физико-математических наук
С. В. МАЕВА

Загадки происхождения и истории Луны

«ГОРЯЧАЯ» ИЛИ «ХОЛОДНАЯ» ЛУНА?

Прямые исследования Луны, изучение доставленных на Землю лунных пород подтвердили некоторые важные выводы, полученные ранее из математических расчетов тепловой истории Луны, и в то же время потребовали пересмотра других результатов, основанных на тех же расчетах. Теперь уже никто не сомневается ни в том, что Луна, как и Земля, прошла через магматическую дифференциацию недр, в ходе которой легкоплавкие компоненты поднимались вверх, к поверхности, ни в том, что в ее центре и поныне имеется частично расплавленная область.

Но в расчетах для первоначально холодных моделей Луны дифференциация наступала спустя 1—2 млрд. лет после образования Луны. Поэтому предполагалось, что только лунные моря залиты лавой. Сейчас же известно, что вся ее поверхность покрыта толстой корой, выделившейся из недр. Возраст лав, которые заполняют лунные моря, 3,1—3,9 млрд. лет, а материковые области, густо усеянные ударными кратерами, несомненно, значительно старше. Следовательно, дифференциация произошла очень рано, охватив всю или почти всю Луну. Кроме того, измеренный поток тепла из лунных недр значительно превосходит вычисленный для модели Луны с такой же концентрацией радиоактивных элементов, как и в хондритовых метеоро-
ритах — самом распространенном типе каменных метеоритов. Если этот поток характерен для всей лунной поверхности, то в недрах Луны должно генерироваться в 3 раза больше тепла, чем могут обеспечить радиоактивные элементы, содержащиеся в хондритах.

Попытки объяснить новые данные о Луне привели к новым серьезным затруднениям.

Ранняя дифференциация Луны, бесспорно, указывает на ее **высокую начальную температуру**, но источник энергии для столь раннего разогрева все еще остается неизвестным.

Совсем недавно с близкого расстояния был сфотографирован Меркурий. На снимках, переданных на Землю «Маринером-10», можно увидеть застывшие лавовые излияния. Это не согласуется с моделью тепловой истории Меркурия, рассчитанной С. В. Маевой. По ее расчетам, недра планеты не разогревались до начала плавления. В модели, предложенной С. В. Маевой, начальная температура Меркурия была высокой — 1000° К, а содержание радиоактивных элементов такое же, как в хондритовых метеоритах. Судя по снимкам, лавовые излияния на Меркурии происходили еще в эпоху интенсивной бомбардировки и образования кратеров. Значит, начальная температура планеты была, вероятно, выше 1000° К. Если предположить большое содержание радиоактивных элементов, то недра Меркурия расплавились бы слишком поздно — уже после окончания интенсивного кратерообразования. Возникает тот же вопрос, что стоит

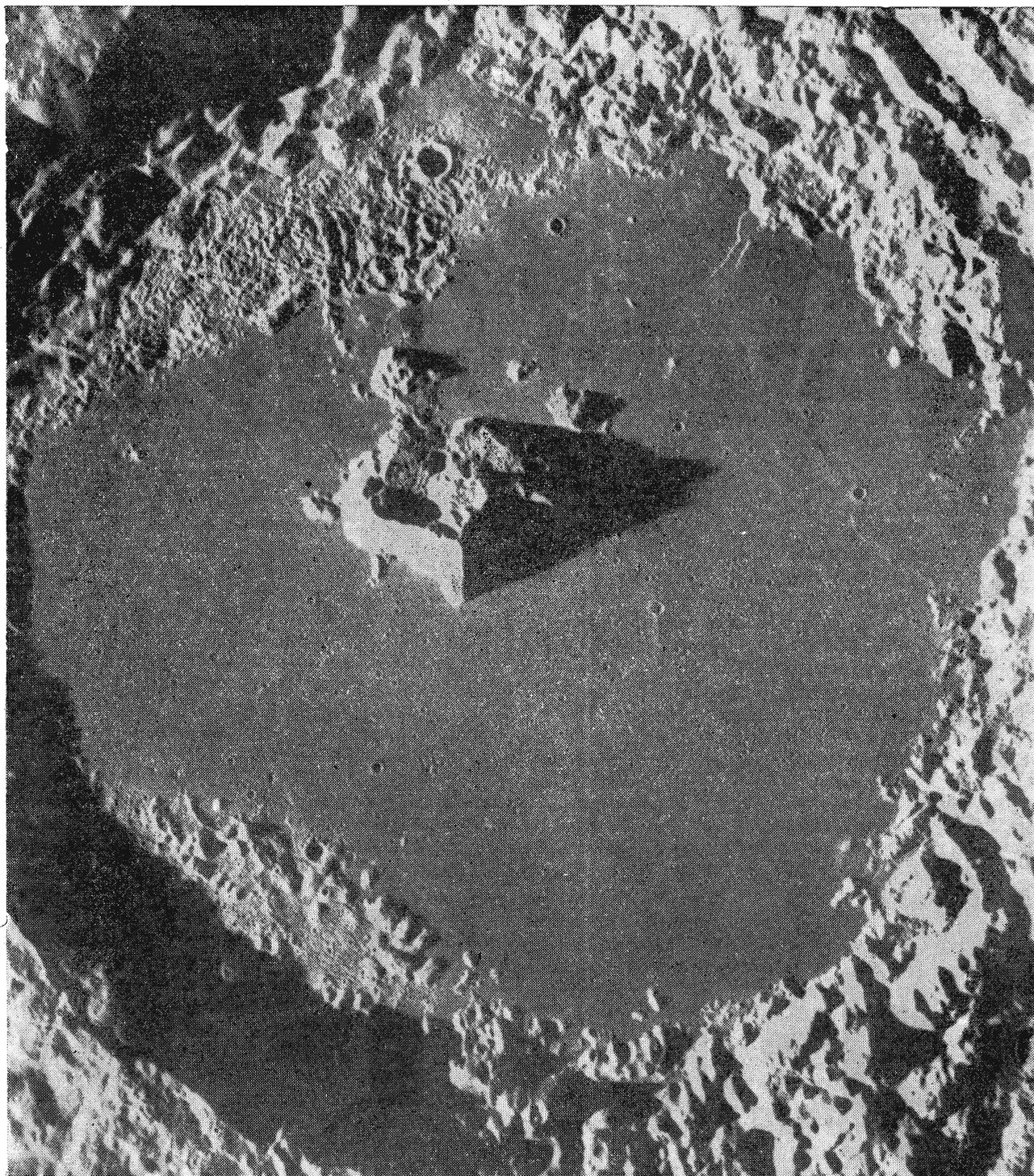
перед исследователями Луны: каков источник раннего разогрева Меркурия?

ТЕПЛОВОЕ СОСТОЯНИЕ ЛУНЫ

В местах посадки «Аполлона-15 и -17» был определен тепловой поток из недр Луны. Он оказался равным 28—30 эрг/см² · сек. Источником этого тепла могут быть лишь радиоактивные элементы. Но поскольку на лунной поверхности обнаружены обширные участки с различным содержанием радиоактивных элементов, правомерность экстраполяции на всю Луну теплового потока, измеренного только в двух точках, остается неясной. Однако в ее пользу говорят наблюдения, выполненные десять лет назад советским радиоастрономом В. С. Троицким с сотрудниками. Измерив радиоизлучение от всего видимого полушария Луны, они нашли, что тепловой поток из ее недр составляет 35 эрг/см² · сек.

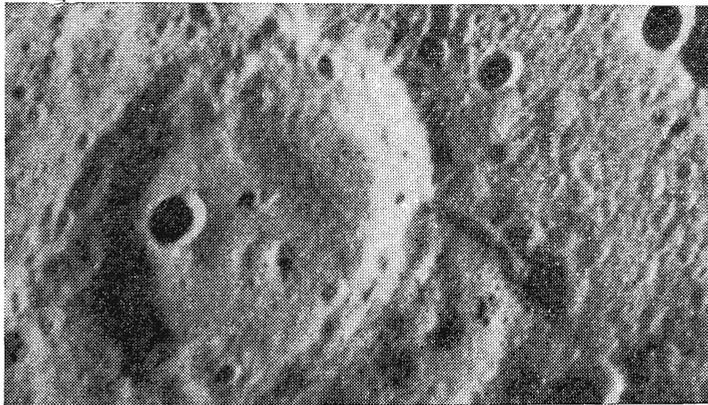
Если отбросить все сомнения и считать измеренный тепловой поток типичным для всей Луны, то мы получим новое «граничное условие», которому должны удовлетворять расчеты тепловой истории Луны. Это условие определяет современное выделение тепла в недрах Луны, которое должно быть в 3 раза выше, чем в хондритовых метеоритах и Земле. Следовательно, долгоживущие радиоактивные элементы или хотя бы часть из них должны встречаться на Луне в большем количестве, чем в метеоритах и Земле. Некоторые исследователи допускают, что в Луне больше урана и тория, но в то же время несколько меньше калия. Кос-

Сокращенный текст доклада, сделанного на Советско-американской конференции по космохимии Луны и планет (Москва, июнь, 1974 г.)



■
Дно кратера Циолковский, залитое застывшей лавой. Видны валы сжатия и трещины. Такие же валы и

трещины наблюдаются и на поверхности лавовых морей на видимой стороне Луны. Снимок сделан из орбитального отсека космического корабля «Аполлон-15»



могониическое обоснование этих различий пока что отсутствует.

Еще одно, но уже надежное «граничное условие» для расчетов тепловой истории Луны — современная толщина ее наружного твердого слоя. Сейсмические исследования показали, что в центре Луны имеется частично расплавленная зона. Выше лежит слой твердого вещества, толщина которого около 1000 км. Таким образом, частично расплавлены примерно 20% объема Луны.

Авторы этой статьи рассчитали модели тепловой истории Луны, удовлетворяющие двум новым «граничным условиям». Сложная и плохо известная тепловая эволюция Луны на протяжении первого миллиарда лет ее существования не рассматривалась. Предполагалось, что в течение этого периода недр Луны благодаря



Кратер на Меркурии. Дно кратера залито лавой. Фрагмент снимка, переданного космическим аппаратом «Маринер-10»

высокой начальной температуре подверглись частичному плавлению и магматической дифференциации. В результате Луна разделилась на однородную кору (толщина 63 км), обогащенную радиоактивными элементами, и однородную внутреннюю область (мантию), обедненную этими элементами. Тепловую историю такой «двухслойной» модели для последних 3,5 млрд. лет и рассчитали авторы статьи.

Все это время Луна медленно остывает, поскольку тепло, выделяющееся радиоактивными элементами в коре, может легко ускользнуть в пространство. Согласно модели, содержание урана и тория в коре в 9 раз больше среднего для всей Луны, а в мантии — в 19 раз меньше среднего. Таким образом, в коре сосредоточено почти 95% урана и тория и около 90% калия. Предполагается, что 3,5 млрд. лет назад температура недр глубже 200 км была чуть выше температуры начала плавления, а именно, что в каждой точке внут-

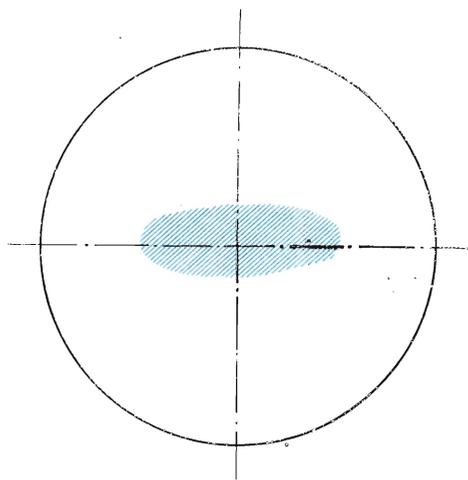
ренней области было расплавлено 8% вещества. На протяжении последних 3,5 млрд. лет остывают не только внешние слои Луны, но и эта внутренняя область. Граница частично расплавленной зоны сдвигается к центру, но даже и там доля расплавленного вещества в каждой точке сокращается до 2—4%. Современная температура лунных недр медленно возрастает с глубиной, приближаясь к температуре плавления вещества Луны. Таким образом, граница между твердой и частично расплавленной зонами получается очень нерезкой. Вероятно, это соответствует большой толщине слоя очагов глубинных «землетрясений» на Луне.

Поскольку поверхностная температура в полярных областях Луны значительно ниже, чем в экваториальных, внешний твердый слой там толще, чем на экваторе. В результате центральная, частично расплавленная область имеет не сферическую, а сплюснутую форму.

Расчеты тепловой истории такой двухслойной модели показывают, что если Луна очень рано прошла стадию плавления (то есть ее начальная температура была высокой) и в ней велико содержание радиоактивных элементов, то современные тепловые свойства Луны объясняются без труда. Но обе эти предпосылки пока загадочны. Они связаны с неизвестным происхождением Луны.

ХИМИЯ ЛУНЫ

Как уже отмечалось, Луна почему-то содержит значительно больше радиоактивных элементов, чем Земля. Многие исследователи считают, что



имеются и другие различия в химическом составе Земли и ее спутника: малое содержание железа в Луне, дефицит летучих элементов, обогащение всего нашего спутника кальцием, алюминием, титаном. Однако все эти различия нуждаются в подтверждении.

Разное содержание железа получается лишь в том случае, если считать ядро Земли в основном железным. Но существует и гипотеза металлизированного ядра Земли. Она утверждает, что земное ядро сложено окислами и силикатами, которые под высоким давлением приобрели металлические свойства. Если эта гипотеза справедлива, то Земля и Луна могут иметь сходное или даже одинаковое содержание железа.

Дефицит летучих элементов и обогащение лунных пород кальцием и алюминием предполагаются на основании анализа образцов, взятых с поверхности Луны и притом лишь в нескольких местах. Вдобавок состав этих образцов мог быть искажен процессами, которые сопровождали удары тел, выпадавших и продолжающих падать на лунную поверхность. Поэтому не удивительно, что до сих пор ведется обсуждение, как протекала магматическая дифференциация Луны и каковы причины дефицита летучих элементов в поверхностных породах. Ярким примером резко различных мнений могут служить споры о происхождении морских базальтов. Австралийские специалисты считают их продуктом частичного плавления вещества недр. Английские же петрологи приводят как будто убедительные указания на то, что лунные моря некогда представляли собой лавовые озе-

ра, в которых происходила фракционная кристаллизация. Дефицит летучих элементов в лунных базальтах они объясняют не дефицитом их во всей Луне, а селективным испарением летучих веществ из горячих лав, изливавшихся на поверхность, или, что значительно эффективнее, из огненных фонтанов, сопровождавших излияние лав. В условиях столь острых дискуссий делать заключение об особенностях состава всей Луны явно преждевременно.

Поскольку материковые области Луны, занимающие большую часть ее поверхности, сложены анортозитовыми породами, обогащенность поверхностных слоев Луны кальцием и алюминием не подлежит сомнению. Но в какой мере вся Луна обогащена этими химическими элементами, пока неясно. Минералы с большим содержанием кальция и алюминия называют «ранними конденсатами», так как в остывающем протопланетном облаке они конденсируются раньше железа и силикатов. Однако являются ли эти минералы действительно первыми конденсатами?

Недавно американские ученые Г. Аррениус и Б. Де показали, что в протопланетном диске температура пылинок должна быть на сотни градусов ниже кинетической температу-



Разрез Луны. Внутри твердой Луны есть полурасплавленная центральная область

ры газа. Для многих соединений это не меняет последовательности их конденсации, для других, в том числе и минералов, богатых кальцием и алюминием, существенно меняет ее. Но тогда эти минералы уже не будут «первыми конденсатами» — они должны конденсироваться после железа и силикатов. Можно удивляться, что такое различие в температурах пылинок и газа до сих пор упускалось из виду астрофизиками, рассматривавшими протопланетное облако, хотя подобная ситуация в межзвездных туманностях давно и хорошо известна.

Некоторые исследователи попытались связать различное содержание «ранних конденсатов» в Луне и Земле с различиями в процессе аккумуляции этих тел. Однако их предположения представляются неоправданными. Особенности химического состава всей Луны нуждаются в дальнейшем изучении и проверке. Преждевременно использовать их для объяснения происхождения Луны.

ЧЕМ ОБЪЯСНЯЕТСЯ РАННИЙ РАЗОГРЕВ ЛУНЫ?

Многие ученые приписывают высокую начальную температуру Луны **гравитационной энергии**, освободившейся при ее аккумуляции. Эта энергия выделялась, когда многочисленные тела и частицы падали на лунную поверхность. Значительная доля гравитационной энергии не успела излучиться в пространство, а пошла на нагревание Луны в том случае, если наш спутник сформировался очень быстро — в течение всего нескольких сот лет. Но тогда околоземный рой, из которого аккумуляровалась Луна,

должен был возникнуть практически мгновенно — за время, меньшее ста лет.

Недавно Э. Эпик предложил гипотезу о приливном захвате части вещества одного крупного тела, которое проникло внутрь предела Роша и было разорвано здесь приливными силами. Захваченные обломки вследствие приливной эволюции постепенно вышли за пределы Роша и объединились в Луну. Однако и в этой гипотезе образование Луны длилось более 100—1000 лет, так что объяснить ее быстрый разогрев выделением гравитационной энергии не удастся. Правда, Эпик допускает формирование нескольких, например шести, протолун, объединение которых в Луну могло бы привести к ее горячему начальному состоянию.

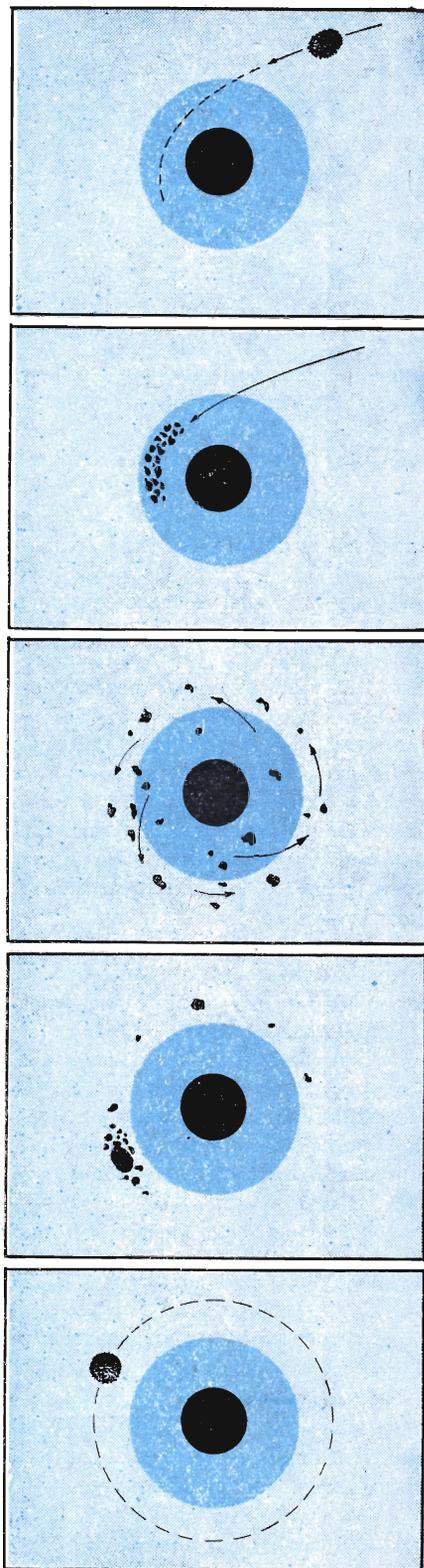
Быстрой аккумуляции Луны противоречит также обилие ударных кратеров на материках. Для сохранения крупных кратеров необходимо, чтобы излившееся из недр вещество остыло до глубины 5—10 км. На это должно уйти 1—10 млн. лет. Между тем, если Луна образовалась за 1000 лет, интенсивная бомбардировка ее поверхности должна была прекратиться задолго до того, как затвердело излившееся вещество.

Некоторые исследователи связывают ранний нагрев Луны с **приливными деформациями**, создаваемыми земным притяжением. Приливные деформации были существенными в ту далекую эпоху, когда Луна, если она сформировалась вблизи Земли и обладала достаточно вытянутой орбитой, еще не отодвинулась от Земли под действием приливого трения. Однако этот механизм нагрева, пока

что плохо изученный, заведомо не приложим к Меркурию. Между тем представляется соблазнительным найти общий источник энергии для начального разогрева Луны и Меркурия.

Еще один возможный источник нагрева Луны — **короткоживущие радиоактивные изотопы**. Совсем недавно наиболее перспективным среди них считался алюминий-26. Но в последние годы экспериментальными и теоретическими исследованиями было показано, что алюминий-26 не играл заметной роли на ранней стадии существования Солнечной системы. Теперь остается лишь надеяться, что среди трансурановых элементов будут открыты короткоживущие изотопы со временем полураспада порядка миллиона лет. Поскольку от последнего галактического нуклеосинтеза до образования твердых тел в Солнечной системе прошло около 100 млн. лет, только очень малая доля короткоживущих радиоактивных изотопов могла сохраниться до той эпохи. Если даже допустить, что их оказалось достаточно для начального разогрева Луны и Меркурия, необходимо, чтобы дальнейший распад короткоживущих изотопов происходил уже в недрах этих небесных тел. Но тогда формирование Луны и Меркурия должно продолжаться всего несколько миллионов лет, считая от времени возникновения твердых тел. До сих пор остается неизвестным,

■
Схема аккумуляции Луны из захваченных Землей обломков тела, залетевшего внутрь предела Роша. Область внутри предела Роша на этом и следующем рисунке показана более интенсивным цветом



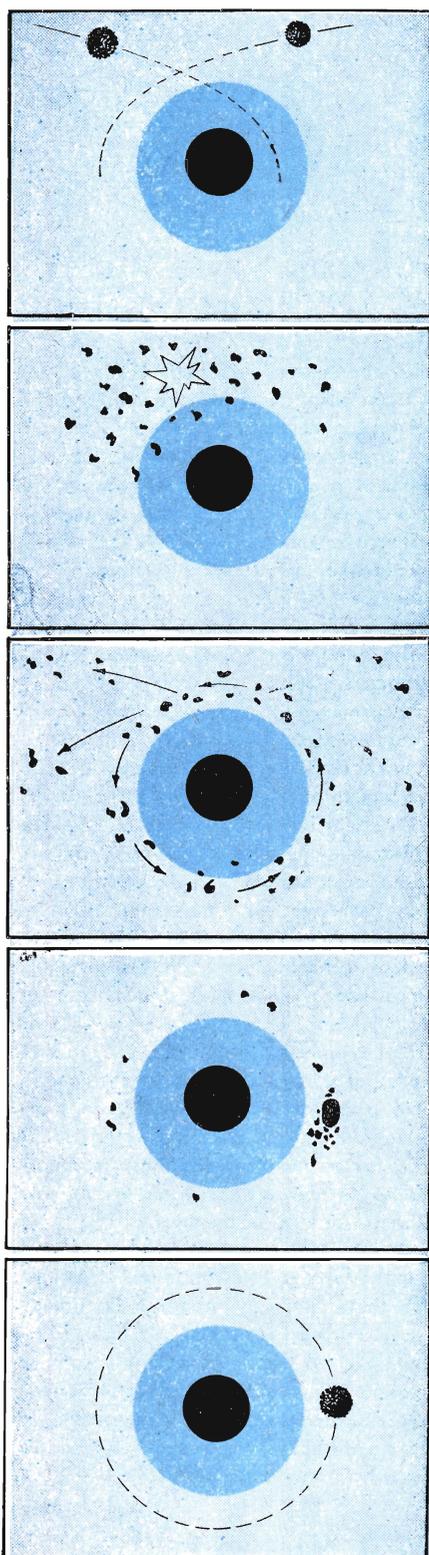
проходило ли наше Солнце через стадию звезды типа Т Тельца и испускало ли оно солнечный ветер, способный своим электромагнитным воздействием нагреть Луну и Меркурий. Кроме того, для такого нагрева необходима достаточная электропроводность недр, а это в свою очередь требует умеренно высокой температуры еще до начала нагрева. Звезды типа Т Тельца испускают интенсивный звездный ветер около 10 млн. лет. Поэтому, чтобы **электромагнитный нагрев** был эффективен, Луна должна образоваться не позже, чем через несколько миллионов лет после вступления Солнца в стадию звезды Т Тельца.

Таким образом, ни один из упомянутых источников энергии не дает удовлетворительного объяснения раннего разогрева Луны. Высокая начальная температура относится к числу самых трудных загадок, с которыми сталкиваются сейчас исследователи Луны.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ ЛУНЫ

Ныне, как и до прямых исследований Луны, продолжают обсуждаться три гипотезы ее происхождения: отделение Луны от Земли, захват Луны и совместное образование Земли и Луны. Механическая основа первой гипотезы — представление о возможности плавного разделения вращающегося жидкого тела — давно опровергнута известным русским математиком А. М. Ляпуновым. Сторонники этой гипотезы приводят в ее пользу в основном космохимические доводы, умалчивая о других химических данных, которые с ней не согласуются.

Вторая гипотеза в своем обычном



виде предполагает захват в результате приливного трения готовой Луны при близком ее прохождении. Но приливное трение очень мало, и, чтобы захват произошел, Луна должна приближаться к Земле почти по параболической орбите, то есть относительно нашей планеты ее «скорость на бесконечности» должна быть почти нулевой. Вероятность такого сближения ничтожна. Для его осуществления требовалось, чтобы до захвата Луна двигалась вокруг Солнца по орбите, примерно совпадающей с земной. Поэтому неверно думать, будто гипотеза захвата позволяет объяснить предполагаемые различия в составе Земли и Луны, так как якобы допускает образование Луны на ином, чем Земля, расстоянии от Солнца. В действительности она требует, чтобы наш спутник сформировался в той же зоне, где и Земля. Эти же возражения, правда, в чуть меньшей степени относятся и к гипотезе Эпика о захвате тела, залетевшего внутрь предела Роша.

Гипотеза совместного образования Земли и Луны, предложенная в 1950 году советским ученым О. Ю. Шмидтом, опирается на процессы, которые неизбежно должны были протекать в ходе аккумуляции Земли, и представляется наиболее перспективной. Согласно гипотезе Шмидта, Луна (так же как спутники других планет) аккумуляровалась в окрестностях растущей Земли из **околоземного** роя тел и частиц, непрерывно пополнявшегося в период формирования Земли из **околосолнечного** роя тел и частиц.

■
Схема аккумуляции Луны из захваченных Землей обломков двух тел, столкнувшихся в ее окрестностях



ПРИРОДА ЛУННОГО АЛЬБЕДО

Сотрудник Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга В. В. Шевченко составил карту альбеда Луны в масштабе 1:10 000 000. Карта охватывает 80% всей лунной поверхности.

Только ли изрытость и пористость лунной поверхности характеризует альbedo? По величине альbedo, как установил В. В. Шевченко, можно судить о содержании в лунных породах некоторых химических элементов и даже о возрасте этих пород.

Содержание на Луне алюминия и магния по отношению к кремнию определяли экипажи «Аполлона-15 и -16» вдоль отдельных трасс полета. В. В. Шевченко сопоставил эти измерения с величинами альbedo в тех же районах. Оказалось, что по мере увеличения относительного содержания алюминия при переходе от морских базальтов к анортозитовым породам, слагающим лунные материк, растет и альbedo. Значит, по величине альbedo можно оценить степень распространенности в поверхностном слое Луны пород с различным отношением алюминия к кремнию. Зависимость альbedo от содержания магния в лунных породах выражена менее четко.

Многие специалисты считают, что во время магматической дифференциации лунных недр более поздние расплавы, поступающие на поверхность с больших глубин по мере остывания и отвердения верхних слоев, должны отличаться меньшим относительным содержанием алюминия. Следовательно, относительное содержание алюминия в породах, а значит, и альbedo могут служить характеристикой возраста пород.

«Астрономический журнал», 51, 5, 1974.

В окрестностях растущей Земли должны были сталкиваться тела, двигавшиеся по околосолнечным орбитам. При этом некоторые обломки переходили на орбиты вокруг Земли, то есть формировали разреженный околоземный рой. Его частицы быстро объединялись в зародыш Луны; но пока продолжалась достаточно интенсивная аккумуляция Земли, существование околоземного роя поддерживалось новыми столкновениями в окрестностях Земли.

К сожалению, последние данные о Луне — ее горячее начальное состояние и возможные различия в составе Земли и Луны — могут стать камнем преткновения для этой гипотезы. В самом деле, если длительность формирования Луны, как и Земли, была порядка 100 млн. лет, то гравитационная энергия аккумуляции, выделявшаяся в основном на поверхности, успела излучиться в пространство и не могла сколько-нибудь заметно поднять начальную температуру Луны. Потерю гравитационной энергии могла бы предотвратить запыленная атмосфера, существовавшая у Луны в период ее формирования. Однако если тепличный эффект запыленной атмосферы был столь сильным на Луне, то следовало бы ожидать не меньшего тепличного эффекта и на Земле, а это привело бы к серьезным противоречиям с нашими представлениями о тепловой истории Земли. При длительной аккумуляции Луны ее высокую начальную температуру не удастся объяснить ни приливными деформациями, ни нагревом короткоживущими изотопами, ни солнечным ветром. Кроме того, в рамках гипотезы о совместном образовании Земли и Луны естественно ожидать одинако-

вый состав этих небесных тел.

Заметим, что в гипотезе Шмидта не предполагается, что Землю некогда окружал рой тел и частиц, заключавший в себе всю массу современной Луны. Но если бы он существовал, то его объединение в одно или несколько крупных тел заняло бы меньше 100 лет. Такой околоземный рой мог возникнуть практически мгновенно при столкновении в окрестности Земли двух сравнительно массивных тел, двигавшихся по околосолнечным орбитам. Во время столкновения часть обломков с суммарной массой, равной лунной, могла перейти на околоземные орбиты. Объединение этих обломков должно было продолжаться несколько десятков лет и могло привести к нагреву Луны гравитационной энергией. Такая схема образования нашего спутника открывает также путь к объяснению различий в составе Земли и Луны (если они подтвердятся). Тела, столкновение которых породило околоземный рой, могли возникнуть на другом, чем Земля, расстоянии от Солнца. Состав же тел, вероятно, существенно зависит от того, как далеко от Солнца они образовались.

В настоящее время еще нельзя предложить картину происхождения и эволюции Луны, учитывающую новые данные и согласующуюся с представлениями о происхождении других членов Солнечной системы. Впрочем, и в области планетной космогонии в целом ситуация изобилует неясностями и противоречиями.



Профессор
Н. В. ВАСИЛЬЕВ

Проблема Тунгусского метеорита

Тунгусская катастрофа отличается прежде всего своим масштабом. Энергия Тунгусского взрыва превосходила энергию атомного взрыва в Хиросиме примерно в 2000 раз! Другая уникальная особенность Тунгусского явления — его глобальность. Пролет и падение метеорита сопровождалось геофизическими эффектами, замеченными на огромной территории. Например «светлые ночи» 30 июня — 2 июля 1908 года были как на Енисее, так и на юге Франции, в Бордо. И наконец, — надземный характер Тунгусского взрыва. Метеорит не достиг земной поверхности, он разрушился в нескольких километрах от земли.

Эти особенности не характерны для других падений крупных метеоритов, и до сих пор им не дано однозначного объяснения. Между тем разгадка Тунгусской катастрофы, без сомнения, послужит прогрессу метеоритики и астрономии Солнечной системы. Но задача эта трудная, она требует большой систематической работы и не может быть решена коротким эффектным штурмом.

ИСТОРИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ

Изучение проблемы Тунгусского метеорита можно разделить на четыре этапа. Первый, начавшийся еще в 20-х годах, связан с именами Л. А. Кулика, Е. Л. Кринова, И. С. Астаповича, Ф. Дж. Уиппла. Эти исследователи установили сам факт падения Тунгусского метеорита, определили место падения, обнаружили связь этого события с некоторыми геофизическими явлениями лета 1908 года («светлые ночи», барические и сей-

Почти 50 лет исследуют ученые место падения Тунгусского метеорита. И каждая новая экспедиция, каждый новый теоретический расчет более четко обрисовывают картину уникального явления.



смические возмущения), дали предварительные оценки энергии Тунгусского взрыва. Детального обследования района разрушений тогда не проводилось, а интенсивные поиски круп-

Леонид Алексеевич Кулик (1883—1942) — первый исследователь места падения Тунгусского метеорита

ных осколков метеорита не увенчались успехом. Подводя итоги этих исследований, Е. Л. Кринов в своей книге «Тунгусский метеорит» (М., Изд-во АН СССР, 1949 г.) сделал вывод о том, что в сибирской тайге упал обычный кратерообразующий метеорит, который разрушился при ударе о поверхность Земли.

Второй этап начался в 1958 году, когда в район падения отправилась экспедиция Комитета по метеоритам АН СССР под руководством К. П. Флоренского. Экспедиция поставила под сомнение существование взрывного метеоритного кратера. Чтобы разрешить эти сомнения, потребовалась точная карта вывала леса в районе катастрофы и детальное изучение данных о геофизических аномалиях лета 1908 года. Экспедиции Сибирского отделения АН СССР и Томского университета летом 1960 года и Комитета по метеоритам АН СССР в 1961—1962 годах помогли воссоздать физическую картину Тунгусского взрыва. Предполагалось, что взрыв произошел над землей, ибо метеоритный кратер близ эпицентра взрыва не был обнаружен. В связи с этим утратил свою остроту и поиск крупных осколков метеорита. Но две важнейшие проблемы — механизм разрушения тела и его состав — остались нерешенными.

Третий этап длился с 1964 по 1969 год. За это время были разработаны более оперативные и точные методы выделения космического вещества (метеорной пыли) из различных природных объектов, осуществлены серьезные теоретические исследования и модельные опыты. И вот в 1965 году было высказано предположение,

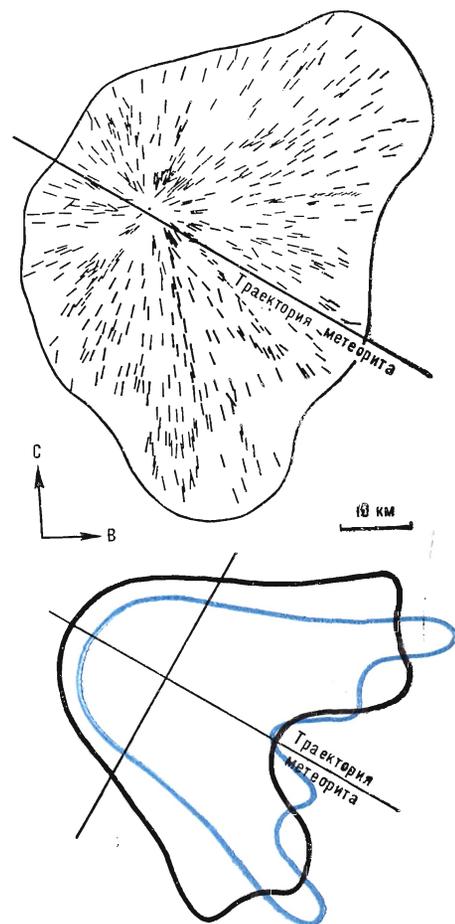


что вывал леса в районе падения метеорита обусловлен не только взрывной, но и баллистической волной. Полевые работы, не прекращавшиеся из года в год, расширили и уточнили представления об энергии световой вспышки Тунгусского взрыва и о действии его ударной волны. Все это создало предпосылки для четвертого этапа, когда на первый план выдвинулись поиски, сбор и анализ мелкодробленного вещества метеорита, а также обобщение и синтез данных о физике Тунгусского взрыва.

КАК ЭТО БЫЛО

В проблеме Тунгусского метеорита обычно выделяют два главных вопроса: как это было и что это было? В поисках ответа решающей стала траектория тела. Вначале обсуждались два варианта направления движения

тела — юго-восточный и южный, причем предпочтение отдавалось первому. Современные представления о траектории основаны не только на рассказах очевидцев, но, прежде всего, на анализе объективной картины вывала леса. Чтобы получить ее, пришлось замерить азимуты около 100 тыс. поваленных деревьев, на что ушло девять экспедиционных сезонов. Тунгусский взрыв повалил лес на площади около 2200 км². Эта область по форме напоминает «бабочку» с осью симметрии, ориентированной с востока — юго-востока на запад — северо-запад, и крыльями, направленными на северо-восток и юго-восток. Вывал в целом радиален, но радиальность нарушается вблизи оси симметрии. Это — своеобразный след баллистической волны, возникшей в момент пролета тела, которое, по-видимому, двигалось с востока — юго-востока на



■

Берег реки Хушмы в 5 км к югу от эпицентра Тунгусского взрыва. Фотография 1929 года

■

Схема вывала леса в районе падения Тунгусского метеорита. Показана проекция траектории метеорита

■

Кривые распространения воздушных волн Тунгусского взрыва. Цветная линия — расчеты В. А. Броштаня и А. П. Бояркиной; черная — В. П. Коробейникова, П. И. Чушкина и Л. В. Шуршалова



запад — северо-запад. Сходное направление имеет и ось симметрии площади ожога.

Пролет тела закончился взрывоподобным разрушением на высоте 5—7 км. Общеизвестная модель этого процесса до сих пор не создана, и разные авторы трактуют его по-разному. Московские ученые И. Т. Зоткин и М. А. Цикулин полагали, что разрушения связаны преимущественно с баллистической волной. Тело двигалось под большим (около 35°) углом к поверхности Земли и испытало в конце пути спонтанное дробление. К такому заключению их привели данные модельных взрывов. Геофизик А. В. Золотов, много лет занимавшийся проблемой Тунгусского метеорита, считает, что угол наклона его траектории был относительно малый (около 11°). А. В. Золотов объясняет разрушения действием сферической ударной волны, образовавшейся в результате центрального точечного взрыва. Баллистической же волне он отводит сравнительно скромную роль дополнительного фактора, «подправившего» действие взрывной волны. По мнению А. В. Золотова, Тунгусский взрыв произошел за счет внутренней (химической либо ядерной) энергии тела. Логика его рассуждений такова. Если тело, масса которого равна примерно 100 тыс. т, движется по весьма наклонной траектории (порядка 11°) со скоростью около 30 км/сек и взрывается на высоте 5—7 км, то оно должно породить на конечном отрезке своего пути мощную баллистическую волну. Она непременно вызовет полосовую, а не радиальный вывал леса. В действительности этого нет. Следовательно,

тело обладало или сравнительно небольшой массой, или относительно низкой скоростью. А. В. Золотов допускает, что скорость Тунгусского тела составляла всего 1—4 км/сек. Однако такие оценки скорости противоречат рассказам очевидцев.

В самом деле, при угле наклона 11° Тунгусское тело пролетело бы над Преображенкой (берег реки Нижней Тунгуски, в 400 км на восток — юго-восток от места взрыва) на высоте около 80 км. Если скорость движения тела 3 км/сек, то его полет по небу продолжался бы около трех минут, то есть проходил бы гораздо медленнее, чем полет искусственного спутника Земли. Между тем все очевидцы говорят, что видели болид всего 8—10 секунд. Если принять больший угол наклона, то высота полета, а с ней и длительность возможного наблюдения еще возрастут. Но болиды наблюдаются, как правило, на высотах не более 150 км, откуда следует, что угол наклона траектории не мог превышать 20° . Определение наклона траектории — очередная задача в разработке Тунгусской проблемы.

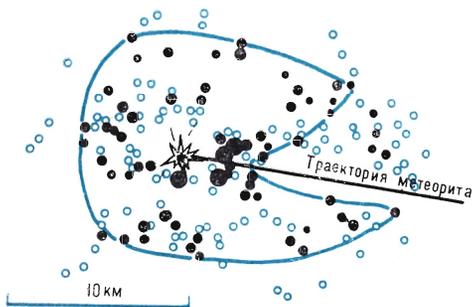
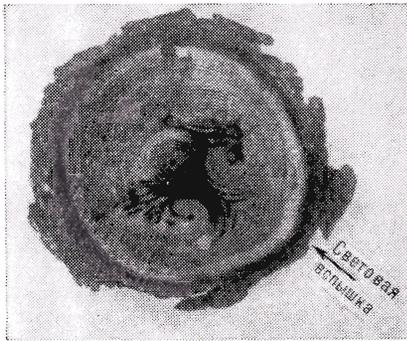
В последние годы обширные расчеты распространения воздушных волн Тунгусского метеорита выполнили В. П. Коробейников, П. И. Чушкин и Л. В. Шуршалов, а также В. А. Бронштэн и А. П. Бояркина. Обе группы исследователей получили характерную форму изодин (линии равного скоростного напора) в виде «бабочки». Однако параметры этих «бабочек» ни в одном случае не совпали с реальной Тунгусской «бабочкой», хотя было перепробовано множество вариантов (изменяли угол наклона, энергию, высоту взрыва). Возможно,

как считает В. А. Бронштэн, Тунгусское тело за 30 км до места взрыва испытало внезапное дробление, что привело к резкому выделению энергии баллистической волны и к вывалу деревьев в хвостовой части «бабочки».

Большинство исследователей Тунгусской катастрофы оценивают ее энергию в 10^{24} эрг. Сотрудник Института физики Земли И. П. Пасечник, который изучил сейсмограммы 30 июня 1908 года и сравнил их с сейсмограммами крупных взрывов, подтвердил эту оценку.

Какая доля энергии Тунгусского взрыва приходится на световую вспышку? Очевидно, что для правильного понимания физики Тунгусского взрыва этот вопрос имеет принципиальный характер. На необычный ожог деревьев в районе катастрофы обращал внимание еще Л. А. Кулик. К сожалению, следы ожога быстро исчезли. В 1961 году на ветвях лиственниц, переживших катастрофу, были обнаружены длинные заросшие лентовидные засмолы, обращенные преимущественно вверх. В дальнейшем их отождествили со следами лучистого ожога. Область, где проследживается это явление, занимает площадь около 250 км². Контуры ее напоминают эллипс, большая ось которого примерно совпадает с проекцией траектории тела. Эллипсоидальная область ожога заставляет думать, что источник свечения имел форму капли, вытянутой вдоль траектории. Энергия световой вспышки достигала 10^{23} эрг.

Световая вспышка вызвала пожар на большой площади, но спустя несколько секунд после его начала



ударная волна повалила лес и частично сбила пламя. В дальнейшем горел уже поваленный лес, причем не сплошь, а местами.

Сопровождалась ли световая вспышка излучением в коротковолновом диапазоне? Прямых данных об этом

Срез ветки лиственницы из района падения Тунгусского метеорита. Заметны темные следы ожога. Ожог нарушил concentричность годовых колец

Расположение обожженных деревьев в районе падения Тунгусского метеорита. Цветными кружками отмечены деревья, не испытавшие лучистого ожога, темными — обожженные (размеры кружка соответствуют толщине дерева). Очерчена область интенсивного ожога и показан центр световой вспышки

нет. Но термолюминесценция горных пород близ центра Тунгусского взрыва оказалась сильнее, чем в других местах. Известно, что способность к такому свечению приобретают породы под действием коротковолнового излучения. Был ли Тунгусский взрыв ядерным? А. В. Золотов утверждает, что ему удалось обнаружить увеличение радиоактивности в слое древесины 1908 года у деревьев, переживших Тунгусскую катастрофу. Однако исследования других ученых не подтвердили этого результата.

Тунгусский взрыв породил геофизические эффекты, связанные с ударной волной, — сейсмические и барические возмущения. Некоторые исследователи полагают, что ударная волна вызвала даже геомагнитную бурю, зарегистрированную Иркутской обсерваторией 30 июня 1908 года. Правда, А. В. Золотов считает причиной бури жесткое излучение взрыва. Будущее покажет, какое из этих объяснений ближе к истине.

Говоря о физике Тунгусского взрыва, нельзя не упомянуть еще об одном интересном, хотя и непонятом пока явлении: магнитные свойства почв близ эпицентра взрыва заметно нарушены. Если за пределами района вектор намагниченности закономерно ориентирован с юга на север, то около эпицентра направленность практически теряется. Создается впечатление, что причина, породившая магнитную бурю 30 июня 1908 года, и сегодня запечатлена в измененных палеомагнитных свойствах почв и, вероятно, горных пород.

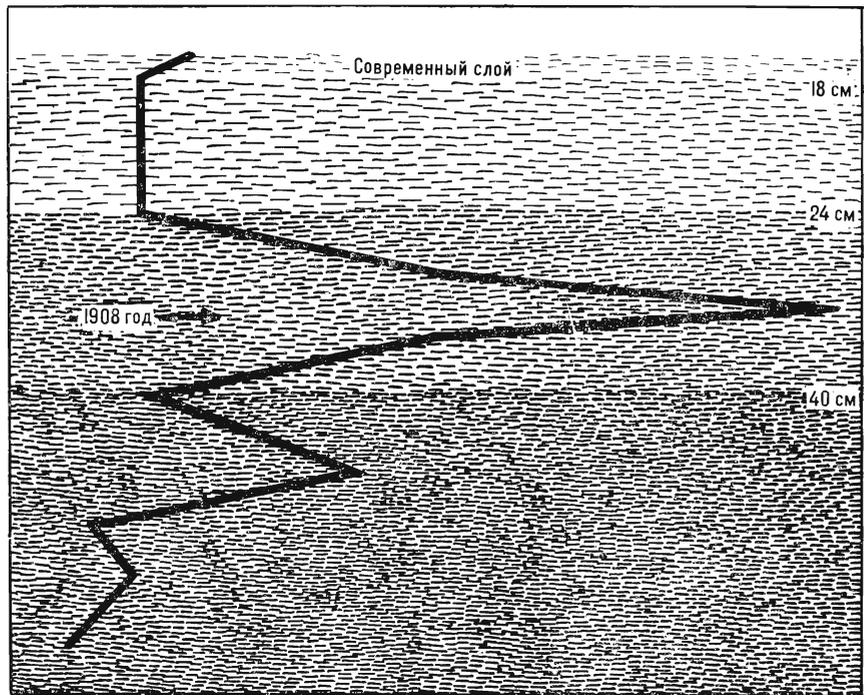
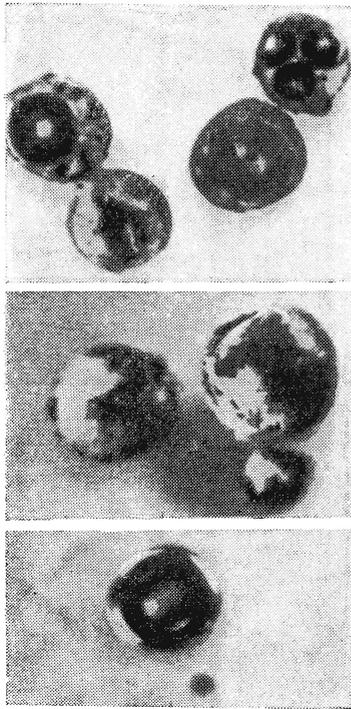
Теперь дадим, наконец, ответ на вопрос: как это было? Тунгусский метеорит двигался с востока — юго-во-

стока на запад — северо-запад. При входе в плотные слои атмосферы на высоте 5—6 км он разрушился, в результате чего выделилась энергия 10^{23} — 10^{24} эрг. Взрывоподобное разрушение сопровождалось образованием мощной ударной волны и световой вспышкой. Они вызвали повал леса, сейсмические и барические возмущения, лесной пожар и геомагнитный эффект.

ВЕЩЕСТВО ТУНГУССКОГО МЕТЕОРИТА

Вероятно, в центре Тунгусского взрыва температура исчислялась тысячами градусов. Вся масса метеорита или, по крайней мере, значительная его часть должна была перейти в жидкую фазу, а может быть, даже испариться. Процесс распыления метеоритного тела начался еще до взрыва, что подтверждается показаниями очевидцев, которые наблюдали дымный след. В результате образовалось облако метеорного аэрозоля, вытянутое вдоль траектории. Головная часть облака могла быть поднята в стратосферу на высоту 20—30 км восходящими потоками воздуха в центре взрыва. Снос облака, скорее всего, происходил в северо-западном направлении, куда дуют стратосферные ветры в этом районе. Следовательно, основная часть вещества должна была осесть не в центре взрыва, а по ходу стратосферного ветра на расстоянии 100 км и более.

Поиски мелкораздробленного вещества Тунгусского метеорита начались в 1958 году. В 70—100 км к северо-западу от места падения в почве было обнаружено повышенное со-



держание метеорной пыли. Однако метеорная пыль оседает на Землю постоянно за счет сгорания в атмосфере обычных метеоров. Поэтому основной утверждать, что найденное вещество принадлежит Тунгусскому метеориту, не так уж много. Перспективнее искать остатки метеорита в таких объектах, которые позволили бы отделить выпадение пыли в 1908 году от ежегодных метеорных осадков. В районе Подкаменной Тунгуски встречаются сфагновые болота. Поверхность их обширна, скорость прироста мхов на них поддается определению, а минеральное питание болота получают только из воздуха. Торфяная залежь поэтому служит природным календарем выпадений пыли за длительное время, прочесть который помогла методика, разработанная доцентом Томского университета Ю. А. Львовым.

В настоящее время уже проведена космохимическая съемка торфа на площади 5 тыс. км². Оказалось, что вблизи центра катастрофы, на глубине 25—40 см в торфе залегают слой, обогащенный оплавленными стеклянными частицами диаметром до 100 мк.

Иногда число их достигает сотен и даже тысяч на квадратный метр. Выше и ниже расположенные слои содержат только единичные стеклянные частицы. То же самое наблюдается и в других районах Сибири, удаленных от места падения. Частицы эти имеют шаровидную форму, чаще всего они бесцветны либо сероваты, внутри них заметны газовые пузырьки. Состав частиц необычен: входящие в них силикаты отличаются от земных, космических и техногенных силикатов необычно высоким содержанием кремния и щелочных металлов. Газовый состав пузырьков, вмороженных в шарики, пестр: некоторые из них наполнены углекислым газом или се-

роводородом, остальные включают окись углерода.

Богатые шариками пробы расположены вполне закономерно. Значительная часть их размещена симметрично относительно траектории тела. На расстоянии более 15 км от эпицентра находится зона, в которой значения числа частиц не превосходят фоновые. Еще дальше, в 70 км от центра намечаются две другие зоны обогащения в северо-западном и юго-восточном направлениях. Границы их остаются пока неоконтурными. Не исключено, что богатые пробы в северо-западном секторе представляют собой кромку шлейфа рассеяния, а в юго-восточном — результат оседания вещества пылевого следа болида. Но общее количество вещества, выпавшего на всей обследованной территории, не превышает, по самым оптимистическим оценкам, 200 кг. Напомним, что масса метеорита оценивается в 100 тыс. т. Следовательно, основная зона выпадения вещества Тунгусского взрыва еще не найдена.

Поиски мелкодробленного вещества Тунгусского метеорита в районе эпицентра проводились различны-

■ *Частицы метеорной пыли, найденные в торфяных болотах на месте падения Тунгусского метеорита*

■ *Распределение частиц метеорной пыли в торфяной залежи района падения Тунгусского метеорита. В слое 1908 года число частиц достигает 170 на 1 дм²*

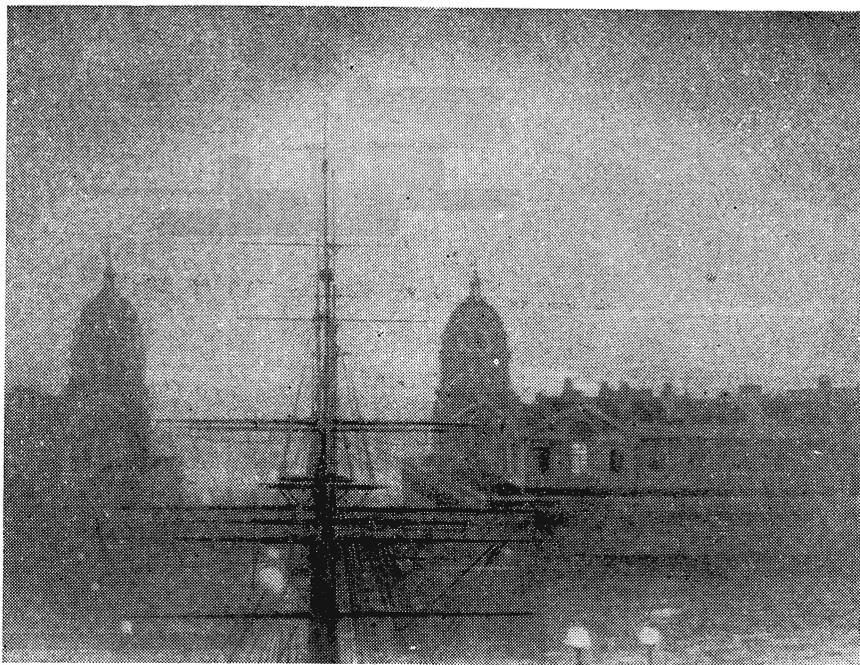
ми методами. Было выявлено повышенное содержание некоторых элементов (в частности, лантана, церия, иттербия) в почвах и растениях. Однако эти элементы для состава метеоритов не характерны.

ТУНГУССКИЙ ВЗРЫВ И БИОСФЕРА

Опустошения, вызванные падением Тунгусского метеорита, ныне почти незаметны. На месте катастрофы вырос лес, возобновилась флора и фауна. Но отголоски событий 1908 года прослеживаются до сих пор. Более двенадцати лет назад было замечено, что лес в районе катастрофы растет необычно быстро, причем не только молодняк, но и 200—300-летние деревья, случайно уцелевшие во время падения. Вряд ли это вызвано одними лишь экологическими факторами (осветление в результате повала деревьев, внесение микроудобрений после пожара), ибо ускоренный прирост отмечается у деревьев как первого, так второго и третьего послекатастрофных поколений. Область, в которой прослеживается этот эффект, с годами все сильнее стягивается к зоне проекции траектории. Кажется, причина ускоренного прироста действует в настоящее время и проявляется преимущественно близ траектории.

ЕЩЕ РАЗ О «СВЕТЛЫХ НОЧАХ»

Среди явлений, связанных с Тунгусской катастрофой, «светлым ночам» 30 июня—2 июля 1908 года принадлежит особое место. Явление это представляет собой «камень преткновения» для всех предложенных объяснений катастрофы 1908 года. «Светлые ночи» наблюдались на огромной территории, ограниченной с востока



Енисеем, а с юга — линией Ташкент — Ставрополь — Бордо. Западная граница находилась где-то в Атлантике. Освещенность в «светлые ночи» была очень высокой — минимум несколько десятков люксов. Так же светло бывает в Ленинграде во время белых ночей.

Световые аномалии нельзя объяснить рассеянием солнечных лучей пылинками, которые затормозились в верхних слоях атмосферы. Быстрый (всего трое суток) спад интенсивности явления заставляет думать, что решающую роль в световых аномалиях 1908 года сыграли ионизационные процессы. Возможно, источником их послужило торможение роя космических частиц, вторгшихся в атмосферу Земли одновременно с падением Тунгусского метеорита.

ЧТО ЭТО БЫЛО?

Иногда говорят, что для объяснения Тунгусского падения предложено свыше ста гипотез. Согласиться с этим нельзя, ибо, скажем, предположение о взрыве облака метана над болотом

■
Эта фотография сделана в Гриниче в небывало «светлую ночь» с 30 июня на 1 июля 1908 года

не может приниматься всерьез, а подобных версий за всю историю изучения Тунгусского метеорита выдвинуто немало. В действительности существуют две альтернативные гипотезы и у каждой из них имеется несколько вариантов.

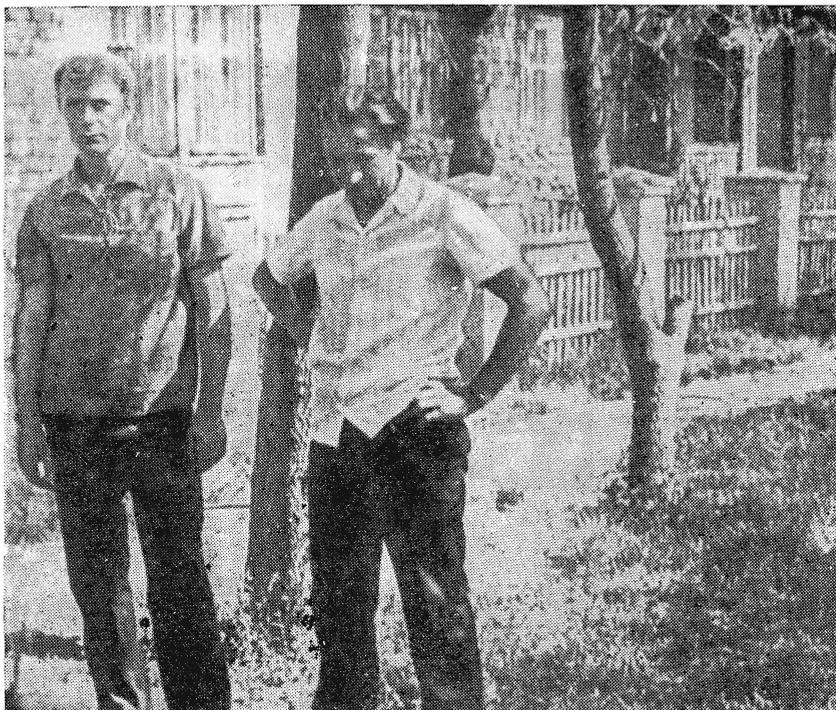
Первая гипотеза утверждает, что Тунгусский взрыв был вызван переходом кинетической энергии космического тела в энергию ударной волны. Наиболее детализован кометный вариант этой гипотезы, разработанный И. С. Астаповичем, Ф. Дж. Уипплом и В. Г. Фесенковым («Земля и Вселенная» № 3, 1968, стр. 4—10.—Ред.). Гипотеза объясняет отсутствие кратера, крупных осколков и надземный взрыв. Она единственная из всех дает объяснение «светлым ночам». Свечение было вызвано распылением хвоста кометы, частицы которого отклонились под давлением солнечных лучей к западу от места падения. Сам же взрыв интерпретируется как результат дробления и испарения кометных льдов в атмосфере Земли, в плотных ее слоях. Однако кометная гипотеза не обоснована количественно. Кроме того, не понятно, каким образом хвост кометы проник в атмосферу Земли, в слои, расположенные

МЕТЕОРИТ «ГОРЛОВКА»

на высоте порядка 40 км, что подтверждается аномальными зоревыми явлениями в этот период. Судя по расчетам академика В. Г. Фесенкова, пылевые частицы должны были «застрять» на высоте около 200 км и более. Недостаточно четко интерпретируется в рамках этой гипотезы и геомагнитный эффект.

Согласно второй гипотезе, основную роль в Тунгусской катастрофе сыграла внутренняя — химическая либо ядерная — энергия тела. А. В. Золотов, например, полагает, что Тунгусский взрыв был ядерным. Но он не уточняет, какова природа породившего его тела. Точка зрения А. В. Золотова не разделяется большинством специалистов, так как его расчеты основываются на ошибочном допущении малой скорости Тунгусского тела. Гипотеза «ядерного взрыва» совершенно не объясняет «светлых ночей» лета 1908 года и трудно совместима с представлением о протяженном характере Тунгусского взрыва, если, конечно, искать аналогии с теми ядерными взрывами, какие науке известны.

Наиболее правдоподобной остается кометная гипотеза. Скорее всего, 30 июня 1908 года над Ванаварой в атмосфере Земли разрушилось ядро небольшой кометы. Ее хвост, отклоненный давлением солнечных лучей к западу, и вызвал «светлые ночи». Если Тунгусский метеорит, действительно, был кометой, то дальнейшие исследования создадут предпосылки для построения физической теории разрушения кометных ядер в атмосферах планет. Это будет новым достижением в астрономии Солнечной системы.



В теплый летний вечер 17 июля 1974 года обитатели дома № 161 по Астрономической улице города Горловки стали очевидцами падения метеорита. Около 18 часов неожиданно всеобщее внимание привлек резко нарастающий шум. Он доносился откуда-то сверху и напоминал звук приближающегося самолета. Потом послышался треск ломаемых ветвей и «тяжкий» удар. Сотрясение и шум были очень сильными и ощущались всеми, кто находился поблизости.

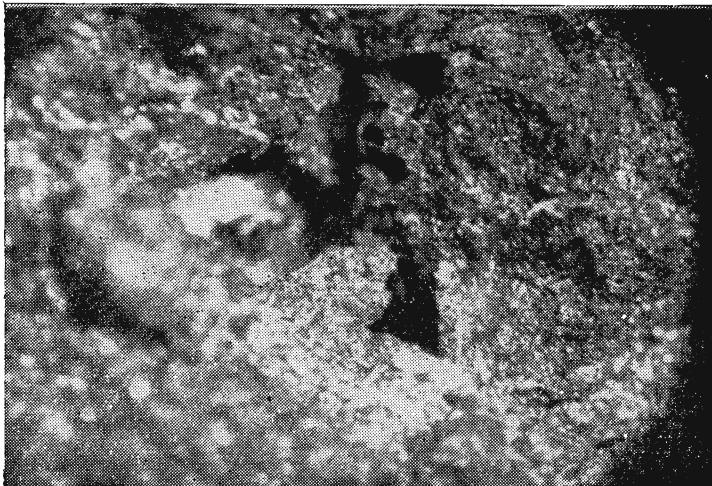
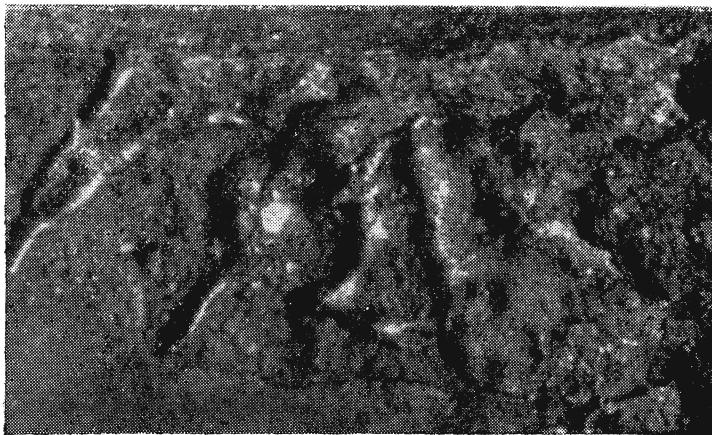
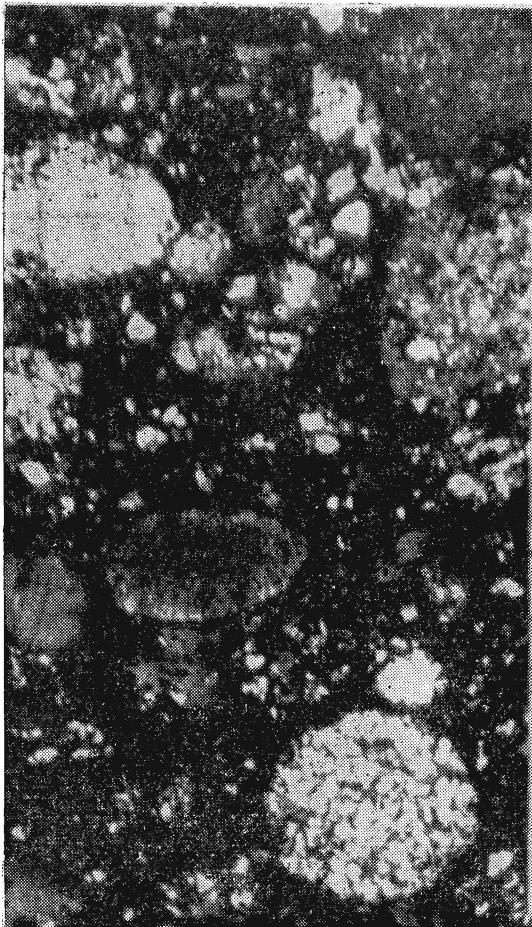
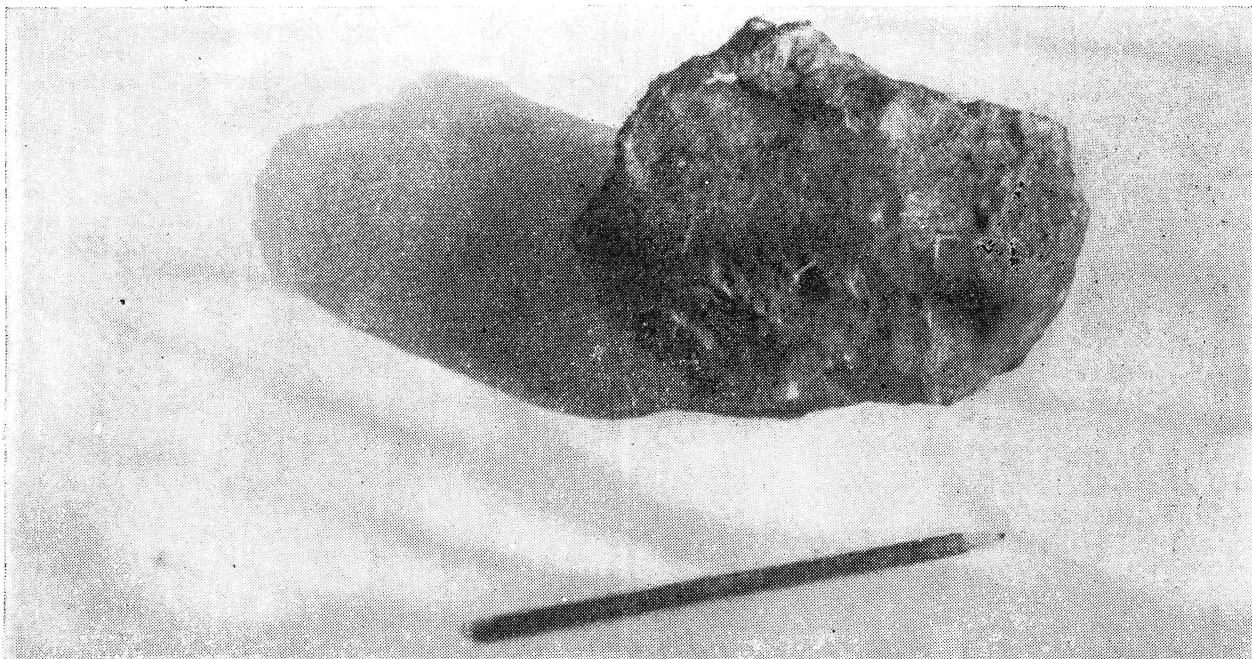
Жители дома выбежали на улицу, ибо по первому впечатлению им показалось, что на оживленной улице произошла автомобильная катастро-

фа. Недалеко от поломанной акации, на газоне между тротуаром и проезжей частью дороги, лежал небольшой черный камень. Утром был дождь, и камень зарылся в мягкую сырую землю. Вокруг лунки на расстоянии 10—15 см были видны выбросы грунта.

Молодой рабочий шахты «Кондратьевка» Василий Григорьевич Киш-



Шахтер В. Г. Кишко (слева), поднявший метеорит спустя минуту после падения, и геолог В. В. Гончаров, заподозривший метеоритную природу камня





ко осторожно потрогал черный камень. Камень был совершенно холодный. Сразу же во дворе дома от камня откололи кусочек. Он оказался непохожим на местные горные породы — уголь, колчедан, кокс, куски асфальта, которые встречаются повсюду в этом угольном районе Донецкой области.

На следующий день В. Г. Кишко принес 200-граммовый осколок камня в маркшейдерский отдел шахты «Кондратьевка» геологам Владимиру Васильевичу Гончарову и Валентине Герасимовне Гараге. Они заподозрили внеземное происхождение камня и отослали его в Академию наук СССР. Специалисты подтвердили космическую природу камня. Это — каменный метеорит-хондрит. «Горловка» — восьмой метеорит, найденный в Донецкой и соседних с ней областях, и 147-й — на территории СССР.

■
Метеорит «Горловка». Он темного цвета, покрыт корой плавления. На его поверхности видны регмаглинты — вмятины, образованные воздушным потоком при движении метеорита в атмосфере. Вес 2825 г

■
Метеорит «Горловка» относится к классу хондригов. На прозрачном шлифе заметны округлые зерна хондры железно-магнезиальных силикатов (увеличение в 10 раз)

■
Застывшие струйки метеоритного вещества на поверхности метеорита (увеличение в 10 раз)

■
Для «Горловки» характерны пустоты миллиметровых размеров

Эти космические посланцы представляют огромную научную ценность для изучения небесных тел Солнечной системы. Вот почему Академия наук СССР выплачивает нашедшим метеорит денежную премию. Очень важно, что метеорит «Горловка» попал в руки ученых до того, пока не успели распасться короткоживущие изотопы, которые образовались в межпланетном пространстве.

К сожалению, не известны очевидцы полета этого метеорита по небу. Наблюдению огненного болида мешало Солнце и значительная облачность, поэтому точную траекторию метеорита в атмосфере определить не удалось. Судя по обломанным ветвям акации — метеорит летел с северо-запада. Его полет могли наблюдать на севере Донецкой, в Харьковской и Днепропетровской областях. Очень желательно, чтобы все, видевшие болид, сообщили об этом в Комитет по метеоритам Академии наук СССР.

И. Т. ЗОТКИН

СКОРПИОН X-1 — ДВОЙНАЯ СИСТЕМА

Ярчайший рентгеновский источник Скорпион X-1 уже давно отождествлен со звездой 12,5 величины V 818 в созвездии Скорпиона. Звезда считалась неправильной переменной со случайными колебаниями блеска, достигающими одной звездной величины. Правда, высказывались предположения, что Скорпион X-1 — компонент тесной двойной системы.

Советские астрономы В. М. Лютый, Р. А. Сюняев и Н. Н. Шакура

проанализировали фотоэлектрические наблюдения звезды V 818 Скорпиона, выполненные в 1972—1973 годах В. М. Лютым на Южной станции Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга, и более ранние фотографические наблюдения звезды, принадлежащие московским астрономам Н. Е. Курочкину и Ю. Н. Ефремову. Все эти фотометрические и спектральные наблюдения показали, что рентгеновский источник Скорпион X-1 входит в двойную систему, период которой равен 3,9 дня.

Что представляют собой компоненты этой двойной системы? Видимая звезда — субгигант позднего спектрального класса. С ее поверхности истекает вещество и падает на другой объект системы. Возможно, этот невидимый компонент — черная дыра. Аккреция вещества на черную дыру порождает мощное рентгеновское излучение. Оно прогревает ту полусферу нормальной звезды, которая обращена к рентгеновскому источнику. На поверхности звезды, в атмосфере которой перерабатывается рентгеновское излучение, образуется «горячее пятно». Характерные для двойной системы колебания блеска как раз и связаны с переработкой свечения рентгеновского источника в оптическое излучение.

В двойной системе Скорпион X-1 не наблюдаются ни затмения рентгеновского источника, ни полные затмения «горячего пятна». Это вызвано малым углом (10—15°) наклона системы. Расстояние до Скорпиона X-1 оценивается в 2 клс.

«Астрономический журнал», 51, 5, 1974.

Профессор
Н. И. ИДЕЛЬСОН

Лобачевский — астроном

В 1975 году в издательстве «Наука» выходят «Этюды по истории планетных теорий (Из истории механики и астрономии XVI—XIX веков)». Их автор — профессор Наум Ильич Идельсон (1885—1951) — широко эрудированный астроном, крупный специалист в области небесной механики и позиционной астрономии, признанный авторитет в вопросах истории астрономии. В новую книгу вошли работы Н. И. Идельсона по теории движения планет, теории тяготения и фигуры Земли. Несколько его историко-научных очерков посвящены классикам астрономии. Один из них в сокращенном виде редакция предлагает вниманию читателей.

В Казани, на всех зданиях университетского городка лежит отблеск имени Лобачевского; историки Казанского университета называют Лобачевского его «великим строителем»; современники и авторы воспоминаний отмечают, что в университетских зданиях и учреждениях, устроенных Лобачевским, «езде был виден ум, обдуманность и даже роскошь». К числу этих зданий относится и обсерватория Казанского университета, так называемая «новая», сменившая ту крошечную постройку, которая действовала с самого основания университета, то есть с 1805 года. Новая обсерватория была закончена постройкой в 1836 году и начала действовать в 1838 году, то есть на год раньше Пулковской.

В наши дни посетитель Казани, входя в это здание, сразу же испытывает изумление: обсерватория стоит во дворе, она выходит фасадом на улицу Чернышевского*; но ось здания, перпендикулярная к этой улице, не совпадает с меридианом места, а наклонена к нему приблизительно на 45° ; поэтому основные меридианные инструменты — в меридиане и в пер-

вом вертикале — поставлены не по оси здания, как везде и всюду, а как-то совершенно необычайно, в прорезях, под углом в 45° к главному входу и к вестибюлю.

— Кто это придумал такую хитрую и единственную в мире планировку здания? — спрашивает посетитель. Ему отвечают: «Это Лобачевский».

— Разве Лобачевскому, — спрашивает опять посетитель, — были так близки и понятны интересы астрономии, что он взял на себя расстановку основных меридианных инструментов?

И ему снова отвечают: «Конечно, да. Он и лекции читал по астрономии, и временами заведывал старой обсерваторией; он наблюдал знаменитую комету 1811 года и комету Энке в 1832 году; он ездил из Казани в Пензу, вместе со своим учеником Ляпуновым, наблюдать полное солнечное затмение 7.VII.1842 года».

И тогда посетитель Казани, если он когда-либо вникнул в сочинения Лобачевского, начинает припоминать, что в одном очень ответственном месте его первой и основоположной работы 1829 года «О началах геометрии» действительно говорится и о расстояниях неподвижных звезд и о бесконечной Вселенной.

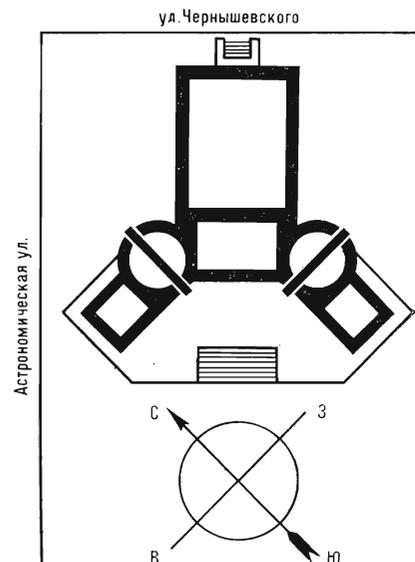
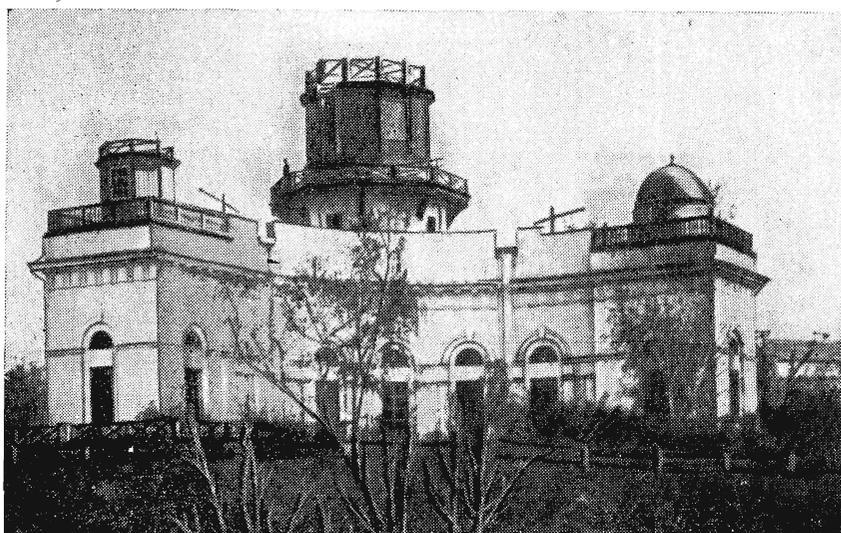
Учителем Лобачевского по математике был Мартин Бартельс, прибывший в далекую Казань из Германии в 1808 году, через год после приема в Казанский университет студента Николая Лобачевского.

Удивительна и неповторима судьба этого Бартельса! В молодости он у себя на родине, в Брауншвейге, был помощником учителя в начальной школе как раз в те годы, когда среди поступивших мальчиков был один, говоривший с сильным нижненемецким акцентом и носивший фамилию Гаусс. Бартельс чинил перья для школьников и проверял их тетради; он был всего на восемь лет старше Гаусса. К тому же сам Бартельс увлекался математикой, и на его глазах этот мальчик превращался в юношу с изумляющей математической одаренностью. Спустя десятилетие, в 1802 году, один научно образованный русский посетитель Брауншвейга Д. А. Голицын обратил на Гаусса внимание президента Петербургской Академии наук А. Л. Николая, подчеркивая желательность привлечения в состав Петербургской Академии этого математика, который, как писал Голицын, «сделан из того же дерева, из которого природа создает Ньютонов и Эйлеров». И действительно, через год в Брауншвейге появились, после значительной задержки в печати, знаменитые «Арифметические исследования» 24-летнего Гаусса. Но за эти же годы и сам Бартельс преуспел в математических науках: он получил звание доктора наук Иенского университета,

■
*Николай Иванович Лобачевский
(1792—1856)*

* Сейчас — улица Ленина





а в 1805 году, в год основания Казанского университета, был приглашен в Казань и утвержден профессором на кафедре чистой математики. Но только через три года, в 1808 году, после многотрудного путешествия Бартельс появился в Казани; и тогда учитель восьмилетнего Гаусса стал учителем шестнадцатилетнего Лобачевского...

Как бы мы ни оценивали историческое значение Бартельса как математика, — оно, несомненно, невелико — мы обязаны, мне думается, признать, что в своем воспитательном подходе к Лобачевскому он оказался на большой высоте. Он дал в руки своего ученика передовые работы того времени — работы по той большой программе математического знания XIX века, которое начиналось в глубинах теории чисел и завершалось наукой о движении земных океанов, Луны и планет. Ибо надлежит нам помнить, что в ту эпоху, когда не существовало ни звездной астрономии, ни науки о физике небесных тел, астрономия фактически кончала свой обзор Космоса в пределах Солнечной системы. И Лаплас был здесь велик не только своими открытиями; самый его подход к этому Космосу был важен и значителен. Лаплас неоднократно подчеркивал, что этот мир познаваем до конца, что перед чело-

веческим интеллектом, вооруженным аппаратом математического анализа, никакие границы не поставлены, что тонкости движений в планетной системе, как бы они ни казались сложны, будут до конца раскрыты наукой на основе только одного, единственного закона — закона Ньютона, «закона природы», как его называл Лаплас. И, как бы иллюстрируя эту познавательную мощь человеческого интеллекта, которую он считал беспредельной, Лаплас ссылаясь на свои собственные открытия в небесной механике, на открытие вековых ускорений в движении Луны, на его действительно изумительные законы в системе первых трех спутников Юпитера, на данное им объяснение великого неравенства Юпитера и Сатурна. Про эту установку Лапласа, столь характерную для его эпохи, можно сказать, что она была как бы песнью торжествующего разума.

■ *Астрономическая обсерватория Казанского университета*

■ *План обсерватории Казанского университета. Она строилась под руководством Н. И. Лобачевского. Это — единственное в мире здание обсерватории, ось которого не совпадает с меридианом места*

С нее и началось большое астрономическое образование Лобачевского. В июне 1812 года Лобачевский представил Бартельсу, а этот последний — совету университета сочинение на тему «Об эллиптическом движении небесных тел». Спустя месяц его неутомимый учитель рапортовал совету Казанского университета, что «труды его увенчались успехом и что на частных занятиях с Симоновым и Лобачевским изъяснял он большую часть всего первого и некоторую часть второго тома превосходного труда, сочиненного знаменитым Лапласом». И Бартельс добавлял: «Хотя Симонов хорошо осведомлен в математических науках, однако Лобачевский превосходит его, особенно в вопросах тонких. Из его сочинения, составленного им без всякой помощи, если не считать самого труда Лапласа, видно, что он не только проник в то, о чем в этом труде говорится, но и сумел обогатить его собственными соображениями. Многие места его краткого сочинения содержат признаки выдающегося математического дарования, которое в будущем непременно славой озарит его имя; говорить же о них здесь не место».

Но едва ли в те годы, от 1812 до 1820 (когда Бартельс покинул Казань), мог бы он сам нам ответить, в какой собственно области обширнейшей нау-



ки о числах, о пространстве и о природе создаст себе славу его ученик. Ибо за эти годы Лобачевский, быстро и как бы одно за другим получивший звания адъюнкта (1814 г.) и экстраординарного профессора (1816 г.), приступает к преподавательской деятельности в Казанском университете и ведет ее по весьма обширному циклу. Он начинает с курсов теории чисел «по Гауссу и Лежандру» (1814 г.). К этому курсу прибавилась плоская и сферическая тригонометрия, «принимая в рассуждение более практическую часть оной, руководствуясь сочинением Каньоли», а потом дифференциальное и интегральное исчисление по Лакруа (1818—1819 гг.). Затем, когда Симонов, утвержденный уже профессором астрономии, уезжает в 1819 году в двухлетнее кругосветное плавание на шлюпе «Восток» в знаменитой экспедиции Лазарева и Беллинсгаузена, Лобачевский подает в совет университета заявление: «Не угодно ли будет совету возложить на меня преподавание лекций астрономии на время отсутствия профессора Симонова, которые лекции я вызываюсь продолжать даже и тогда, когда бы какие-нибудь обстоятельства задержали надолго профессора Симонова в отлучке. Если совет согласится на мое предложение, то прошу его доверить мне попечение об обсерватории и издержки суммы, на нее назначенной». Совет принимает предложение, и Лобачевский с жаром берется за эту работу...

Но в то же время обстоятельства складываются так, что совет вынужден поручить Лобачевскому и преподавание физики, опытной и теоретической; и тогда, как сказано в одном

рапорте ректора «о преподавателях, отличившихся трудолюбием и успехами», «Лобачевский пишет свои лекции, как по физике, так и астрономии, отдавая их студентам, чтобы могли с меньшим трудом повторить на дому пройденное».

К тому же Лобачевский находит время расширять и углублять свои курсы: так, в 1820 году он проходит по Делабру и Лаланду «средство определять из наблюдений элементы солнечного пути, также об изменении эксцентриситета солнечного пути», иными словами,— определение элементов земной орбиты и их вековых изменений.

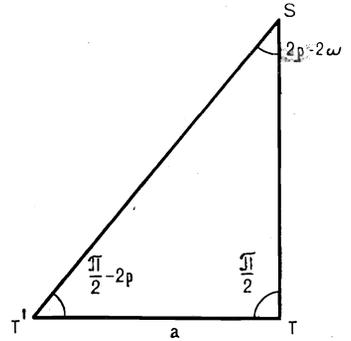
Далее, в 1821 году, «из астрономии будет он, Лобачевский, читать теорию спутников и комет, руководствуясь сочинением Лапласа «Небесная механика», и потом об обращении Земли, о наступании равноденственных точек, о приливе и отливе моря, руководствуясь тем же сочинением». В 1821 году он объявляет полный курс астрономии теоретической и практической. Он хотел бы даже ввести и высшую геодезию и теорию фигуры Земли, опираясь на книгу Бугэ и на «Основания метрической системы» Делабра, но на этот раз курс состояться не мог, потому что совет отделения вынес следующее изумительное постановление: «Преподавание студентам о фигуре Земли допустить затруднительно, во-первых, потому, что точная фигура Земли ни посредством умозрений, ни из наблюдений донныне с математической достоверностью не определена; во-вторых, потому, что число лекций для студентов третьего отделения было бы слишком велико».

Так и не удалось Лобачевскому

прочсть этот последний предложенный им курс астрономо-геодезического цикла; но думается нам, что уже тот значительный труд, который он вложил в постановку преподавания практической астрономии и небесной механики в Казанском университете, дает основание всем преподавателям астрономии советских университетов гордиться тем обстоятельством, что некогда Лобачевский твердо и уверенно стоял в их рядах.

...Нам неизвестно в точности, как и когда слагается его великое новое слово, его система неевклидовой геометрии. Первое сообщение о ней было сделано Лобачевским Казанскому университету 11(23) февраля 1826 года. Рукопись этого доклада Лобачевского утеряна, но через три года в «Казанском вестнике» публикуется его основополагающая работа «О началах геометрии». Здесь некоторая новая часть, добавленная, судя по примечанию Лобачевского, к работе 1826 года, начинается со следующих знаменательных слов: «Изложенная нами теория параллельных предполагает линии с углами в такой зависимости, которая, как после увидим, находится или нет в природе, доказать никто не в состоянии...»

— Но почему же,— должен был поставить вопрос вдумчивый читатель «Казанского вестника», если бы таковой читатель тогда нашелся,— мы должны отказаться от возможности проверки новой геометрии в опыте и в наблюдении? Разве мы потеряли веру в лапласову установку о всепобеждающей силе разума?..



Чтобы обосновать свое утверждение, Лобачевский обращается к простейшим геометрическим образам — к плоским треугольникам и к измерению суммы их углов. Напомним, что всего за год до появления в печати работы Лобачевского Гаусс в своих геометрических исследованиях тоже обращался к измерению суммы углов в треугольниках, но только в треугольниках земных; его знаменитые «Общие исследования о кривых поверхностях» (1828 г.) как-то неожиданно заканчиваются примером, взятым из той триангуляции, в обработке которой сам Гаусс участвовал. Этот пример относится, как говорит Гаусс, к «самому большому треугольнику, который был измерен в предыдущие годы». Уравнивая и вычисляя углы этого треугольника с исключительной точностью до 10^{-5} секунд дуги, Гаусс показывает, что сумма их, после надлежащих — гауссовых — редукций к плоскости, приводится с этой точностью ровно к 180° . Таким образом, в земных треугольниках отклонений от обычной геометрии не наблюдается.

Но Лобачевский идет теперь дальше, — и мы могли бы сказать словами Галилея — «оставив в стороне земное, обращается к небесному». Однако в ту пору наука о небе оставалась еще в полной неизвестности по основному вопросу мироздания — о расстоянии Солнца до ближайших звезд. Идет ли свет от них месяцы, или годы, или десятилетия, — никто не мог еще сказать. Но это — важнейший вопрос для Лобачевского. Он пишет: «Кажется, более всего можно полагаться на способ, придуманный Дасса-Мондидье», — и ссылается на статью этого, никому не известного автора, поме-

щенную во французском «Астрономическом ежегоднике на 1831 год»...

И неважно для нас, хорош или плох был способ определения звездных параллаксов, придуманный отставным французским моряком, который в течение четырех лет неустанно вел наблюдения — правда, примитивные по технике — для определения параллаксов трех звезд: 29-й Эридана, Ригеля и Сириуса. Для нас существенно здесь то, что в первый раз за историю человеческой культуры уединенный геометр и мыслитель в далекой Казани делает попытку из данных именно этих наблюдений вывести свойства пространства и геометрии мира! Для упомянутых трех звезд французский моряк-астроном получил параллаксы: $1'',00$ для 29-й Эридана, $0'',72$ для Ригеля и $0'',62$ для Сириуса.

Как мы теперь знаем, все эти определения завышены и нереальны; параллакс первой из этих звезд не определен до настоящего времени; для Ригеля он оказался равным $0'',006$, но с вероятной ошибкой $\pm 0'',007$; для Сириуса — одной из самых близких звезд — он равен $0'',371 \pm 0'',004$. Но вместе с тем мы знаем, что наибольший параллакс равен $0'',76$. Таким образом, в смысле порядка величины наибольших параллаксов результаты Дасса можно считать приемлемыми. Но Лобачевский опирается на них, чтобы выяснить, какова наименьшая величина измеренных параллаксов, так как ему требуется знать расстояние до самой далекой звезды. И тут со всей строгостью естественного испытателя, который принимает лишь то, что получено в опыте и наблюдении, Лобачевский считает, что $0'',62$, определенные Дасса, это и есть наименьший

параллакс, то есть он принимает, что свет идет к Земле от самой далекой звезды $5\frac{1}{2}$ лет; затем он приступает к своим выводам.

Здесь, на наш взгляд, уместно подчеркнуть особенность его постановки задачи; во множестве курсов астрономии параллакс определяется как «угол при звезде» в том треугольнике, основанием которого служит радиус земной орбиты, а звезда является третьей вершиной. Но угла при звезде никто никогда наблюдать не будет; он выводится, конечно, через сумму обоих других углов. Лобачевский поступает гораздо рациональнее: он определяет параллакс, как полуразность направлений на звезду из двух противоположных точек земной орбиты. Угол при звезде остается величиной неизвестной: если сумма трех углов треугольника меньше двух прямых и равна $\pi - 2\omega$, то дефект 2ω ляжет на угол при звезде, недоступный нашему измерению...

Установив эти определения, Лобачевский доказывает три теоремы — три следствия из его геометрической системы. Первая и важнейшая из них гласит: как бы ни было велико расстояние звезды от Солнца, ее параллакс остается больше некоторой абсолютной постоянной.

Эта основная теорема создает впечатление, что астрономы, получая параллаксы все более далеких звезд,

■
Определение параллакса звезды. T и T' — два диаметрально противоположных положения Земли на орбите, S — положение звезды. Солнце, не показанное на рисунке, лежит в середине отрезка TT'

будут приближаться к познанию этой абсолютной постоянной, а следовательно, и к выяснению метрических свойств пространства. На самом деле это не так: на этом пути структура пространства ускользает от астрономов, и вот почему: та постоянная, о которой здесь идет речь, есть отношение вполне определенной длины, именно диаметра земной орбиты, к той единице длины, которой в геометрии Лобачевского измеряются все длины вообще, так же как в обычной геометрии все углы измеряются в долях окружности единичного радиуса.

Пусть K — абсолютная единица длин; p — параллакс звезды, выраженный в секундах дуги; a — диаметр земной орбиты. Тогда теорема Лобачевского имеет только тот смысл, что

$$K > 206\,265 \frac{a}{2p}.$$

Следовательно, если в наши дни астрономы определяют у какой-либо звезды параллакс в $0'',05$, то они могут только сказать, что абсолютная единица длин у Лобачевского в 2×10^6 раз больше диаметра земной орбиты; а так как никакие пределы для постоянной K не могут быть назначены и она ни с какими другими постоянными, нам известными из опыта, не связана, то к познанию нижнего предела всех параллаксов астрономические определения никогда не приведут.

Едва ли можно было бы в форме более глубокой и отчетливой сочетать две истины, казалось бы, друг другу совершенно противоречащие: пространство бесконечно, но параллаксы всех звезд, его населяющих, как бы они ни были далеки, не могут быть

меньше некоторой определенной величины.

Лобачевский подчеркивает это изумительное положение вещей в следующих словах: «Между тем нельзя не увлекаться мнением Лапласа, что видимые нами звезды и Млечный Путь принадлежат к одному только собранию небесных светил, подобных тем, которые усматриваем как слабо мерцающие пятна в созвездиях Ориона, Андромеды, Козерога и пр. Итак, не говоря о том, что в воображении пространство может быть продолжено неограниченно, сама природа указывает нам такие расстояния, в сравнении с которыми исчезают за малостью даже расстояния нашей Земли до неподвижных звезд».

Эти грандиозные расстояния нам даны природой, но они еще не измерены; наибольшим измеренным расстоянием остается для Лобачевского то, которое соответствует звездному параллаксу $p = 0'',62$. Но вот именно потому, что сама природа раскрывает нам такие расстояния, перед которыми ничтожны расстояния, определяемые только что указанными звездными параллаксами, человечество не в состоянии решить, какая геометрия — обыкновенная или геометрия Лобачевского — адекватна природе Космоса. Астрономический опыт определения расстояний звезд решить этого не может. Но такое утверждение в устах Лобачевского отнюдь не есть признание принципиальной непознаваемости геометрии мира. Нет, Лобачевский далек от этого...

Разумеется, реальная первопричина невозможности решения вопроса о космической геометрии состоит в том, что астрономы не имеют способов

измерять угол при звезде в треугольнике, основание которого есть диаметр земной орбиты. Но дальше Лобачевский в известной мере обходит и это роковое затруднение, доказывая свою вторую, весьма замечательную теорему: если определены параллаксы двух звезд, находящихся на различных расстояниях от Солнца, то можно определить верхнюю границу дефекта 2ω в том треугольнике, у которого основание — диаметр земной орбиты, а вершина — при более близкой звезде.

Пусть p' — параллакс более далекой, p — параллакс близкой звезды; тогда по теореме Лобачевского

$$\omega < 2p \sin^2 \frac{x}{2},$$

где

$$\sin x = \frac{p'}{p}.$$

Для численной иллюстрации обозначим

$$\frac{p'}{p} = n, \quad 2 \sin^2 \frac{x}{2} = \beta,$$

тогда $\omega < p\beta$...

Лобачевский, опираясь все на те же данные из статьи Дасса, полагает $p' = 0'',62$, $p = 1'',00$; тогда $n = 0,62$, $\beta = 0,217$. Следовательно, в треугольнике, «который простирается до второй из сих звезд», с параллаксом в $1''$,

$$2\omega < 0'',43,$$

как и дано у Лобачевского.

Но если мы примем за меньший параллакс $p' = 0'',05$, а за наибольший $p = 0'',75$, то

$$2\omega < 0'',0033.$$

Таким образом, с теми данными, которыми мы теперь располагаем, мож-



но утверждать, что дефект космических треугольников с вершиной у звезды не превышает нескольких тысячных долей секунды дуги.

Замечательно здесь то, что вторая, далекая, звезда действует как некоторый светоч, освещающий геометрию малого треугольника, простирающегося до близкой звезды. Чем эта вторая звезда дальше, тем меньше будет дефект малого треугольника; вот почему для Лобачевского имеет столь большое значение самый малый известный параллакс для земного диаметра: чем он меньше, тем меньше дефекты в треугольниках с вершиной в любой более близкой звезде.

Третья теорема Лобачевского относится к тому воображаемому случаю, когда звезда находилась бы от Земли на расстоянии диаметра земной орбиты, то есть к треугольнику, оба катета которого были бы равны $2 \cdot 150 \cdot 10^6$ км; эта теорема есть следствие общей формулы Лобачевского для дефекта ω и той оценки, которая содержится в теореме 1. Лобачевский получает из них неравенство $\omega < p'^2 \sin 1''$.

Здесь p есть снова наименьший измеренный с Земли параллакс, то есть наименьший параллакс для диаметра земной орбиты a ; за таковой Лобачевский принимает опять $p = 0'',62$ и получает:

$$2\omega < 3'',72 \cdot 10^{-6}.$$

К несчастью, Лобачевский совершил численную ошибку или допустил опечатку; у него написано в «Началах геометрии»:

$$2\omega < 3'',72 \cdot 10^{-4}.$$

Но и при этой численной ошибке

Лобачевский убеждается, что в пределах Солнечной системы уклонения от условий обычной геометрии могут быть лишь чрезвычайно малы.

Три приведенные здесь теоремы и содержат в сущности основные результаты Лобачевского по космической геометрии. После статьи «О началах геометрии» в 1829 году он к ней почти не возвращался, и, по-видимому, основные работы по звездным параллаксам в следующее десятилетие, именно работы В. Я. Струве в Дерпте и Х. А. Петерса в Пулкове, не остановили на себе его внимания.

Равным образом не воспроизводил он своих трех замечательных теорем в последующих работах; он ограничился только тем, что несколько раз повторял без всякого обоснования тот последний численный пример, о котором мы сейчас говорили и в котором он ошибся на два знака. Но как раз одна из этих публикаций вызвала отзыв, о котором сам он — увы! — никогда ничего не узнал.

В 1835 году Лобачевский опубликовал в «Ученых записках Казанского университета» статью под названием «Воображаемая геометрия». Этим термином он решил называть свою геометрическую систему, после того как изложенные выше соображения убедили его в невозможности доказать, что она необходимо имеет место в космических условиях. В 1837 году эта работа в несколько сокращенном переводе на французский язык была опубликована в 17-м томе известного «Журнала Крелля» по чистой и прикладной математике. Здесь Лобачевский, имея в виду свою ра-

боту 1829 года, но без прямой ссылки на нее, писал следующее: «В другом месте, опираясь на некоторые астрономические наблюдения, я доказал, что в треугольнике, все стороны которого равны приблизительно расстоянию от Земли до Солнца, сумма углов никогда не может отличаться от двух прямых на величину, превосходящую $0'',0003$. К тому же эта величина должна быть тем меньшей, чем меньше стороны треугольника».

Разумеется, ни один читатель в мире, даже если бы он владел формулами геометрии Лобачевского, не мог бы понять, как получил Лобачевский эту оценку, ибо он не говорит здесь даже того, что она основана на допущении, что наименьший измеренный параллакс принят им равным $0'',62$. К тому же читатель не мог знать, что Лобачевский сделал здесь в арифметике ошибку в 100 раз.

Но все же у этой статьи нашелся читатель, который не прошел мимо этого загадочного места и, по-видимому, о нем много размышлял. Это был Гаусс. В 1844 году, то есть через семь лет после появления упомянутой работы Лобачевского, Гаусс говорил о ней в письме к Герлингу, одному из своих учеников... «В отношении той основанной на опыте оценки, которая приведена на стр. 303 17-го тома «Крелля», я не нашел ничего и в работе от 1840 года; поэтому я должен буду, по-видимому, когда-нибудь решиться написать самому Лобачевскому, который год тому назад, по моему предложению, был избран корреспондентом нашего Геттингенского ученого общества. Быть может, он пришлет мне «Казанский вестник».

Нет, этого не произошло! После



указанного письма к Герлингу Гаусс прожил еще одиннадцать лет, Лобачевский — двенадцать, но никакого обмена письмами между ними не состоялось. Об этом должен скорбеть биограф Лобачевского, ибо Гаусс, который, как нам теперь доподлинно известно, восхищался творчеством Лобачевского, был единственным человеком, который мог разбить то действительно леденящее одиночество, в котором Лобачевский, по линии его геометрического творчества, прожил всю свою жизнь...

На последней странице последней работы Лобачевского — это была «Пангеометрия», которую совершенно ослепший геометр в 1854 году диктовал своему ученику Больцани,— мы опять сталкиваемся с вопросами геометрии мира, с проблемой о возможности ее проверки при помощи астрономических наблюдений. Это были, таким образом, его последние мысли. Но то, что мы читаем на этой странице, далеко не ясно и не продвигает нас дальше того, что было сказано Лобачевским за четверть века перед этим, в его первой работе, опубликованной в 1829 году...

Так в чем же, наконец, важность и смысл для астрономии тех построений Лобачевского, о которых здесь говорилось?

Та геометрия, то есть соотношения между отрезками и углами, которые фактически имеют место в наблюдаемом мире, в Космосе,— те ли они самые, которые человечество тысячелетиями усваивало в обычной геометрической системе? Вот вопрос, которого до Лобачевского никто не ре-

шал, пожалуй, даже и не ставил. А то единственное, что сделал в этом направлении Гаусс в его исследовании треугольника, взятого из геодезических триангуляций, не привело, как мы видели, ни к каким результатам.

Лобачевский вывел геометрию на иные просторы и первый сформулировал эту проблему во всей ее общности: совпадает ли обычная геометрия с той, которая действует на безмерных расстояниях Космоса? И тут он нашел ответ в виде двух положений. Первое: это совпадение отнюдь не обязательно, потому что наряду с обычной геометрией имеет такое же право на космическую значимость и та система геометрии, которую он раскрыл перед человечеством. Второе: даже в грандиозных протяжениях Вселенной, в пределах звездной системы и на расстоянии ближайших звезд обычная геометрия почти сливается с его собственной геометрической системой. Дефекты треугольников, как он показал, еще очень малы, поэтому методами измерения звездных параллаксов вопрос не решается. Это стало для него очевидным, и в этом смысл его слов: находится в природе построенная им система геометрии или нет, «никто доказать не в состоянии». Но он не сказал, что решения нельзя будет найти иными путями, и в других своих работах высказывал даже убеждение в том, что в «нашем уме не может быть никакого противоречия, когда мы допускаем, что некоторые силы в природе следуют одной, другие — своей особой геометрии». Поэтому мы можем лишь утверждать, что после Лобачевского вопрос об истинной геометрии физического мира остался

открытым; он только вселил в мышление человечества законные сомнения по этой капитальной проблеме.

Но с этого момента в истории человеческой мысли началась новая эпоха, и для астрономии было создано положение науки, могущей сказать свое слово и участвовать в решении этих фундаментальных вопросов человеческого знания. Вот почему Лобачевский — астроном. И семена сомнения, посеянные им, никогда уже не исчерпали из астрономии. Не останавливаясь здесь на многих интересных моментах, я хочу только напомнить, какое волнение охватило научные круги в 20-х годах нашего века, когда от результатов астрономических экспедиций, посланных в Собраль (Бразилия) для наблюдения полного солнечного затмения 29 мая 1919 года, ожидали ответа на вопрос: какова геометрия в поле тяготения вокруг Солнца — обыкновенная или некоторая иная, и тогда, по-видимому, было окончательно решено, что иная.

Кто же первый провозвестник этой новой доктрины, первый глашатай того высокого и всеобщего учения, которое показало нам, что материя — отнюдь не гость в бесконечных пустынях пространства, но что ею творится и самая геометрия мира. Мне думается, мы вправе признать, что этим провозвестником был Лобачевский, несмотря на то, что он шел другими, существенно более простыми и скромными путями, и иначе не мог идти в его эпоху. Вот почему я решаюсь повторить: Лобачевский — великий астроном. Вот почему из бездонных глубин его мысли человечество еще долго будет черпать силы к построению науки о мире и природе.



В. М. МОЖЖЕРИН

Крымская астрофизическая обсерватория

В предгорьях Крыма, на небольшом плато, в 12 км к востоку от Бахчисарая высятся белые башни, увенчанные полусферическими куполами. В некотором отдалении от них стоят одноэтажные лабораторные здания, а чуть дальше — жилые дома и хозяйственные постройки. Всю свободную площадь занимают зеленые насаждения. Здесь расположена Крымская астрофизическая обсерватория Академии наук СССР — одна из крупнейших в мире.

ОБСЕРВАТОРИЯ СТРОИТСЯ

Создание обсерватории относится к началу нынешнего столетия и связано с бурным развитием астрофизики. С 1839 года в России функционировала Пулковская обсерватория, однако основным направлением ее работ была фундаментальная астрометрия — определение точных положений звезд на небе. Астрофизическим исследованиям в Пулкове летом мешали «белые ночи», осенью и зимой — пасмурная погода. Чтобы выявить физические процессы, которые происходят на отдельных небесных телах и в их системах, нужны длительные непрерывные наблюдения. Они возможны лишь в условиях устойчивой хорошей погоды и темного южного неба. В связи с этим и появилась идея об организации южного отделения обсерватории.

Во время пребывания в Крыму в 1906 году пулковский астроном А. П. Ганский (1870—1908) обнаружил небольшую любительскую обсерваторию на горе Кошка (близ Симеиза), принадлежавшую Н. С. Мальцову. При первой же встрече с А. П. Ганским владелец предложил ему свою

обсерваторию в дар, а тот в свою очередь передал ее Пулковской обсерватории. В 1912 году было официально утверждено новое отделение Пулковской обсерватории в Симеизе. В дальнейшем Симеизская обсерватория сыграла выдающуюся роль в открытии и исследовании малых планет. («Земля и Вселенная», № 4, 1973 г., стр. 59—64.— Ред.) В 1912 году для Симеизского отделения был заказан в Англии крупный по тому времени телескоп-рефлектор с диаметром зеркала 1 м. Однако инструмент был доставлен в Симеиз только в 1925 году. 28 мая 1926 года на нем получили первый снимок неба.

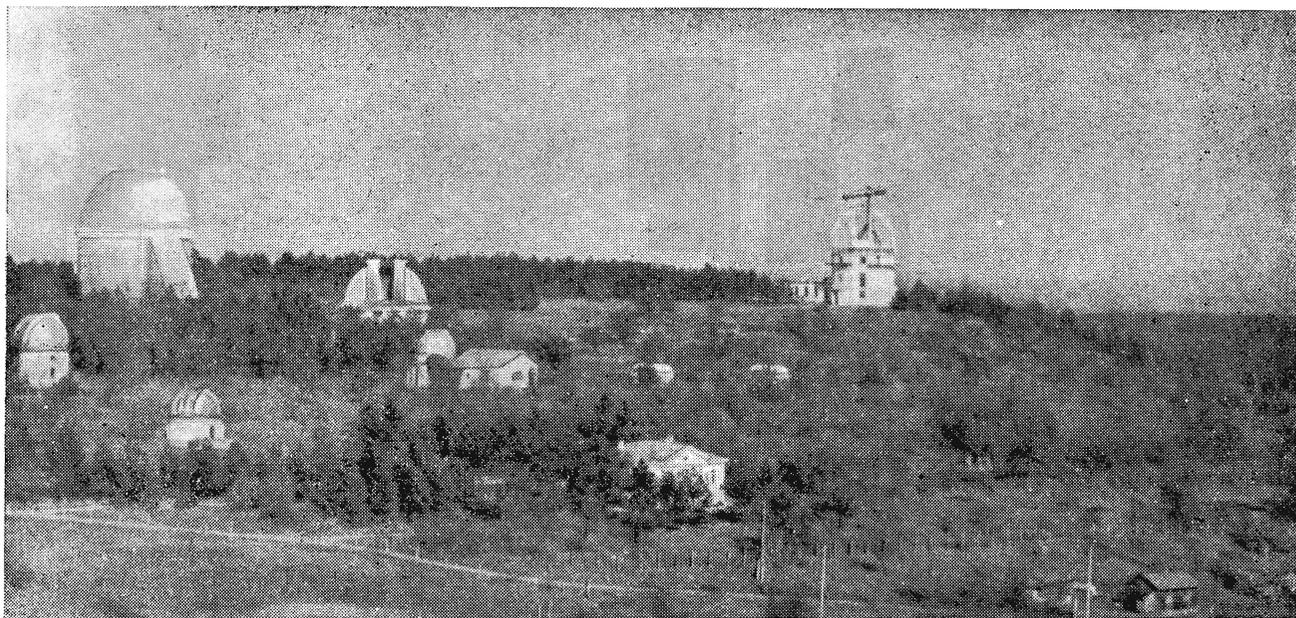
В результате многолетних наблюдений на этом телескопе Г. А. Шайн (1892—1956) и В. А. Альбицкий (1891—1952) составили каталог лучевых скоростей звезд, открыли множество спектрально-двойных звезд и определили их орбиты, выполнили ряд других важных и интересных исследований. Но эти же наблюдения показали, что место для обсерватории было выбрано неудачно. Площадка обсерватории на 350 м возвышается над уровнем Черного моря, омывающего подножие горы Кошка с юга, а с севера на 600 м выше площадки поднимаются горы Крымской яйлы. Холодные потоки воздуха, скатываясь с гор, встречаются с теплыми, поднимающимися от моря. Эти сильные ветры вызывают дрожание изображений звезд, которое часто мешало наблюдениям и не позволяло полностью реализовать возможности крупного телескопа. Для обсерватории нужно было другое место.

Однако все эти заботы отступили перед начавшейся в 1941 году вой-

ной. Фронт приближался к Крыму, нависла угроза оккупации. Осенью сотрудникам обсерватории пришлось спешно эвакуироваться морем в Батуми, так как другие пути оказались отрезанными.

Весной 1944 года после освобождения Крыма вернувшиеся из эвакуации сотрудники нашли обсерваторию разрушенной. Одновременно с восстановительными работами в течение 1944 и 1945 годов специальные экспедиции провели астроклиматические наблюдения в разных районах Крыма, чтобы выбрать место для сооружения новой астрофизической обсерватории. В 1946 году близ Бахчисарая развернулось строительство Крымской астрофизической обсерватории Академии наук СССР.

Первым уже в 1949 году на новой обсерватории был установлен цейсовский двойной астрограф с диаметром объектива 400 мм и фокусным расстоянием 1600 мм. Этот телескоп оборудован объективной призмой, которая позволяет получать спектры достаточно слабых звезд (до $12^m,5$) по всему полю зрения размером $10 \times 10^\circ$ (на пластинке 30×30 см). В 1950 году начались наблюдения на внеатомном коронографе, в 1952 году — спектральные исследования на 1,2-метровом рефлекторе, в 1953 году — на 50-сантиметровом телескопе системы Максутова со спектроэлектрофотометром, в 1954 году — на башенном солнечном телескопе, построенном по проекту А. Б. Северного. После модернизации этот телескоп стал одним из лучших в мире инструментов такого типа. («Земля и Вселенная», № 3, 1974 г., стр. 11—13.— Ред.)



Строительство обсерватории продолжалось. Возводились лабораторные и административные здания, благоустроенные жилые дома, башни для телескопов. В 1961 году закончился монтаж самого крупного в Европе 2,6-метрового рефлектора. Он спроектирован и изготовлен полностью в нашей стране. Конструкция телескопа позволяет проводить наблюдения в главном фокусе (фокусное расстояние 10 м), в фокусах Кассегрена, Нэсмита, куда (фокусное расстояние 102 м).

В 1967 году оборудование обсерватории пополнилось новым мощным инструментом — радиотелескопом для миллиметрового диапазона длин волн. Его параболическая антенна имеет диаметр 22 м. Установленный на азимутальной монтировке телескоп управляется электронно-вычислительной машиной. Радиотелескоп расположен на берегу Голубого залива Черного моря, недалеко от Симеиза.

Крымская астрофизическая обсерватория Академии наук СССР

Фото В. Гапеева

ЦЕНТР СОВЕТСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ СОЛНЦА

Всем научным работам Крымской астрофизической обсерватории приуще особое внимание к нестационарным процессам на Солнце и в Космосе. Исследование нестационарных процессов сопряжено с известными трудностями, которые обусловлены тем, что астрофизики лишены возможности воспроизвести даже в общем, а не в деталях изучаемые явления. Между тем при нестационарных процессах специфика объекта выражается гораздо резче на фоне среднего «нормального» состояния, и изучение этих процессов может способствовать лучшему пониманию природы небесных тел.

Столь сложные научные задачи потребовали разработки новых методов исследования. На обсерватории впервые в нашей стране были применены фотоэлектрические методы исследований блеска звезд, фотоэлектрический метод измерения магнитных полей Солнца и звезд, электронно-оптические преобразователи для фотографирования галактик и спектров слабых звезд, узкополосные интерферен-

ционно-поляризационные фильтры для кинематографирования процессов на Солнце.

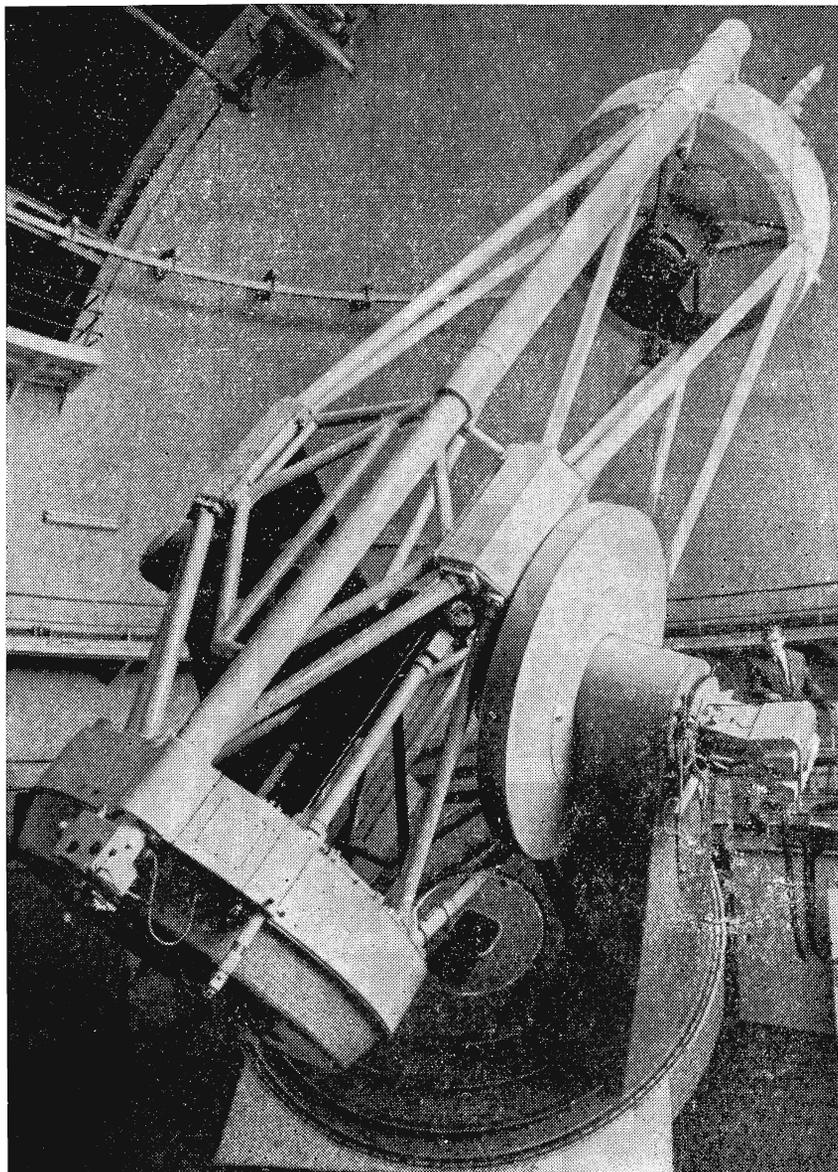
Сейчас в обсерватории работают четыре научных отдела: физики Солнца и планет, физики звезд и туманностей, радиоастрономии и экспериментальной астрофизики. Уже само название определяет тематику исследований каждого отдела.

Отделом физики Солнца и планет руководит директор обсерватории Герой Социалистического Труда академик А. Б. Северный. В штат обсерватории он пришел в 1946 году, до этого работал в Государственном астрономическом институте имени П. К. Штернберга, а затем в одной из экспедиций по изучению и выбору места для новой обсерватории. С 1949 года А. Б. Северный — заместитель директора, а с 1952 года — директор Крымской астрофизической обсерватории.

Научные интересы А. Б. Северного широки и разнообразны, но основное внимание он уделяет физике Солнца. Под руководством и при непосредственном участии А. Б. Северного в Крымской обсерватории впервые организованы комплексные исследова-

ния Солнца и его активности — наблюдения Солнца в оптическом и радиодиапазонах, изучение ионосферы, космических лучей и т. д. Причем наблюдения не ограничиваются программой Международной службы Солнца. Ставятся новые задачи, решение которых потребовало создания новых инструментов и приборов. Так, для внезатменного коронографа А. Б. Гильварг и А. Б. Северный в 1949 году разработали и построили узкополосный интерференционно-поляризационный фильтр, пропускавший излучение красной водородной линии H_{α} с длиной волны 6563 \AA . Полоса пропускания этого фильтра имела ширину $1,8 \text{ \AA}$, впоследствии она была сужена до $0,5 \text{ \AA}$. На коронографе, снабженном интерференционно-поляризационным фильтром и кинокамерой, изучались и кинематографировались процессы, происходящие в атмосфере Солнца. Когда стала ясна важная роль локальных магнитных полей на Солнце, башенный солнечный телескоп был оборудован магнитографом, созданным в обсерватории также под руководством А. Б. Северного. Уже первые наблюдения с магнитографом показали, что локальные магнитные поля имеют тонкую структуру.

Одно из самых ярких проявлений нестационарности на Солнце — хромосферные вспышки. Во время вспышки образуются коротковолновые ультрафиолетовое и рентгеновское излучения, выбрасывается мощный поток частиц со скоростью от 300 до 1000 км/сек, генерируются частицы высоких энергий и космические лучи с энергией до 100 млрд. эв. Поток частиц, вторгаясь в верхнюю ат-



2,6-метровый телескоп имени академика Г. А. Шайна

Фото В. Гапеева

Внезатменный коронограф, оборудованный интерференционно-поляризационным фильтром и кинокамерой

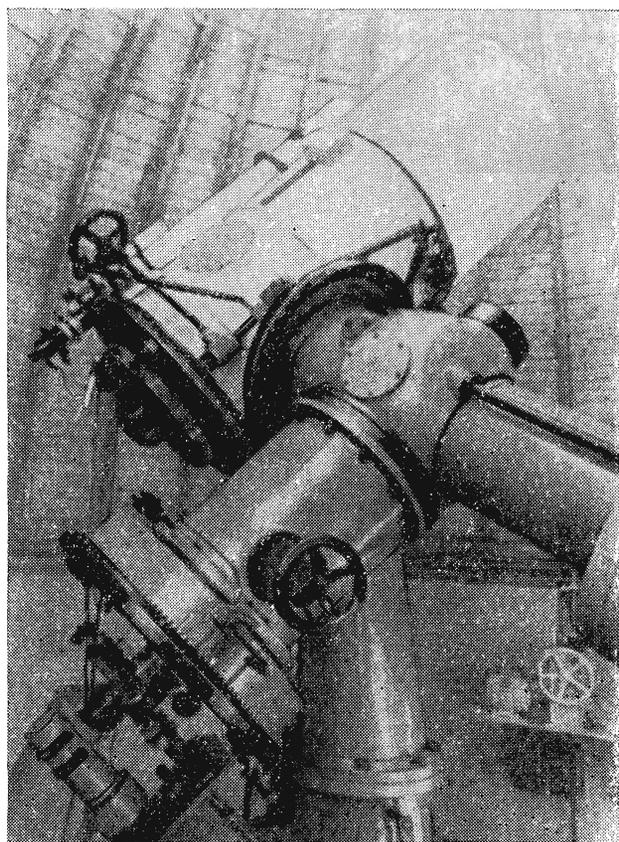
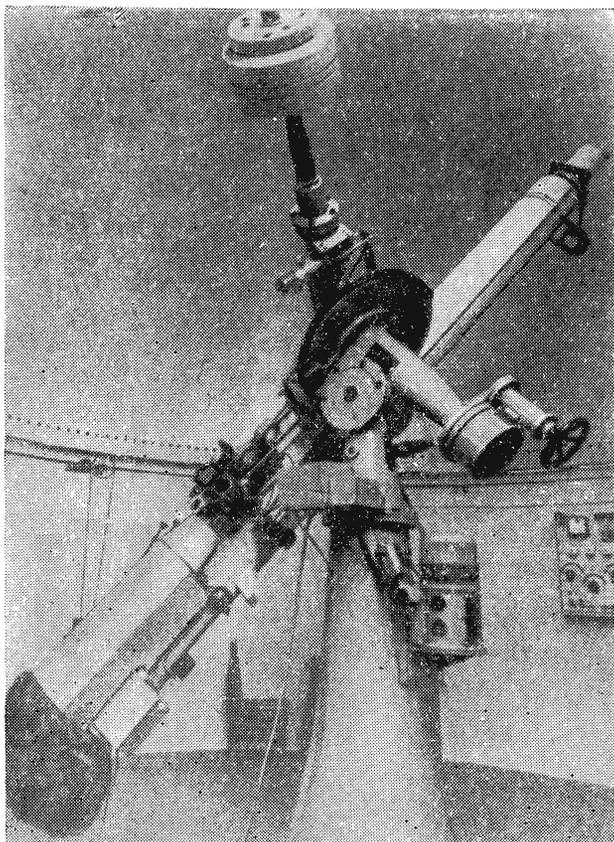
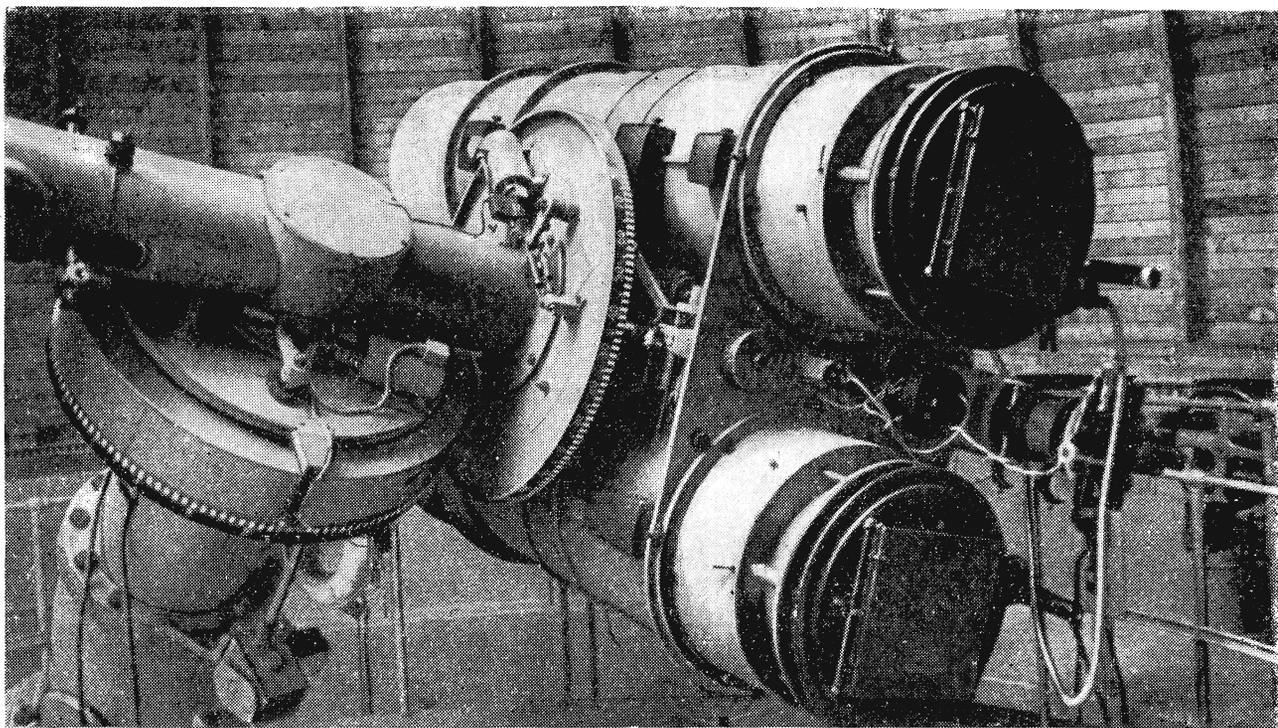
Фото В. Гапеева

Двойной 40-сантиметровый астрограф. На этом телескопе сотрудники Института теоретической астрономии АН СССР ведут наблюдения малых планет

Фото Н. С. Черных

50-сантиметровый менисковый телескоп системы Максутова

Фото В. Гапеева



мосферу Земли, порождает магнитные бури и полярные сияния. Мощные потоки частиц могут быть опасны для космонавтов, поэтому необходимо прогнозировать вспышки.

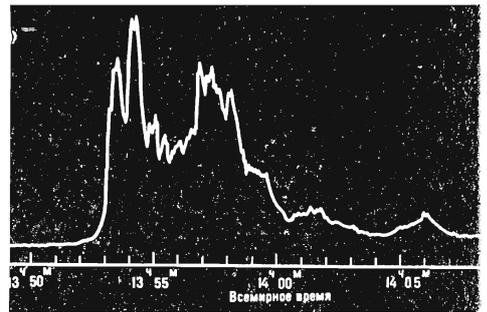
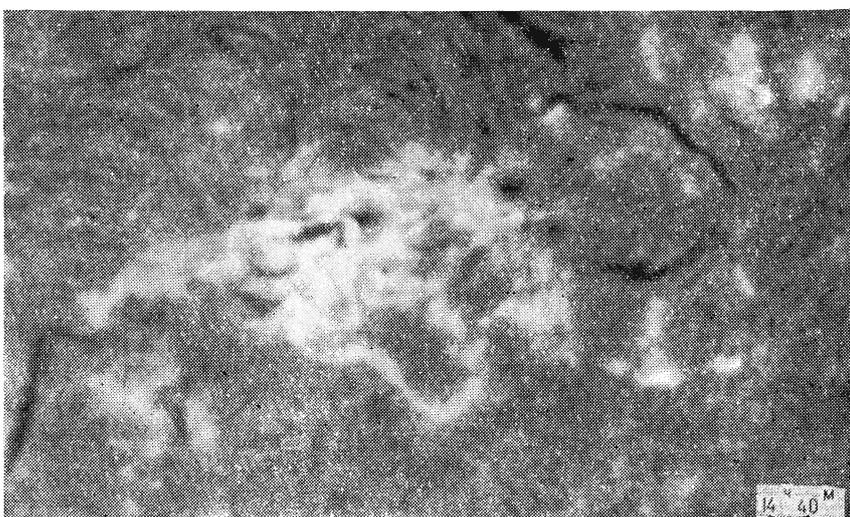
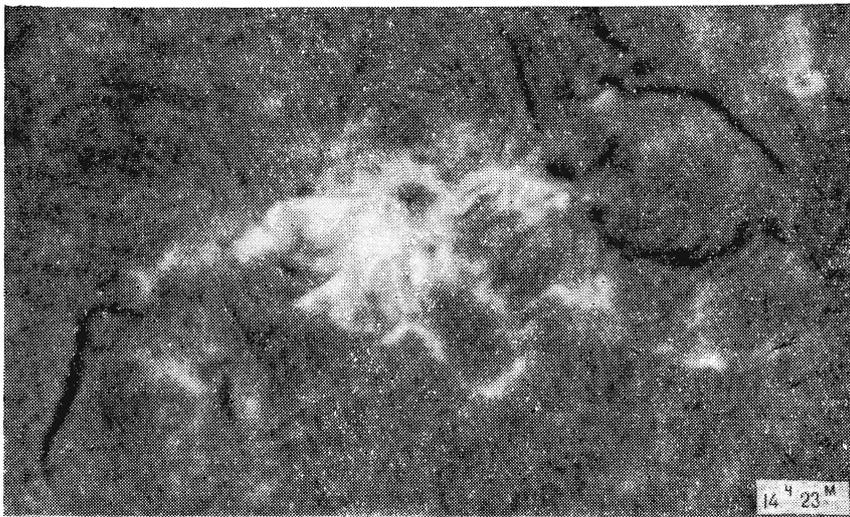
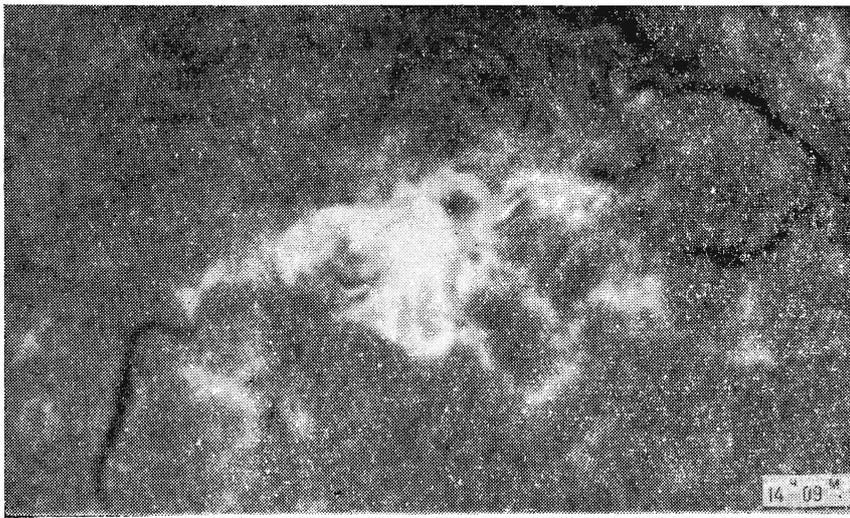
Систематические измерения магнитных полей на Солнце позволили выявить тесную связь между возникновением вспышек и характерными особенностями магнитных полей, что и было положено в основу прогнозирования солнечных вспышек. А. Б. Северный и его сотрудники уже сейчас дают прогнозы, которые оправдываются в 80% случаев. Причем предсказывается не только сама вспышка, но и ее мощность.

Изучая движение вещества во вспышках, А. Б. Северный сделал вывод о своеобразных взрывах на Солнце, энергия которых черпается из магнитных полей. Он впервые показал, что общее магнитное поле Солнца состоит из множества хаотически распределенных на поверхности элементов магнетизма и «среднее поле» Солнца сильно отличается от дипольного. Обнаружены сезонные и суточные колебания общего магнитного поля Солнца, характерные для магнитно-переменных звезд. («Земля и Вселенная», № 3, 1973 г., стр. 2—11.—Ред.)

Методы, разработанные для измерения магнитных полей Солнца, А. Б. Северный успешно применил к



■
Развитие солнечной хромосферной вспышки 4 июля 1974 года (время Всемирное). Фотография получена в линии H_{α} на коронографе Крымской астрофизической обсерватории



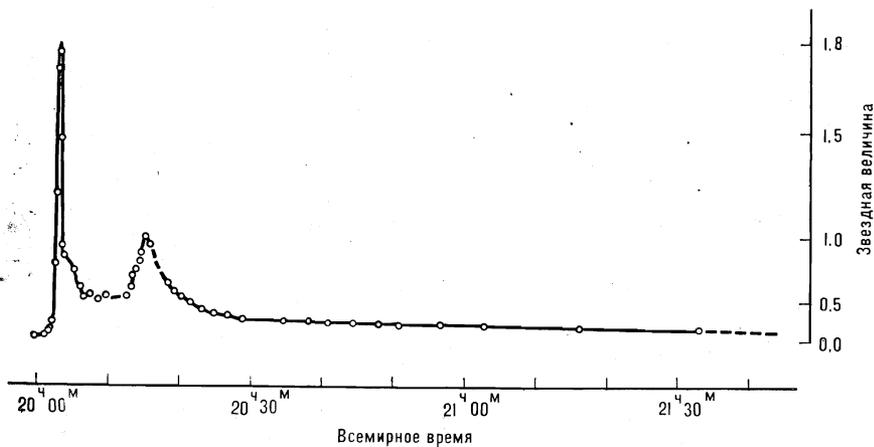
звездам. Ему удалось обнаружить слабые переменные магнитные поля у звезд, которые раньше считались «немагнитными».

Работы А. Б. Северного по физике Солнца высоко оценены научной общественностью. В 1952 году А. Б. Северный и Э. Р. Мустель стали лауреатами Государственной премии. В 1958 году А. Б. Северный был избран членом-корреспондентом, а в 1968 году — действительным членом Академии наук СССР. В 1973 году в связи с 60-летием со дня рождения и за большие заслуги в развитии советской науки Президиум Верховного Совета СССР удостоил А. Б. Северного звания Героя Социалистического Труда.

СЛУЖБА ВСПЫХИВАЮЩИХ ЗВЕЗД

Физическая природа и химический состав звезд, процессы в их атмосферах, природа звездных скоплений, туманностей, галактик, квазаров и других объектов изучаются в отделе физики звезд и туманностей, которым руководит доктор физико-математических наук В. Б. Никонов, один из старейших сотрудников Крымской астрофизической обсерватории. В. Б. Никонов — признанный авторитет в области звездной электрофотометрии и большой энтузиаст применения электроники в астрофизике. В 1948 году вместе с А. А. Калиняком и В. И. Красовским он провел первое в на-

■
Всплеск солнечного радиоизлучения на длине волны 2,5 см, зарегистрированный во время хромосферной вспышки 4 июля 1974 года



шей стране наблюдение области галактического центра в инфракрасном участке спектра. Наблюдению ядра Галактики в видимом диапазоне препятствуют мощные массы поглощающей свет материи. Для инфракрасного излучения межзвездная материя почти прозрачна. Наряду с известным звездным облаком в созвездии Стрельца советские астрономы обнаружили на длине волны 9700 Å другое, почти столь же яркое облако, которое вместе с первым и образует ядро Галактики размером порядка 1500 пс. Эта работа была отмечена Государственной премией.

Фотоэлектронные умножители, электронно-оптические преобразователи, телевизионные системы значительно повысили проникающую силу телескопов и сделали доступными наблюдениям те предельно слабые объекты, которые обычными методами изучать не удастся. Был обнаружен новый тип переменности у звезд, когда интенсивность излучения заметно меняется за минуты и даже секунды. Такие звезды были названы вспыхивающими. Сотрудники обсерватории Р. Е. Гершберг и П. Ф. Чугайнов показали, что быстрые изменения их блеска носят квазипериодический характер. Вспышечные процессы захватывают только часть поверхности звезды — так же, как и вспышки на Солнце. Но звездные вспышки в де-

сятки тысяч раз мощнее солнечных. На протяжении ряда лет по согласованной программе проводились синхронные наблюдения вспыхивающих звезд в Крыму в оптическом диапазоне и в Джодрелл Бэнк (Англия) в радиодиапазоне. Было установлено, что радиоизлучение при вспышках огромно по сравнению с оптическим излучением. В Крымской обсерватории благодаря применению электронно-оптических приборов впервые были получены спектры звездных вспышек с разрешением по времени порядка 10 секунд. Вот уже многие годы Крымская обсерватория координирует работы по исследованию вспыхивающих звезд, в которых принимают участие обсерватории более десяти стран мира.

На 1,2-метровом рефлекторе получены тысячи спектров. По ним исследовались физические процессы в наиболее горячих звездах, строение атмосфер и химический состав звезд разных спектральных классов. Весьма интересными объектами оказались звезды, в спектрах которых наряду с молекулярными полосами поглощения, характерными для «холодных» звезд, наблюдаются линии излучения многократно ионизованных атомов, например FeV, свидетельствующих о весьма высокой температуре. Тщательные спектроскопические и фотометрические исследования, выполненные под руководством доктора физико-математических наук А. А. Боярчука, показали, что столь необычные свойства спектра могут быть объясне-

ны как результат двойственности или тесного симбиоза холодного гиганта (температура поверхности 2800°) и горячего карлика (100 000°), погруженных в общую туманность и вращающихся вокруг общего центра масс. Карликовая звезда невидима, она проявляет себя лишь в спектре. Такие системы получили название симбиотических звезд. Их можно рассматривать как определенную стадию эволюции двойных звезд, подобную стадии планетарной туманности для эволюции одиночных звезд. Возможно, они подобны системам, являющимся источниками рентгеновского излучения.

На 2,6-метровом телескопе кроме звезд изучаются далекие галактики и квазары. И здесь основное направление исследований связано с идеями активности галактик, — в частности, важнейшей роли их ядер. В. И. Пролик и К. К. Чуваев обнаружили в сейфертовских галактиках огромные водородные облака, движущиеся с различными скоростями. Условия свечения в этих облаках заметно меняются за короткое время (порядка месяца), что свидетельствует о весьма бурных процессах, происходящих там. Систематически наблюдаются галактики с компактными ядрами, в спектрах которых есть водородные эмиссионные линии со сложными профилями. У одной из таких галактик (NGC 5548) интенсивность водородных линий H_{α} и H_{β} изменяется в течение нескольких суток. Водородные линии в спектре этой галактики имеют большую ширину, обусловленную движением отдельных сгустков или струй газа со скоростью порядка 10 тыс. км/сек.

Весьма важное значение приобре-

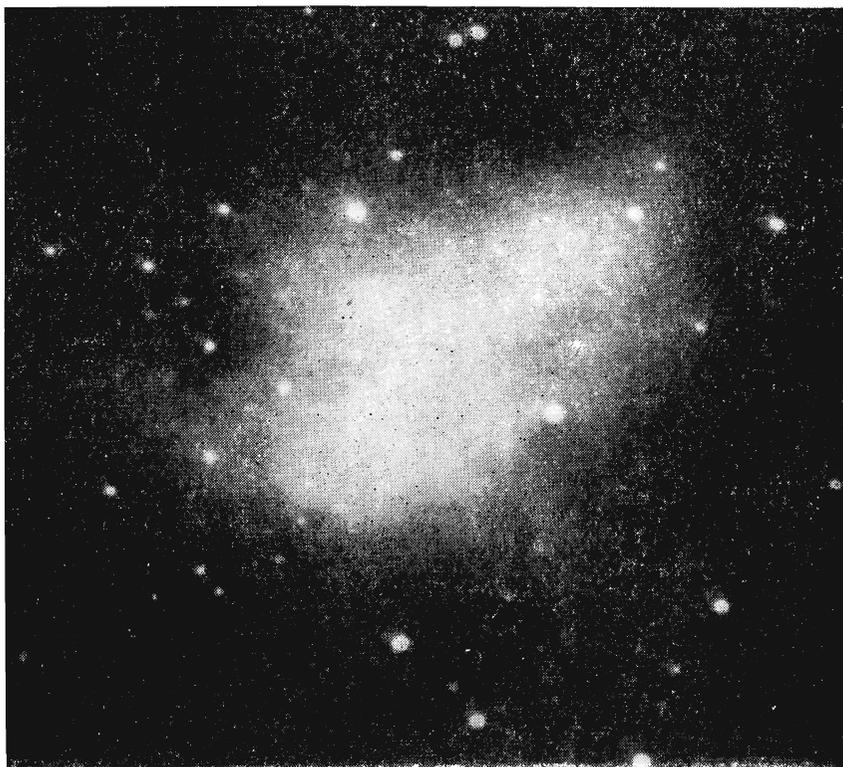
Кривая изменения яркости звезды AD Льва во время вспышки 18 мая 1965 года

ли работы по фундаментальной фотометрии — измерение внеатмосферных стандартов потоков излучения и цветов звезд, а также распределение энергии в спектрах звезд и других космических объектов. Разработанная в обсерватории методика позволила достигнуть точности выше 1%.

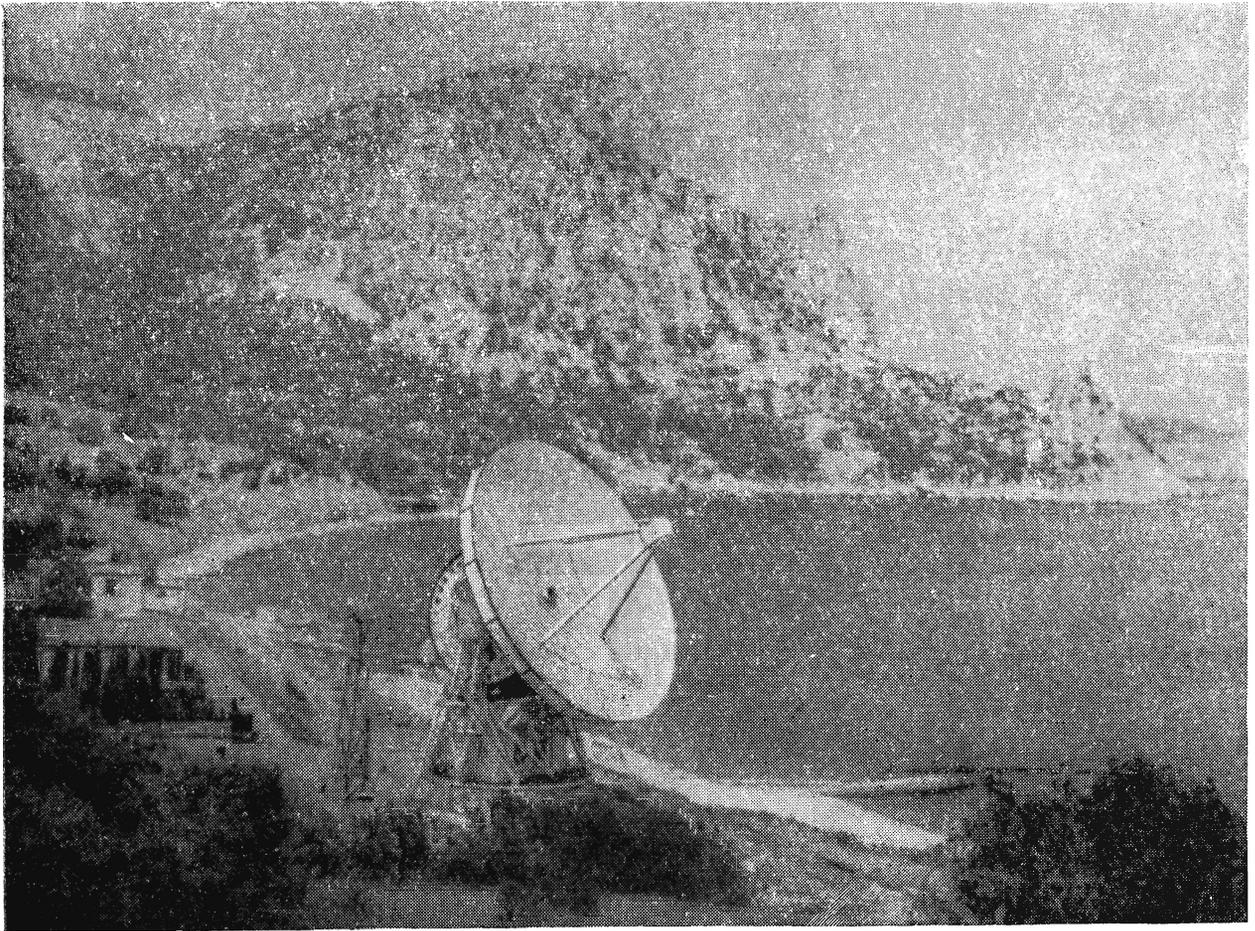
РАДИОНАБЛЮДЕНИЯ С РЕКОРДНЫМ РАЗРЕШЕНИЕМ

Радиоастрономические наблюдения проводятся в отделе, который возглавляет кандидат физико-математических наук И. Г. Моисеев. Небольшой, но слаженный коллектив сотрудников этого отдела состоит из опытных, квалифицированных специалистов, хорошо знающих свое дело. Вначале отдел располагал лишь небольшими антеннами для метрового диапазона длин волн, с которыми велись наблюдения радиоизлучения Солнца. Создание большого радиотелескопа с параболической антенной диаметром 22 м существенно расширило тематику исследований.

Так, на Солнце удалось обнаружить интенсивные источники радиоизлучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. Они оказались нестационарными. Сейчас исследуется структура этих локальных источников. На новом радиотелескопе наблюдаются и квазары. Были, например, одновременно измерены в сантиметро-



■ ■
Крабовидная туманность и спиральная галактика в созвездии Гончих Псов. Оба снимка сделаны с экрана электронно-оптического преобразователя, установленного в фокусе 2,5-метрового телескопа



вом и миллиметровом радиодиапазонах, а также в оптическом диапазоне колебания интенсивности излучения некоторых квазаров. Природа этих далеких объектов все еще загадочна, поэтому важна любая информация о них.

Советские радиоастрономы вместе с американскими коллегами измерили угловые размеры квазаров интерферометрическим методом. Элементами гигантского радиоинтерферометра были радиотелескопы в Крыму и в Грин-Бэнк, а также в Хайстеке и в Голдстоуне (США). Радиоинтерферометр с большей базой создать на Земле невозможно, поскольку источ-

ник должен находиться над горизонтом одновременно в обоих пунктах наблюдения. Синхронность наблюдений обеспечивал цезиевый стандарт частоты. Специальные сигналы от этого стандарта вместе с сигналами от исследуемого источника записывались на магнитную ленту в каждой обсерватории, потом записи обрабатывались на электронно-вычислительной машине. Известный американский радиоастроном, профессор К. Келлерман, который участвовал в наблюдениях на 22-метровом радиотелескопе, дал ему высокую оценку, назвав телескоп «чемпионом мира» в области миллиметровых волн.

С радиоинтерферометром было достигнуто рекордное разрешение в сантиметровом диапазоне — $3 \cdot 10^{-4}$ секунды дуги. Помимо определения размеров исследовалась структура компактных источников космического

радиоизлучения — квазаров и лазерных источников в линии паров воды. Их излучение сосредоточено в отдельных ядрах очень малых размеров (менее $3 \cdot 10^{-4}$ угловых секунд).

Из последних радиоастрономических работ, выполненных на обсерватории при участии сотрудников Государственного астрономического института имени П. К. Штернберга и других научно-исследовательских учреждений следует отметить обзор источников на длине волны 3,5 см. Составлен обширный каталог радиоисточников, многие из которых не были известны прежде.

АСТРОФИЗИЧЕСКИЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ В ЛАБОРАТОРИИ

До недавнего времени все наши знания о химическом составе и природе небесных тел основывались на

■
22-метровый радиотелескоп, установленный на берегу Голубого залива
Фото В. Гапеева



всестороннем анализе их излучения. Для Солнца, звезд и других удаленных объектов спектр, по-прежнему, остается единственным источником информации. Но чтобы правильно интерпретировать спектральные наблюдения, необходимо изучить условия образования спектра, условия возбуждения атомов и свечения газов при различных давлениях и примесях, причем изучить во всех доступных областях спектра. С этой целью в обсерватории проводились лабораторные эксперименты по возбуждению свечения газов и исследованию их спектров. Такие эксперименты составляют одну из задач отдела экспериментальной астрофизики, которым руководит доктор физико-математических наук Н. В. Штенко.

Другая важная область — внеатмосферные исследования. Сотрудники отдела изучают свойства различных материалов, используемых в приборах как зеркала или «окна» для приема излучения в разных спектральных интервалах. Они создают приборы для внеатмосферных исследований коротковолнового излучения Солнца, разнообразные фотометры для регистрации излучения отдельных источников в разных участках спектра, в том числе свечения фона неба на Луне. Построенный в обсерватории под руководством А. Б. Северного астрофотометр был установлен на «Луноходе-2». Прибор измерил свечение неба на Луне во время лунного дня и ночи. Хотя Луна и не имеет атмосферы, яркость ее дневного и ночного неба оказалась существенно выше, чем предполагалось. Внеатмосферные исследования уже принесли чрезвычайно важную информа-

цию, которую никакими другими способами получить невозможно.

В отделе экспериментальной астрофизики наблюдаются искусственные космические объекты — автоматические станции серий «Луна», «Венера», «Марс». Эти наблюдения дают возможность вычислить истинную траекторию движения космического аппарата, сравнить ее с расчетной и в случае необходимости провести коррекцию траектории, чтобы обеспечить попадание аппарата в заданную точку пространства. Разработанная в обсерватории методика позволяет весьма оперативно (четыре — пять близких положения объекта определяются за 20—25 минут) получать координаты с точностью 3—5 угловых секунд. Электронно-оптические преобразователи и телевизионная система помогают увидеть искусственные объекты (а также фотографировать и кинематографировать их с экрана телевизионной установки) на больших расстояниях от Земли. Так, автоматическая станция «Марс-6» наблюдалась на расстоянии свыше 465 тыс. км. В это время ее блеск был около 17-й величины.

Совершенно очевидно, что столь многообразная научная работа обсерватории не может проходить в изоляции, в отрыве от деятельности других обсерваторий, научно-исследовательских учреждений и промышленных предприятий. Астрономическая техника развивается, совершенствуется, широкое применение находит электроника, вычислительные средства, радиотехнические устройства, новейшие

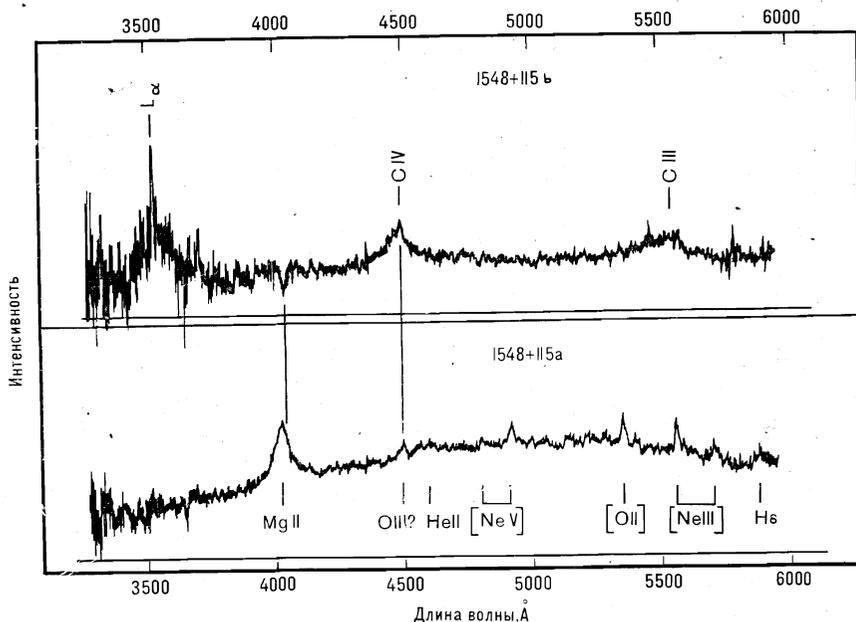
приборы. Много приборов изготовлено в обсерватории руками инженеров, лаборантов, механиков, однако далеко не все можно сделать самим. Поэтому обсерватория поддерживает тесные связи с другими учреждениями и предприятиями. Вместе с Бюраканской астрофизической обсерваторией, Институтом космических исследований АН СССР, Физическим институтом АН СССР и Горьковским научно-исследовательским радиофизическим институтом Крымская астрофизическая обсерватория проводит радиоинтерферометрические наблюдения, осуществляет оптическую локацию Луны лазером, который смонтирован в фокусе 2,6-метрового телескопа. Проводятся и другие совместные работы с различными обсерваториями и институтами.

Мощные телескопы, отличные условия для наблюдений привлекают в обсерваторию не только советских, но и зарубежных астрономов. Ежегодно в обсерваторию приезжает большое число специалистов для стажировки, занятий в аспирантуре, проведения и обсуждения совместных наблюдений. Часто в обсерватории созываются совещания, конференции, семинары, школы, в которых участвуют многочисленные советские и зарубежные ученые. Высокая научная квалификация сотрудников Крымской астрофизической обсерватории, ее прекрасные телескопы и современное оборудование получили признание во всем мире.

ТЕСНЫЕ ПАРЫ КВАЗАРОВ— РЕАЛЬНОСТЬ ИЛИ ЭФФЕКТЫ ПРОЕКЦИИ?

В научной литературе последних лет оживленно обсуждается вопрос природе компактных объектов — спутников обычных галактик. Эти объекты связаны с галактиками рукавами или перемычками и имеют иногда существенно большее красное смещение, чем сами галактики. («Земля и Вселенная», № 4, 1972 г., стр. 24—25). Чаще всего спутниками бывают сфероидальные компактные галактики размером в несколько килопарсек и массой 10^8 — 10^9 солнечных. Профессор Б. А. Воронцов-Вельяминов, подготавливая вторую часть «Каталога взаимодействующих галактик», обнаружил около 100 систем, похожих на спиральную галактику в созвездии Гончих Псов, у которой на конце сильно искаженной ветви находится компактная галактика-спутник. К сожалению, большинство найденных систем очень плохо исследовано и даже их красные смещения известны далеко не всегда. Поэтому об их природе пока мало что можно сказать.

А существуют ли «взаимодействующие» квазары? Если время их жизни 10^9 — 10^{10} лет, то вероятность наблюдений пары физически связанных квазизвездных объектов может быть не меньше, чем вероятность наблюдений пары взаимодействующих галактик. Однако многие астрономы считают, что продолжительность активной стадии в жизни квазаров не превышает 10^7 лет. Поэтому обнаружить пару квазаров, проходящих одновременно свою ак-



тивную стадию, по-видимому, маловероятно. Удастся оценить лишь вероятность случайной близости двух квазизвездных объектов. Оценки показывают, что если известны 0,1% всех квазаров ярче 20-й звездной величины, то можно встретить около 10 пар квазизвездных объектов, угловое расстояние между которыми 30 секунд.

Уже появились первые сообщения об открытии «тесных» пар квазаров. Всего 4,8 угловой секунды разделяют два квазара 1548 + 115a и 1548 + 115b. Известный американский исследователь Маргарет Бербидж с сотрудниками отождествили тесную пару голубых квазизвездных объектов с радиоисточником 4C 11.50. Вскоре астрономы Ликской обсерватории (США) получили на 3-метро-

вом телескопе спектры этих квазаров и по нескольким линиям излучения определили красные смещения. У квазара 1548 + 115a красное смещение равно 0,436, у квазара 1548 + 115b — 1,9.

Примечательная особенность спек-

Спектры квазаров 1548 + 115b и 1548 + 115a. У далекого квазара 1548 + 115b, благодаря большому красному смещению, в видимом участке спектра наблюдаются мощные коротковолновые линии водорода L_{α} (1216 Å), ионизованного углерода C IV (1550 Å) и C III (1910 Å). Вблизи длины волны 4038 Å в его спектре заметна линия поглощения. На том же самом месте в спектре близкого квазара 1548 + 115a, через периферийные области которого проходит излучение далекого объекта, видна широкая эмиссионная линия ионизованного магния Mg II



ра далекого квазара 1548+115b — линия поглощения шириной 12Å вблизи длины волны 4038 Å. Если это обычная для близких квазаров линия ионизованного магния с длиной волны 2800 Å, то ее красное смещение будет уже 0,44 — почти такое, как у квазара 1548+115a. Кстати, последний окружен красноватой туманностью размером около 10 угловых секунд. По-видимому, излучение далекого квазара проходит сквозь туманность и потому в его спектре появляется линия поглощения ионизованного магния, входящего в состав вещества, которое окружает близкий квазар. Таким образом, мы получили уникальную возможность «просветить» периферийные области близкого квазара мощным излучением далекого. Заметим, что на расстоянии, соответствующем красному смещению 0,4, 4,8 угловые секунды в линейной мере составляют 40 кпс.

Исследовалась эта пара квазаров и в радиодиапазоне. Оказалось, что близкий квазар (4C 11.50a) состоит из компактного радиокомпонента и протяженного, совпадающего с оптической туманностью. Радиоизлучение далекого квазара (4C 11.50b), по-видимому, не превышает 10% от суммарного и выделить его пока не удалось.

Совокупность данных как в оптическом, так и в радиодиапазоне не противоречит представлению о том, что наблюдаемая тесная пара квазаров — это случайная проекция. Но тогда близкий квазар должен представлять собой гравитационную линзу для проходящего около него излучения далекого квазара. При

определенных условиях, зависящих от массы и расстояния между линзой и лучом зрения, эффект гравитационной линзы привел бы к тому, что изображение далекого квазара расщепилось бы на два «полумесяца» разной интенсивности. Они были бы видны по обе стороны от близкого квазара. Поскольку этого как будто бы не наблюдается, можно ввести некоторые ограничения на массу близкого квазара, выступающего в роли гравитационной линзы. Его масса не должна превышать 10^{13} солнечных. Это очень грубая оценка, но для еще более тесных пар квазаров такой метод определения массы может оказаться полезным.

Кандидат физико-математических наук
Б. В. КОМБЕРТ

НОВЫЕ КНИГИ

ПОПУЛЯРНО О ЛУНЕ

«Новый облик старой Луны» — так назвали свою книгу К. А. Куликов и В. Б. Гуревич. Ее выпустило в 1974 году издательство «Наука» в своей научно-популярной серии. В первой части книги («Как изучалась Луна») содержится краткий обзор данных о природе Луны, накопленных к 1959 году, а затем рассказывается о советских и американских программах исследования естественного спутника Земли.

Вторая часть книги («Облик Луны») посвящена современным представлениям о Луне. Авторы знакомят читателей с важнейшими сведениями о фигуре Луны, ее гравитационном поле; рассказывают о свойствах поверхностного слоя и недр, а также о возрасте Луны. Большое внимание уделяется вопросам картографирования лунной поверхности.

Книга, рассчитанная на широкий круг читателей, будет полезна преподавателям астрономии и пропагандистам астрономических знаний.

НОВЫЕ КНИГИ

ПЛАНЕТА ДЛЯ ЛЮДЕЙ — КАКАЯ ОНА?

«Итак, можно рассчитывать, что в настоящее время в нашей Галактике есть примерно 10 внеземных цивилизаций, достаточно далеко продвинувшихся в своем развитии для того, чтобы посылать в пространство интенсивные сигналы, рассказывающие об опыте своего развития. Среднее расстояние такой цивилизации от Земли порядка десятка тысяч световых лет. Очень далеко, но попытаться поймать их сигналы все же следует» — этим выводом профессор С. А. Каплан заканчивает свое послесловие к книге С. Доула «Планета для людей» («Наука», 1974 г., перевод с английского И. С. Щербиной-Самойловой). Автор книги поставил перед собой задачу ответить на следующие вопросы:

1. Каким условиям должны удовлетворять планеты, чтобы на них могли жить люди?

2. Сколько таких планет в Галактике?

3. Какова вероятность встретить пригодную для жизни планету около звезд, расположенных не очень далеко от Солнца?

По мнению Доула, полная вероятность того, что в объеме пространства радиусом в 22 световых года от Солнца существует, кроме Земли, хотя бы одна пригодная для жизни планета, составляет 43% (!). Вместе с тем автор книги крайне пессимистически относится к мыслям о том, что когда-нибудь удастся обнаружить планету с уже населяющей ее цивилизацией. Очевидно, эта точка зрения расходится с «общественным мнением» многих радиоастрономов, но именно она, вероятно, заставит многих прочитать книгу Доула.

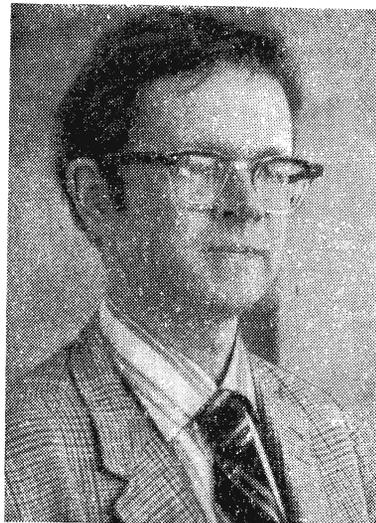
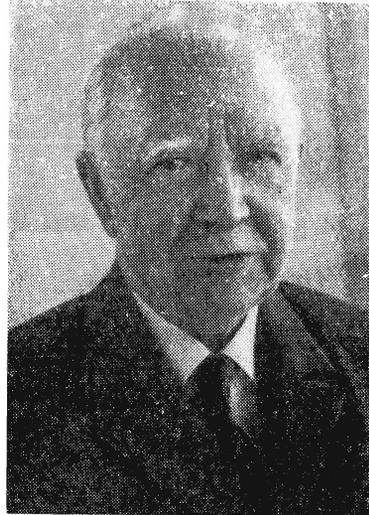
Кандидат физико-математических наук
Е. Л. РУСКОЛ



Советско-американская конференция по космохимии Луны и планет

С 4 по 8 июня 1974 года в Москве состоялась конференция по космохимии Луны и планет, организованная Академией наук СССР и Национальным управлением США по аэронавтике и исследованию космического пространства. В ее работе приняли участие свыше 150 ученых из СССР, США, Англии, Франции, Канады, ФРГ, ГДР, Венгрии и Чехословакии. Это была не первая конференция, посвященная исследованию Луны и планет космическими аппаратами. В Хьюстоне (США) уже созывалось пять международных симпозиумов, но на них, как правило, обсуждались конкретные результаты отдельных полетов. Между тем искусственные спутники Луны, лунные экспедиции «Аполлонов», луноходы, автоматические станции, летавшие к другим планетам, получили обширный экспериментальный материал. Назрела необходимость обобщить все эти результаты, попытаться осмыслить то новое, что внесли космические полеты в решение проблем происхождения, эволюции и внутреннего строения Луны и планет.

Первая сессия, посвященная вопросам дифференциации вещества Луны и планет на оболочки, открылась докладом академика А. П. Виноградова. Он сказал, что анализ возможных путей дифференциации лунных недр приводит к отказу от хондритовой модели Луны, которая считалась приемлемой до эпохи освоения нашего естественного спутника. Обеднение лунных базальтов летучими веществами и обогащение их тугоплавкими элементами плохо согласуется с родоначальным хондритовым веществом. Накоплен огромный материал о



содержании большинства химических элементов и соединений в лунных породах. Эти данные могут быть обзоримы благодаря разработанной американскими учеными программе, пользуясь которой нетрудно сопоставить лунные образцы с земными по любым трем химическим элементам. Детальное изучение распространенности элементов в магматических породах Луны помогло выяснить, являются ли они продуктами химической дифференциации недр или же местного плавления при ударах. Несмотря на запутанную картину, этот вопрос решается в пользу дифференциации, поскольку локальные плавления не способны обеспечить наблюдаемую в лунной коре повышенную концентрацию многих химических элементов — урана, тория, редкоземельных элементов и др. Лунная кора имеет толщину около 65 км. Она сложена в основном из морских базальтов и анортозитов — более светлых пород, покрывающих материки. В анортозитах содержится больше алюминия и кальция, но меньше железа и магния, чем в морских базальтах. Самые многочисленные образцы материковых пород — это брекчии, куски, сцементированные из различных минералов. Анортозиты относятся к наиболее древним породам на Луне. Часть из них, вероятно, являет-

Председатель советской группы Оргкомитета конференции академик
А. П. Виноградов

Председатель американской группы Оргкомитета конференции доктор
Н. Хиннерс

ся продуктом первичной дифференциации лунной коры, а другие представляют собой остаточное вещество частичного плавления при ударах.

Следующее заседание целиком было отведено термическим свойствам Луны. М. Лэнгсет и С. Кейм (США) доложили о результатах измерений теплового потока из недр Луны в местах посадки «Аполлона-15 и -17». Величина потока равна $(0,74—0,68) \cdot 10^{-6}$ кал/см²·сек, что хорошо согласуется с радионаблюдениями Луны, выполненными десятью годами раньше В. Д. Кротиковым и В. С. Троицким в СССР. Затем были представлены теоретические работы советских и американских ученых, в которых обсуждалась термическая история Луны. (Один из докладов, сделанный Б. Ю. Левиным и С. В. Маевой, опубликован в этом номере журнала.—Ред.) Во всех теоретических моделях получается более высокое содержание основных тепловыделяющих элементов — урана и тория — в Луне, чем в хондритах и мантии Земли. К такому заключению еще 10 лет назад пришли О. И. Орнатская и Я. И. Альбер на основании данных, полученных В. С. Троицким из наблюдений. И вот теперь это подтвердилось. Если стадия остывания Луны, начавшаяся с излияния морских базальтов 3,7—3,1 млрд. лет назад, не представляет принципиальных трудностей для теоретических расчетов, то самая древняя тепловая история, в особенности первые полмиллиарда лет существования Луны (4,6—4,1 млрд. лет назад), пока загадочна. Тем не менее уже сейчас получены указания, что начальная температура была близка к температуре плавления вещества,



Заместитель председателя Оргкомитета конференции профессор Ю. А. Сурков

Первый геолог, побывавший на Луне, доктор Х. Шмитт

слагающего верхнюю мантию Луны, и понижалась к ее центру.

Во многих докладах обсуждались сейсмические, гравитационные, магнитные особенности Луны. Г. Лэзем (США) посвятил свое выступление внутреннему строению Луны. Четыре сейсмические станции, уже третий год работающие на Луне, исследовали распространение сейсмических волн от поверхности до ее центра. На Луне удалось выделить две области: твердую, динамически пассивную литосферу толщиной до 1000 км и относительно ослабленную центральную зону — лунную астеносферу, которая частично или полностью расплавлена. Если у Земли астеносфера — это сферический слой, залегающий на глубинах 100—200 км в верхней мантии, то у Луны астеносфера простирается до ее центра. В лунной астеносфере поглощаются поперечные сейсмические волны и лишь продольные волны доходят до центра Луны.

Рассмотрение возможных причин, породивших неоднородности гравитационного поля Луны (масконы), показывает, что они образовались 3—4 млрд. лет назад. В ту же эпоху лунные породы подверглись воздействию магнитного поля напряженностью в несколько тысяч гамм ($1\gamma = 10^{-5}$ гс). Магнитное поле могло возникнуть или в первоначально горячей Луне с активным внутренним «динамо», или в сравнительно холодной Луне (ниже 800°С), «запомнившей» какое-то магнитное событие прошлого. Электропроводность Луны в целом примерно в 100 раз ниже, чем Земли. Возможно, это обусловлено более низкой температурой недр Луны, отсутствием в них воды и пониженным содержа-



нием трехвалентного железа в составе окислов, слагающих лунные породы. Электропроводность Луны не всюду одинакова: на глубинах 200—400 км залегает слой довольно высокой проводимости, покрытый весьма плохо проводящим слоем. Природа лунного гравитационного поля еще недостаточно изучена. Необходимо подробнее исследовать связь всех полей с селенографическими особенностями, как это уже делали луноходы для магнитного поля.

Одно из заседаний было посвящено хронологии Луны, планет и метеоритов. Первым выступил тепло встреченный присутствующими участник экспедиции «Аполлона-17» астронавт доктор Х. Шмитт (США). Он рассказал о геологической истории Луны и продемонстрировал прекрасные снимки горной местности на Луне, где работала экспедиция.

Хронология Луны и планет основывается на данных о содержании радиоактивных элементов в поверхностных породах. Автоматические космические станции «Луна-10» и «Венера-8» определили характер пород на Луне и Венере. Дальнейшее сопоставление содержаний радиоактивных элементов в планетах и метеоритах, как считает Ю. А. Сурков (СССР), даст ключ к пониманию их истории. Различными методами возраст Луны американские ученые оценивают в 4,6 млрд. лет. Предполагается, что гравитационная дифференциация глобального масштаба происходила на протяжении первых нескольких сот миллионов лет существования Луны. Морские впадины, по-видимому, образовались 3,9 млрд. лет назад.

В день, свободный от заседаний,—

6 июня, участники конференции посетили Институт геохимии и аналитической химии имени В. И. Вернадского, где доктор Х. Шмитт рассказал об экспедиции «Аполлона-17». В Институте физики Земли имени О. Ю. Шмидта доктор Г. Лэзем прочел лекцию о сейсмических исследованиях на Луне. В секторе планетарной геофизики института состоялись две дискуссии: о ранней эволюции Луны в первые полмиллиарда лет ее существования и о длительности формирования планет.

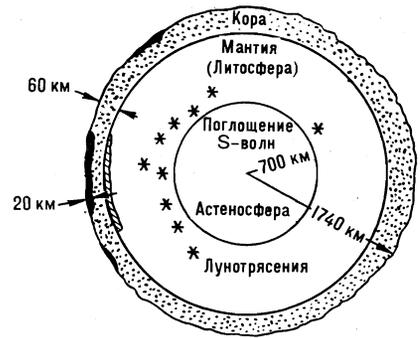
7 июня продолжались заседания конференции. К. П. Флоренский (СССР) осветил роль экзогенных факторов в формировании лунной поверхности. В основу его доклада легли материалы советских исследований Луны автоматическими станциями. Все эти данные свидетельствуют о важном значении ударных явлений в петрогенезисе лунных пород и в истории метеоритов. Э. Андерс с сотрудниками (США) сообщили об интересной попытке определить химический состав тел, образовавших впадины лунных морей при своем столкновении с Луной. Для этого изучались различные редкие элементы в тех ма-

■
Доктор физико-математических наук К. П. Флоренский — известный исследователь морфологических особенностей лунной поверхности

териковых образцах, которые обогащены метеоритным веществом.

Среди экзогенных факторов, влияющих на лунный грунт, немаловажное место занимают солнечный ветер и космические лучи. Обнаруженные в составе пород частицы солнечного ветра помогают восстановить историю облучения данных образцов. С. Н. Вернов и А. К. Лаврухина (СССР) исследовали изотопы с разными периодами полураспада, возникшие в ядерных реакциях на различных глубинах от поверхности Луны. Материалом для этих исследований служили колонки лунного грунта, доставленные «Луной-16 и -20», а также данные о метеоритах и образцах грунта, привезенных экипажем «Аполлона-11». Удалось разделить эффекты, вызванные космическими лучами солнечного и галактического происхождения. Было установлено постоянство среднего потока протонов и, очевидно, солнечной активности в течение последнего миллиона лет. Интенсивность галактической компоненты космических лучей в окрестности Земли за этот период также не менялась.

В специальном разделе «Космохимические гипотезы происхождения и эволюции Луны и планет» рассматривались условия, в которых находилось вещество на допланетной стадии. Эти условия определяли первичный состав и строение планетных тел, их дальнейшую геохимическую эволюцию. Трудности расшифровки происхождения и начального состояния Луны во многом связаны с интенсивной ударной обработкой ее поверхности в первые 600—700 млн. лет. Какова природа тел, падавших на Луну в том раннем периоде и образо-



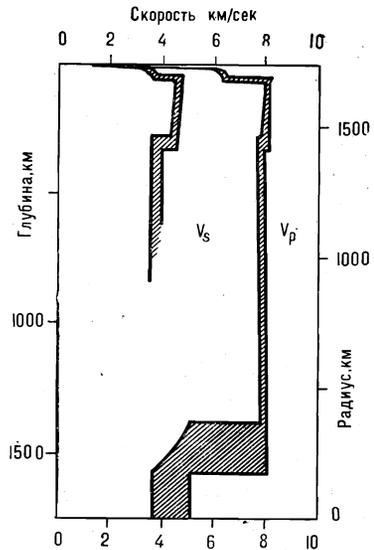
вавших морские впадины? Дж. Везерилл (США) рассчитал вероятность забрасывания небольших тел с орбит планет-гигантов и из пояса астероидов в область планет земной группы. Предположение о том, что тела падают на Луну с околоземных орбит, требует длительного существования пояса спутников Земли после формирования нашей планеты и Луны. Длительность различных этапов в ранней истории Солнечной системы представляет сейчас очень большой интерес. Данные о распределении изотопов, возникших при распаде короткоживущих радиоактивных элементов, помогают ограничить некоторые промежутки времени. Так, интервал времени между прекращением нуклеосинтеза и формированием метеоритов Д. Рейнольдс (США) оценивает в 150 млн. лет. В. С. Сафронов (СССР) рассмотрел, как влияет длительность процесса формирования Земли и планет на их начальное состояние и дальнейшую геохимическую эволюцию. Вероятно, 10—100 млн. лет ушло на то, чтобы накопить 98% массы планет. Предположения о более быстром росте планет (10—100 тыс. лет) связаны с непоследовательностью теоретических моделей.

В докладе У. Каула (США) обсуждались пути относительного обеднения Луны летучими веществами и железом, а также обогащения силикатами, содержащими много алюминия и кальция. Эти процессы происходили еще на допланетной стадии. Американский ученый придерживается той гипотезы образования Луны, которая разработана в Институте физики Земли АН СССР и, по его мнению, наиболее обоснованна. Луна — конечный

продукт «сборки» частиц и тел спутникового роя, формирующегося вокруг Земли на активной стадии ее роста. Эта гипотеза, как считает автор статьи, позволяет также объяснить различия в химическом составе обоих тел и при определенных условиях обеспечить ранний разогрев Луны даже в рамках «длинной» шкалы роста Земли, то есть за 100 млн. лет.

Большой интерес вызвали доклады о последних исследованиях планет. Д. Голт от имени большой группы американских ученых представил материалы изучения превосходных снимков Меркурия, переданных «Маринером-10» в марте 1974 года. Частота и расположение кратеров на поверхности планеты свидетельствуют о сходстве ранней истории Меркурия и Луны. По предварительным данным, Меркурий имеет собственное магнитное поле дипольного характера, ось которого наклонена к оси вращения планеты. Поскольку плотность Меркурия высока, он может обладать железным ядром величиной с Луну.

Р. Смолуховский (США) рассказал об исследованиях Юпитера и его окрестностей космическим аппаратом «Пионер-10». Уточнена теоретическая модель внутреннего строения Юпитера, оценено очень важное для понимания структуры планет-гигантов отношение содержания водорода и гелия, которые вместе составляют 99% массы Юпитера (82 и 17%, соответственно). Исследована также структура большого Красного Пятна и открыты аналогичные образования меньшего масштаба, которые движутся независимо друг от друга, что подтверждает предположение об их вихревой природе. Магнитосфера Юпитера



простирается по крайней мере до 10 его радиусов, магнитное поле имеет дипольный характер, ось диполя не проходит через центр планеты и наклонена к оси вращения примерно на 10° .

Т. Оуэн (США) привел оценки содержания метана в спектрах наиболее отдаленных планет и крупных спутников, полученные наземными методами. Метан обнаружен в больших ко-

Внутреннее строение Луны. Схема составлена Н. Токсоцем по данным сейсмических измерений

Сейсмический разрез Луны. Продольные сейсмические волны V_p проходят до лунного центра, поперечные волны V_s поглощаются в полурасплавленной астеносфере Луны

Кандидат физико-математических наук
А. И. ЕРЕМЕЕВА

Петербургский астрофизик XVIII века

личествах на Титане, Уране и Нептуне; на Тритоне и Плутоне он пока не найден. Оказалось, что Уран и Нептун беднее водородом, чем Юпитер, по крайней мере в 30 раз.

В. И. Мороз (СССР) посвятил свое выступление исследованию Марса советскими автоматическими станциями «Марс-4, -5, -6 и -7». Большой интерес вызвало сообщение об открытии в атмосфере планеты около 30% примеси некоего инертного газа, по всей вероятности, аргона. («Земля и Вселенная», № 5, 1974 г., стр. 7—11.— Ред.) Это свидетельствует о процессе дегазации недр Марса. Возможно, в прошлом Марс имел более плотную атмосферу, чем сейчас. Не исключено также, что на планете были условия для существования воды в жидкой фазе. Ш. Ш. Долгинов с соавторами (СССР) подтвердили свои прежние выводы о том, что у Марса есть собственное магнитное поле. («Земля и Вселенная», № 5, 1973 г., стр. 25—29.— Ред.)

На последнем заседании конференции демонстрировался фильм, составленный из нескольких тысяч мозаичных фотографий облачного слоя Венеры, снятых «Маринером-10» в феврале 1974 года. Фильм наглядно показал глобальную вихревую структуру атмосферы Венеры, скорости течений в которой достигают 100 м/сек. Период вращения верхней атмосферы относительно оси планеты четверо суток.

Закрывая конференцию, академик А. П. Виноградов отметил, что мы переживаем новую эпоху, когда вырабатывается новое мировоззрение на основе познания Солнечной системы.

Фото О. Соборнова

Лет шесть тому назад в Ленинграде мне попалась небольшая (56 страниц) анонимная книжка «Рассуждение о строении мира», написанная в 1759 году и вышедшая в Петербурге двумя изданиями 1770 и 1783 годов. С первых страниц поражала необычная для научно-популярной брошюры оригинальность многих идей, полемическая заостренность и страстность изложения. Позднее выяснилось, что очерк был составлен на основе знаменитой книги Б. Фонтенеля «Разговоры о множестве миров» (1686 г.). Это — блестящий по форме перевод тяжеловесной (по крайней мере в русском варианте А. Кантемира, 1740 и 1761 гг.) научно-популярной беллетристики конца XVII века на более современный литературный и научный язык нового XVIII века. От оригинала он сильно отличался и по существу. Вместо вихревого картезианского мира у Фонтенеля, читатель видит реальную ньютоновскую Вселенную, впервые сталкивается с детальным моделированием физических процессов на небесных телах. Умозрительная гипотеза о населенности небесных тел подкрепляется удивительным открытием живучести организмов в опытах английского биолога А. Трембли (1744 г.).

Более точно описание и самих небесных тел. Солнце «покрыто пламенным Океаном, испускающим из себя дым и пары, которые земные жители усматривают иногда под видом черных пятен». Кометы («комиты») не случайные гипотетические планеты из «чужих» планетных вихрей, а их хвосты — не оптическое явление. Это — реальные члены Солнечной системы, но обычно с чрезвы-

чайно вытянутыми и потому подверженным сильным возмущениям орбитами. Особенно впечатляет яркая картина предполагаемых физических изменений, происходящих с кометой на ее пути к Солнцу: «Из ужасной пустоты, где мрак и смерть беспрепятственно от неисчетных тысяч лет господствуют, спешит сия комита к неизмеримому огненному Океану. Она вся объята стужено, совсем от мраза окаменела. Сила огня разрешает вскоре крепчайшие сии хлада узы, вдруг на всей поверхности оная снедающий распространяется пожар. Моря иссякают, горы воздымляются. Раскаленным курением наполнившийся воздушный около ея круг уже кипит и незапно расседается. Теперь уже сгущенный дым, из разоренного сего мира исходящий, непреткновенно льется в бездонную глубину, теперь распространяется ужасный хвост более, нежели на два миллиона дневного пути над неизмеримую пропасть».

А вот уже новые соображения о возможной роли комет. Быть может, Солнце рано или поздно «истощило бы... свои богатства, хотя оная суть и неизмеримы», если бы кометы, падая в конце концов на него и сгорая в нем, «не подавали бы вечному сему огню новой пищи». Лишь столетие спустя гипотеза о подобной роли метеоритов была развита Р. Майером. Далее автор приводит новейшие и уже близкие к действительности оценки межзвездных расстояний — 8 млн. млн. миль ($56 \cdot 10^{12}$ км, или около 6 световых лет), опираясь на последние данные Дж. Брэдлея о верхней границе звездных параллаксов (1748 г.). Сравнивая представле-



ЛЮДИ
НАУКИ

ния о масштабах материального мира у древних и современные ему, он отмечает колоссальное расширение знаний, но предостерегает от самонадеянности: «...однако мы еще ни мало не приблизились к концу природы».

С некоторым сожалением перевернула я последнюю страницу. Было ясно, что книгу написал не просто естествоиспытатель, но прогрессивно мыслящий философ (несмотря на традиционные ссылки на божественную целесообразность природы), с широким кругозором и знаниями, богатым воображением. Невольно приходил на ум образ Ломоносова... Но автором яркого космического этюда был тридцатипятилетний петербургский академик, всего два года как приглашенный в Россию на место трагически погибшего физика Г. В. Рихмана — Франц Ульрих Теодор Эпинус.

До сих пор в истории Петербургской академии имя физика Эпинуса связывали прежде всего с враждебным отношением его к Ломоносову и другим русским ученым. Однако более детальное знакомство с малоизвестными научно-популярными и научными публикациями Эпинуса по-новому освещает эту личность. Начатое Петром I широкое привлечение иностранных ученых неизбежно привнесло на русскую почву чужеземный, главным образом немецкий стиль работы, порождало порою оправданные опасения корыстолюбия и равнодушия иностранцев к нуждам России и приводило к резким столкновениям внутри академии между «немцами», в том числе Эпинусом, и русскими во главе с М. В. Ломоносовым. Но для истории науки и истории деятельности отдельных лиц важны не личные

отношения и даже не взаимоотношения культур, сложные и представляющие самостоятельный интерес, а реальный вклад ученого в науку.

Франц Ульрих Теодор Эпинус родился в Германии (г. Росток) 13 декабря 1724 года, начало которого вошло в русскую историю как дата основания Петром I Академии наук в России. Приглашение в нее считалось большой честью. Молодого берлинского профессора астрономии, имевшего еще и степень доктора медицины, рекомендовал знаменитый Леонард Эйлер. Приняв русское подданство, Эпинус активно работал в России и как ученый, и как автор новой системы образования в России, и как дипломат. Его научные достижения объективно способствовали росту славы Петербургской Академии наук, а публикация многих работ с одновременным русским переводом, иногда за свой счет,— пропаганде знаний среди русских читателей.

Главный труд Эпинуса «Опыт теории электричества и магнетизма» (1759 г.) принес ему мировую известность. Другие исследования, в том числе по астрономии, оказались в тени. К тому же с 1765 года он был отвлечен Екатериной II от систематических научных занятий. Но астрономия была предметом его постоянного интереса.

В 1757—1788 годах были изданы восемь его астрономических сочинений (шесть из них на русском языке или с одновременным русским переводом). Почти в каждом он ставил и пытался решать новые по существу астрофизические задачи. Внимание его привлекали наиболее быстро изменяющиеся тела — кометы. Остроумно

высмеивая астрологию, в том числе связанную с кометами, Эпинус серьезно рассматривал проблему последствий реального столкновения кометы с Землей, что, по его мнению, могло произойти из-за неупорядоченности кометных орбит, в отличие от планетных. Он отрицал опасность встречи с хвостом кометы, поскольку сквозь него просвечивали даже слабые звезды, свидетельствуя о крайней разреженности его вещества. Что касается прямого столкновения с головой кометы, то уже в 1757 году Эпинус предполагал, что в этом случае жесткий удар тел может быть смягчен их атмосферными. При некоторых относительных скоростях и достаточной упругости атмосфер комета и вовсе может не достигнуть поверхности Земли, а будет отброшена силой сжавшегося воздуха. (Не напоминает ли это современные представления о Тунгусском явлении 1908 года?)

В 1761 году Эпинус в «Рассуждении о разделении теплоты по земному шару» вновь обращается к астрофизической планетологической проблеме. Он высказывает смелую для эпохи господства теории теплорода (сторонником которой он был) мысль, что от перегрева Землю предохраняет отток части получаемой от Солнца теплоты в пустое космическое пространство. Эпинус попытался также объяснить более низкую среднюю температуру восточного и южного полушарий Земли. Причину сильного охлаждения восточного полушария он видел в том, что здесь преобладают материки, тогда как в западном полушарии — моря и океаны. Из-за постоянного волнения их верхние, охлажденные воздухом слои и лежа-



щие под ними теплые перемешиваются, и поверхность воды зимой оказывается теплее окружающего воздуха. Эта идея позволила Эпинусу сделать одно замечательное предсказание.

Объяснив большую охлажденность южного полушария прежде всего вековым астрономическим эффектом, большей продолжительностью весенне-летнего периода в северном полушарии (189,5 и 175,5 дней, соответственно), он обратил внимание на дополнительное утепляющее действие открытого Северного Полярного океана (существование его, как писал Эпинус, подтверждалось уже тем, что мореплаватели свободно проходили в 7° от северного полюса*). В южном же полушарии сплошные льды останавливали суда на гораздо более низких широтах. Эпинус пред-

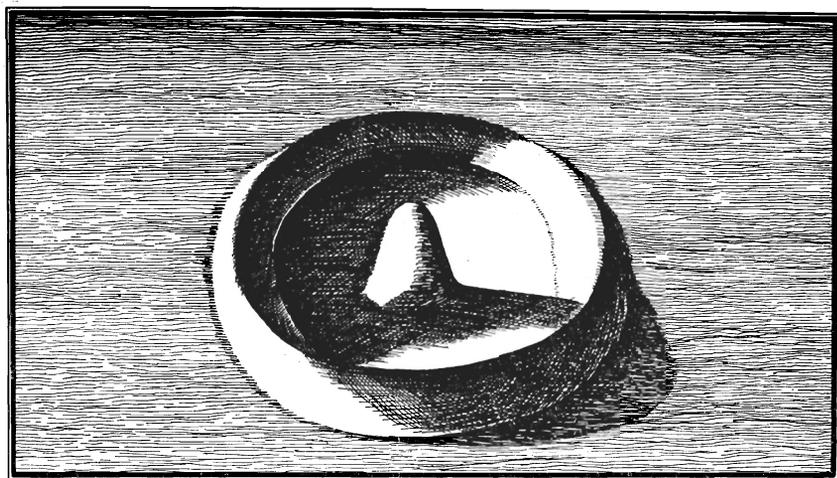
положил, что «земли, лежащие около Южного полюса (полюса — А. Е.), до которых мореплавателям доехать еще не удалось, составляют матерую землю». «Ежели сие правда,— добавляет он,— то отваживаюсь утверждать, что из сего непременно следовать должно, что на южной половине шара к полу зимою стуже гораздо большей быть надлежит, нежели на северном земном полушаре. Но я охотно сии мои догадки, справедливы ли оне или нет, оставляю потомкам на рассмотрение, ежели им со временем удастся так близко к Южному приехать полу, что о состоянии оных земель впродолжение можно будет обстоятельнейшая иметь известия». Эти пророческие слова были сказаны за 13 лет до первого плавания вокруг Антарктиды Дж. Кука и за 60 лет до экспедиции русских мореплавателей Ф. Ф. Беллинсгаузена и М. П. Лазарева, с именами которых связывают открытие Антарктиды.

■
«Горячая долина» в окрестностях Везувия (W. Hamilton «Campi Phlegrae», 1776 г.)

Наконец, Эпинусу принадлежит первое детальное исследование происхождения характерных кольцевых гор — цирков — на Луне. (На эту работу недавно обратил внимание австралийский историк науки Р. Хоум, поскольку она оказалась забытой в истории астрономии. См., например, «Вулканизм и тектоника Луны». М., «Наука», 1974 г.)

В 1778 году Эпинус получил из Англии ахроматический телескоп с тройным объективом и прежде всего направил его на Луну. Тогда же он познакомился с богато иллюстрированным описанием последнего извержения Везувия в 1766 году, составленным английским любителем естествознания В. Гамильтоном («Campi Phlegrae», 1776 г.). На 54 красочных картинках было изображено не только развитие извержения, но и необычные окрестности Везувия со множеством круглых впадин — как бы дополнительных кратеров, заполненных водой (отсюда возникло и название сочинения «Горячая долина»). Эпинус давно интересовался результатами изучения земного шара, процессов, формирующих его поверхность. В обширных примечаниях-ком-

* Даже в конце XIX века некоторые ученые допускали существование северного полярного материка или большого острова. Окончательно это опроверг Ф. Нансен в своей Трансарктической экспедиции (1893—1896 гг.).



ментариях ко второму изданию «Руководства к географии...» Г. Ф. Крафта (1764 г.) он присоединялся к новой тогда теории, утверждавшей созидательную, а не разрушительную, как думали прежде, роль вулканов в горообразовании. Эту теорию подтверждал и Гамильтон. Эпинус увидел лунную поверхность глазами, вооруженными вдвойне, — телескопом и новой теорией вулканизма. И не мудрено, что произошло столь характерное в науке внезапное (но не случайное!) озарение: «...Мнение о происхождении образа оной (поверхности Луны — А. Е.), может быть также от внутреннего огня, тогда же вдруг во мне родилось», — писал он. Не обнаружив, что кто-нибудь до него серьезно рассмотрел бы эту идею, Эпинус продолжил тщательные исследования и в 1781 году опубликовал (на немецком и частично на русском языках) сочинение «О строении поверхности Луны и о происхождении неровностей оной от внутреннего огня». В этом сочинении впервые после от-

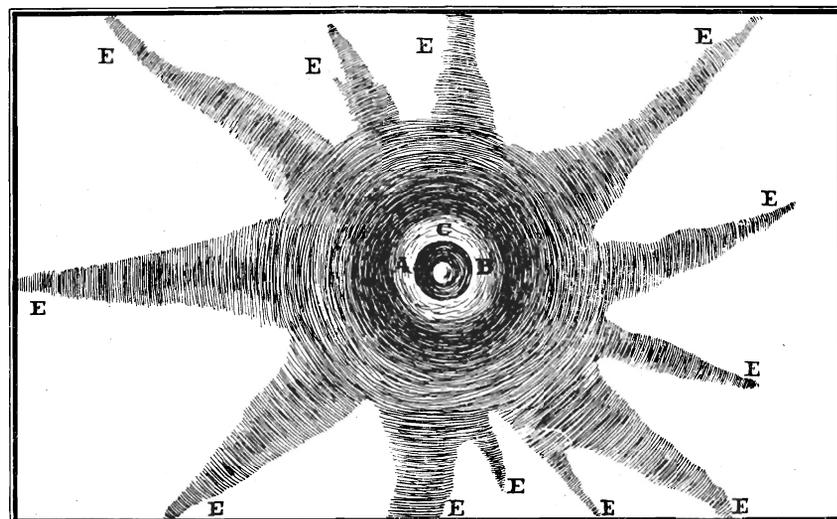
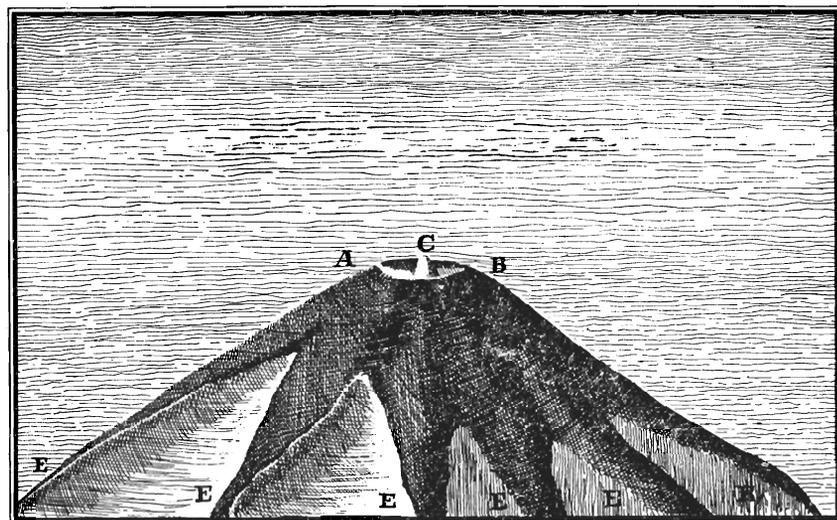


Рисунок лунного кратера — цирка

Рисунок земного вулкана, возможно, Этны

Тот же вулкан, вид сверху. Буквами отмечены одинаковые детали на этом и предыдущем рисунках. (Иллюстрации взяты из русской публикации работы Ф. У. Т. Эпинуса «О строении поверхности Луны и о происхождении неровностей оной от внутреннего огня», 1781 г.)



ЛЮДИ
НАУКИ

крытия Галилеем принципиального сходства Земли и Луны строение небесного тела детально сравнивалось с земной поверхностью.

Наиболее существенным отличием Луны представлялась обычно странная кольцевая форма большинства лунных гор. Но сопоставление их с вулканическими районами Земли (например, с Везувием и его окрестностями) убедило Эпинуса в обратном. Лунные кратеры с лучами (Тихо, Коперник и др.), по его мнению, походили на Этну, особенно, если взглянуть на нее мысленно с большой высоты*. Вместе с тем вулканизм на Луне Эпинус считал явлением несравненно более грандиозным, чем на Земле. Устойчивость лунных вулканических структур, в отличие от быстро разрушаемых земных, он объяснял отсутствием на Луне атмосферы с ее ветрами и осадками. Но главное, в разнообразии форм и размеров лунных цирков Эпинус увидел стадии их развития и заключил, что на Луне не только существовала некогда (о чем уже догадывались), но и продолжается в настоящее время вулканическая деятельность.

Не получив по ряду причин сколько-нибудь значительной известности за рубежом, работа Эпинуса о лунных кратерах привлекла внимание петербургских академиков (особенно А. И. Лекселя и П. С. Палласа) и через них

стимулировала появление аналогичного сочинения в Германии. Ставшая в дальнейшем временно общепризнанной (после наблюдений В. Гершеля, 1783—1787 гг.) теория лунного вулканизма породила одну из первых теорий космического происхождения метеоритов. Но основное достоинство исследования Эпинуса в том, что он впервые серьезно обосновал новую предпосылку в изучении других планет — их геологическое, а следовательно, и эволюционное родство с Землей.

В 1784 году в ответном письме к Палласу, сообщившему о наблюдениях В. Гершеля, Эпинус писал, что в случае достоверного открытия вулкана на Луне его следовало бы назвать именем Р. Гука, который раньше всех (1665 г.) высказал идею вулканической природы лунных кратеров (Эпинус пришел к ней независимо). На карте Луны есть кратер Гука. Но, к сожалению, имени самого Эпинуса на ней до сих пор нет.

Последние годы жизни после выхода в отставку в 1798 году Франц Ульрих Теодор Эпинус провел в Дерпте (Тарту). Он умер 22 августа 1802 года.

* Небезынтересно, что Гевелий, который в своей «Селенографии» (1647 г.) ввел географические наименования лунных образований, дал наиболее крупным кратерам имена: Везувий, Синай (Тихо), Этна (Коперник).

Е. М. ЗИНГЕР

Владимир Александрович Русанов

(К 100-ЛЕТИЮ
СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ)

Недолгая, но яркая жизнь этого замечательного человека, его многогранная кипучая деятельность и научный подвиг исследователя до сих пор волнуют людей, занимающихся изучением Арктики.

Бесстрашный полярный путешественник и талантливый ученый Владимир Александрович Русанов родился 3 ноября 1875 года в городе Орле. С юношеских лет Владимир Русанов увлекся революционными идеями и не раз подвергался преследованию царской полиции. За участие в студенческих «беспорядках» он был лишен права посещать лекции на естественном факультете Киевского университета и выслан в Орел. Вскоре юного Русанова заключили в одиночную камеру по делу социал-демократического «Рабочего Союза».

Находясь в орловской тюрьме, Русанов продолжал заниматься самообразованием, много читал. Особым вниманием у него пользовалась книга знаменитого норвежского полярного исследователя Фритьофа Нансена «Среди льдов и во мраке полярной ночи», рассказывающая о ледовом дрейфе «Фрама». Видимо, именно эта книга пробудила у молодого любознательного человека жгучий интерес к изучению Арктики и будущим полярным путешествиям.

В 1899 году Русанов был освобожден под гласный надзор полиции. Несмотря на это, он продолжал заниматься революционной деятельностью и подвергался новым арестам. Через два года его выслали на основании «высочайшего постановления» на север Вологодской губернии — в город Усть-Усольск. Незадолго перед этим Русанов женился на Марии Була-

товой — незаурядной девушке, обладавшей редкими душевными качествами. Она отправилась за мужем в ссылку.

В Усть-Усольске Русанов работал статистиком в земской управе, где ему представилась удобная возможность исследовать очень большой и малоизученный Печорский край. Во время своих поездок он делал интересные записи быта, нравов и экономики народа коми (зырян). Эти попутные меткие наблюдения легли в основу опубликованной в 1905 году монографии «Зыряне». Помимо этого, он разработал и предложил вологодскому земству проект создания Камско-Печорского водного пути. Земство отвергло проект. (Через четверть века советские инженеры, занимавшиеся гидротехническими изысканиями в этом районе, подтвердили правильность научных выводов В. А. Русанова.)

В 1903 году срок ссылки истек, но Русанову запретили проживать во всех крупных городах России и продолжать учебу в университете. Чтобы завершить образование, Русанов с большим трудом добивается разрешения на выезд за границу. Осенью того же года он с женой отправился в Париж, где поступил на естественное отделение Сорбонского университета.

Русанов выбрал себе романтическую специальность геолога. Он много и упорно работал, зарекомендовал себя с лучшей стороны во время изучения потухших вулканов Франции и извержения Везувия в 1906 году. Его научные отчеты произвели сильное впечатление на профессоров Сорбонны. Благодаря этому Русанов



прочно закрепил за собой одно из первых мест в рядах студенчества университета. Блестящее окончание теоретического курса в 1907 году дало Владимиру Русанову право на защиту докторской диссертации. Ученый решил собрать материал для этой работы на своей родине. Его интересовали острова Новой Земли, где геология была в то время почти не изучена, а полезные ископаемые не разведаны. В Россию он возвратился один — его жена умерла в 1905 году в Париже. Весной 1907 года Русанов прибыл в Архангельск. Местные власти оказали ему содействие в подготовке Новоземельской экспедиции.

Первая поездка В. А. Русанова в Арктику в 1907 году имела решающее значение для всей его дальнейшей научной деятельности. В течение 1907—1911 годов ученый ежегодно высаживался на Новой Земле, участвуя в различных полярных экспедициях. Во время первой поездки на небольшом карбасе, а затем и пешком геолог исследовал пролив Маточкин Шар, разделяющий Новую Землю на два крупных острова — Северный и Южный.

Успешно проведенные Русановым самостоятельные исследования были высоко оценены учеными Сорбон-

В. А. Русанов перед отъездом в последнюю Шпицбергенскую экспедицию. Орел. 1912 год

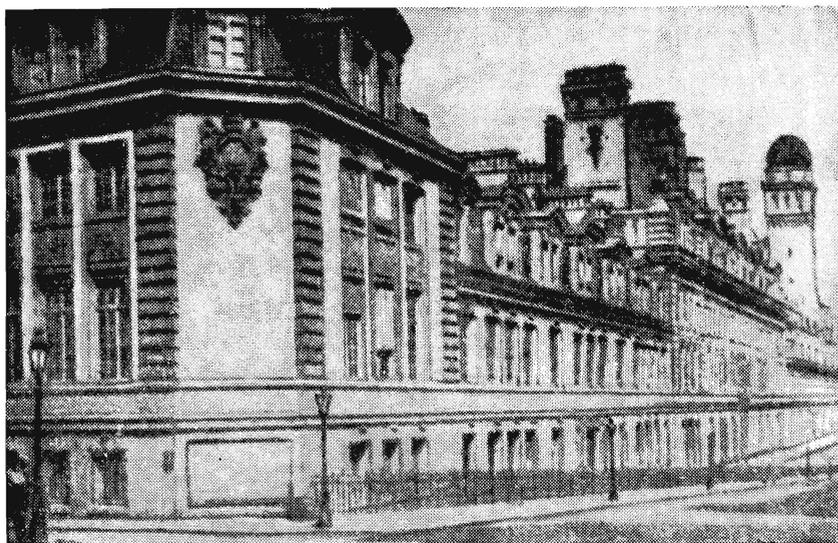
ны. Поэтому, когда французской полярной экспедиции, отправлявшейся в 1908 году на Новую Землю под начальством Шарля Бенара, потребовался геолог, выбор пал на Русанова. Это предложение предоставляло ему благоприятную возможность продолжить сбор геологических материалов для диссертации.

Экспедицию, отправившуюся на парусном судне «Жак Картье», Русанов догнал уже в бухте Белушьей (Новая Земля). Отсюда исследователь направился в становище Маточкин Шар, затем на карбасе прошел в Карское море и поднялся к северу до залива Незнаемого. Здесь Русанов обнаружил неизвестное до того ископаемое «кароцерос».

С целью более подробного ознакомления с внутренними районами Новой Земли он предпринял трудный пеший переход от залива Незнаемого до Крестовой губы. Так, впервые в истории был пройден Северный остров по 74° с. ш. и также впервые удалось изучить внутреннюю часть ледникового покрова. Путь по ледникам оказался невероятно тяжелым. Не выдержав его, французские спутники Русанова отстали и вернулись на базу — он один закончил маршрут, достигнув Баренцева моря.

В экспедиции Русанов написал обширный научный отчет о своих исследованиях на Новой Земле. Получив этот отчет, начальник экспедиции Ш. Бенар поместил его без всяких изменений и без указания имени составителя в двух своих книгах о Новой Земле.

В 1909 году в одном из еженедельных отчетов Французской Академии наук была опубликована интересная



статья В. А. Русанова «О силуре Новой Земли», в которой он изложил свои выводы о тесной связи между Северным Ледовитым океаном и исчезнувшим морем центральной Европы в конце верхнесилурийского периода. По представлению совета Музея истории естественных наук в Париже заслуги русского исследователя были отмечены наградой — «Академические пальмы».

Работы в двух Новоземельских экспедициях принесли Русанову репутацию талантливого геолога и отважно-го исследователя. В 1909 году ему предложили принять участие в правительственной экспедиции на Новую Землю в качестве геолога. Фактически же эта экспедиция работала под руководством Русанова и по его программе. Главная база располагалась в Крестовой губе. Ежедневно уходил отсюда геолог в глубь острова. В результате его разведок был обнаружен каменный уголь, мрамор, диабаз, аспидный камень и другие полезные ископаемые. Во время нового перехода через Северный остров, от Крестовой губы до залива Незнаемо-

го, были получены интересные геологические результаты. Русанов в сопровождении двух проводников-ненцев совершил смелый переход на утлой шлюпке от губы Крестовой до полуострова Адмиралтейства. На этом пути он обследовал все побережье, чтобы выяснить условия плавания вдоль западного побережья Новой Земли.

Вернувшись осенью в Архангельск, Русанов выступил с лекциями и статьями, посвященными судьбе Новой Земли. «Печальная картина на русской земле,— замечает он.— Там, где некогда в течение столетий промышляли наши русские отважные поморы, теперь спокойно живут и легко богатеют норвежцы».

Зиму 1909/10 года В. А. Русанов снова провел за работой в Париже, а весной 1910 года к нему обратился губернатор Архангельска И. В. Сосновский с просьбой возглавить новую экспедицию по обследованию северной части Новой Земли. Участие в Новоземельских экспедициях необычайно подняло научный и общественный авторитет Русанова. Бывший политический ссыльный получил, наконец, заслуженное признание и известность у себя на родине как опытный исследователь-геолог. И действительно, в то время в Европе не было никого, кто

бы так хорошо знал природу Новой Земли, как он.

Каждая встреча с этим интереснейшим краем доставляла ученому огромную радость. Помимо научных изысканий, пытливого исследователя Арктики все больше и больше захватывала проблема освоения Северного морского пути. Русанов пишет статьи и заметки, где выдвигает проект установления надежного судоходства между Архангельском и Сибирью.

Из печати выходит работа В. А. Русанова «Возможно ли срочное судоходство между Архангельском и Сибирью через Ледовитый океан?» В этой статье автор излагает свой план сквозного трансарктического плавания. «До сих пор,— пишет он,— с непоколебимым и непонятным упорством стараются пройти в Сибирь... возможно южнее: через Югорский Шар, через Карские Ворота, в более редких случаях через Маточкин Шар. Я предлагаю как раз обратное. Я предлагаю огибать Новую Землю как можно севернее...» И дальше: «Нужно иметь в виду, что направление течений северной части Новой Земли до сих пор остается необследованным и что мои предположения на этот счет являются гипотетическими. Вот почему выяснение этого капитального вопроса, по моему мнению, должно составить самую главную задачу Новоземельской экспедиции в 1910 году. Эта экспедиция должна будет окончательно выяснить вопрос о том, насколько удобен предлагаемый мною торговый путь в Сибирь».

Четвертая по счету русановская экспедиция на Новую Землю отправилась из Архангельска 12 июля 1910

Сорбонна, где с 1903 по 1908 годы на естественном факультете учился В. А. Русанов



года на парусно-моторном судне «Дмитрий Солунский». На его борту — пять научных сотрудников и десять человек экипажа во главе с видным полярным капитаном Г. И. Поспеловым. На небольшом судне (водоизмещение 180 т), малопригодном для плавания во льдах, Русанов надеялся выяснить вопрос о возможности обхода Новой Земли с севера, чтобы проложить путь дальнейшего следования на восток — в Сибирь.

20 июля у западного входа в Маточкин Шар на судно был взят коренной обитатель Новой Земли ненец Илья (Тыко) Вылка — незаменимый помощник Русанова в новоземельских походах, которого он называл «живой картой Новой Земли». 16 августа «Дмитрий Солунский» достиг мыса Желания. От северной оконечности острова он направился вдоль восточного берега на юг и 31 августа снова оказался в Баренцевом море, пройдя через пролив Маточкин Шар с востока на запад. Этот выдающийся поход принес В. А. Русанову заслуженную славу. Плавание, совершенное им вокруг Северного острова Новой Земли, было первым исторически доказанным. Через 150 лет после похода Саввы Лошкина — известного помора-кормщика зверобойного судна — Русанову удалось совершить то, чего не смогли добиться многие его предшественники, в том числе Ф. П. Литке и П. К. Пахтусов.

В ходе экспедиции была проведена опись западного берега от полуострова Адмиралтейства до Архангельской губы (под 76° с. ш.) и выяснено, что «остров» Панкратьева — на самом деле полуостров. Кроме того собраны многие новые материалы о при-

роде Новой Земли, а также обнаружено пять постоянных норвежских промысловых становищ...

Возвратившись на родину, Русанов возобновил свою кипучую общественную деятельность, связанную с увлеченным чтением лекций и докладов, а также с публикацией статей и заметок, посвященных изучению Крайнего Севера страны. В Петербурге из печати вышел один из наиболее значительных трудов исследователя «К вопросу о Северном морском пути».

Зимой Русанов продолжал усиленно работать над диссертацией в Париже. Летом 1911 года Главное управление земледелия и землеустройства России организовало третью Новоземельскую экспедицию, которую вновь возглавил Русанов.

В пятый раз ученый отправился к Новой Земле на совсем небольшой парусно-моторной шхуне «Полярной» (водоизмещение около 5 т). В экспедиции участвовало всего пять человек. На этом крошечном суденышке Русанов обошел Южный остров Новой Земли, завершив плавание вокруг всей Новой Земли. На пути удалось обследовать впервые многие бухты и заливы, провести метеорологические, гидрографические и другие исследования, изучить поверхностные течения Баренцева и Карского морей.

Геологические труды, созданные Русановым на основании его пяти экспедиционных поездок на Новую Землю, значительно расширили научные знания об этом крупнейшем острове нашей страны и вслед за работами академика Ф. Н. Чернышева внесли серьезный вклад в геологию Арктики. Значительный интерес представили

также гидрографические, топографические, гидрологические, метеорологические, гляциологические, ботанические, палеонтологические, орнитологические, энтомологические и другие наблюдения. Вместе с тем, Русанов отмечал, что необходимо продолжить дальнейшее изучение Новой Земли, значительная территория которой оставалась недостаточно обследованной или вовсе неисследованной.

В декабре 1911 года В. А. Русанову поручают составить общий план и задачи новой экспедиции, и вскоре появляется его записка «О желательности продолжения обследования Новой Земли в 1912 году и, в особенности, обследования губы Саханыхи» (южное побережье Новой Земли). Предполагалось уделить основное внимание тщательным геологическим исследованиям и поиску полезных ископаемых.

Осуществить задуманный план Русанову не удалось. Его направляют во главе экспедиции на «ничейный» в то время полярный архипелаг Шпицберген с целью обследовать природные богатства и выявить новые месторождения каменного угля. Бесспорно, этому новому ответственному назначению Русанова способствовали его блестящие успехи в Новоземельских экспедициях, его богатый опыт полярного геолога, не давшего неудач в своих сложнейших и очень опасных походах. На совещании об организации Шпицбергенской экспедиции И. В. Сосновский охарактеризовал Русанова как «человека выдающихся нравственных качеств, смелости и увлечения делом, а также большой расчетливости в средствах при снаряжении экспедиции»...

Для новой экспедиции на Шпицберген Русанов приобретает в Норвегии небольшое зверобойное парусно-моторное судно «Геркулес» (водоизмещение около 64 т), обладающее хорошими мореходными качествами и приспособленное для плавания во льдах. Среди четырнадцати участников экспедиции — капитан и океанограф А. С. Кучин (участник Антарктической экспедиции Руала Амундсена на «Фраме» в 1910—1911 годах), горный инженер Р. Л. Самойлович, зоолог З. Ф. Сватош, геолог и врач Жюльетта Жан.

9 июля 1912 года «Геркулес» покинул Кольский залив и взял курс к берегам Шпицбергена. На седьмой день экспедиция высадилась в заливе Бельсунн (остров Западный Шпицберген).

Сначала Русанов провел обследование средней и южной частей острова, а затем пересек его центральную часть. После этого он отправился с двумя матросами пешком по маршруту из Бельсунна на восточное побережье, и обратно. Двигаясь по леднику, Русанов едва не погиб, провалившись в одну из глубоких трещин, и лишь каким-то чудом удержался на выступе многометровой расщелины.

Из Бельсунна «Геркулес» взял курс на север — в крупнейший залив архипелага Ис-фьорд. За короткое время Русанов обследовал почти все западное побережье Шпицбергена. К началу августа экспедиция закончила выполнение официальной программы. Общая длина пешеходных маршрутов составила 1000 км. 28 заявочных столбов, поставленных Русановым, крепили за Россией право на разработку угля на этих участках, при этом было обнаружено четыре богатых место-



рождения. Экспедиция собрала палеонтологические, зоологические и ботанические коллекции, а во время плавания провела океанографические исследования.

Незадолго до ухода со Шпицбергена Русанов отправил трех участников экспедиции в Россию на попутном пароходе. Можно было возвращаться домой. Судно, имея 11 человек на борту, покинуло архипелаг. С тех пор их больше никто не видел. Куда исчез «Геркулес»? Где и когда разыгралась эта полярная трагедия? Как выяснилось позже, Русанов направился не на юг, домой, где его ждали до ноября, а решил идти к Новой Земле, чтобы предпринять сквозное плавание по Северному морскому пути с запада на восток. Для этой цели он заранее припас продовольствия и снаряжения более чем на год. Вот почему заключительную часть своего экспедиционного плана Русанов назвал «Шпицберген как исходный пункт для будущего дела», где говорилось, что «...имея в руках судно вышенамеченного типа, я бы смотрел на обследование Шпицбергена, как на небольшую первую пробу. С таким судном можно будет широко осветить, быстро двинуть вперед вопрос о Великом Северном морском пути в Сибирь и

Жюльетта Жан, невеста Русанова. Участница Шпицбергенской экспедиции, разделившая трагическую участь смельчаков, предпринявших переход Северным морским путем



пройти Сибирским морем из Атлантического в Тихий океан».

Последнее известие, сообщенное экспедицией, датировано 18 августа 1912 года: «Юг Шпицбергена, остров Надежды. Окружены льдами, занимались гидрографией. Штормом отнесены южнее Маточкина Шара. Иду к северо-западной оконечности Новой Земли, отсюда на восток. Если погибнет * судно, направляюсь к ближайшим по пути островам Уединения, Новосибирским, Врангеля. Запасов на год. Все здоровы». Из текста этой телеграммы, оставленной в Маточкином Шаре для отправки с оказией на материк, видно, что Русанов решил осуществить свой замысел — пройти Северным морским путем с запада на восток. На сей раз его мечте и плану не суждено было свершиться — «Геркулес» исчез в ледяных просторах Арктики. Место и время трагедии остались невыясненными.

Следы «Геркулеса» обнаружили совершенно неожиданно лишь через 22 года, когда советские гидрографы, работавшие на небольшом островке близ западного побережья Таймыра, нашли столб с надписью «Геркулес

* По-видимому, здесь случайно пропущено слово «не». По смыслу следует читать: «Если не погибнет судно, направляюсь...»

Александр Степанович Кучин — капитан «Геркулеса»



1913» и остатки нарты. Еще через два года на одном из островов в шхерах Минина (Пясинский залив) гидрографы обнаружили личные вещи двух матросов «Геркулеса», остатки палатки, листок бумаги с заметками Русанова... Прошло еще 11 лет, и в 1947 году на северо-восточном побережье острова Большевик (Северная Земля) был найден лагерь неизвестного полярника-морехода. Обнаруженная стоянка дала повод для интересной, но непроверенной гипотезы об открытии архипелага (с запада) экспедицией Русанова в 1912 или 1913 году. По всем данным, этот район до того времени никем не посещался. Северная Земля официально была открыта 3 сентября 1913 года («Земля и Вселенная», № 4, 1973 г., стр. 50—56.) Гидрографической экспедицией на судах «Таймыр» и «Вайгач».

Ученый-энтузиаст В. А. Русанов отдал жизнь, пробивая Великую морскую «дорогу» вдоль северного побережья нашей страны. После Октябрьской революции полярники-моряки, летчики, ученые, работники метеостанций превратили страстную мечту Русанова в реальную действительность, а его труды, наконец, получили достойную оценку.

Имя выдающегося полярного исследователя-патриота, увековеченное во многих географических названиях (полуостров, пролив, залив, бухта, гора, долина, мыс, ручей на Новой Земле и Шпицбергене) и в наименовании кораблей, улиц, напоминает нам и сегодня о больших заслугах Владимира Александровича Русанова в изучении Арктики.

Фотографии любезно предоставлены сотрудником краеведческого музея г. Орла
А. Н. Устинских

«СНЕЖНЫЙ ЛЕД»

При обильных снегопадах на реке или водохранилище накапливается столько снега, что вес его становится больше плавучести льда и снежно-ледяной покров оказывается в неустойчивом состоянии. Если при этом на поверхности льда есть отверстия, то вода начинает через них просачиваться, выливаться на лед и насыщать нижние слои снега вкруг — образуется слой снежной каши. При слабых морозах значительные участки льда затапливаются и устанавливается гидростатическое равновесие снежно-ледяного покрова. После промерзания снежной каши образуется «снежный лед». В нем содержится много воздуха, поэтому он мутный и менее прочный, чем кристаллический.

В тех районах нашей страны, где снега выпадает много, создаются условия для затопления льда и образования затем слоя снежного льда. Снежный лед на водных бассейнах центра и севера Европейской территории СССР образуется зачастую несколько раз в зиму. Это явление имеет неприятные последствия, так как высота слоя затопления часто достигает нескольких десятков сантиметров, что резко ухудшает условия передвижения транспорта и выводит из строя аэродромы, размещенные на льду. О подобных неудобствах передвижения по льду писал еще в прошлом веке И. А. Гончаров в своем произведении «Фрегат Паллада». Проезжая через Сибирь, он узнал, что по реке Лене дороги нет, «... когда выпадают глубокие снега,

аршина на полтора, и когда поступает снизу от тяжести снега вода из-под льда, которую здесь называют черной водой».

Как же поступает «черная вода»? Прежде всего по трещинам, образующимся в еще тонком льде из-за понижения температуры ледяного покрова, отчего лед, по-видимому, делается более хрупким. Это бывает, например, зимой после захода солнца в безоблачную погоду или при резком похолодании. Порой трещины образуются от удара пешней, при движении транспорта и людей по льду. Однако исследования Гидрометцентра СССР на подмосковных водохранилищах и реке Оке показали, что когда снега на льду много, трещины при перегрузке образуются редко. Иное дело — бурные лунки, проруби и т. д.

Доктор технических наук В. В. Питрович поставил специальные опыты. На Клязьминском и Рыбинском водохранилищах бурились лунки, измерялась высота снежного покрова и воды на льду, определялась граница распространения воды над снегом. Выяснилось, что при благоприятных условиях площадь зоны затопления от одной лунки, по-видимому, может достигать нескольких гектаров. Длительное поступление воды из лунки при перегрузке льда снегом вызывает размыв ледяного покрова около нее. Иной раз он так велик, что возникают опасные места для пешеходов и транспорта, в то время как вдали от лунки ледяной покров может иметь максимальную толщину.

Снежный лед на Клязьминском водохранилище, где обычно собирается много любителей подледного рыболовства, в отдельные годы к началу весеннего таяния имел толщину более 30 см, что составляло свыше 40% общей толщины льда. К этому времени снега на льду оставалось немного — он был израсходован на образование снежного льда.

«Метеорология и гидрология», 7, 1974 г.



Доктор физико-математических наук
Р. В. ОЗМИДОВ.

От Северного тропика до Южного полярного круга

15 декабря 1973 года из Владивостока отправилось в очередную, 11-й рейс научно-исследовательское судно Академии наук СССР «Дмитрий Менделеев». На борту советского корабля науки трудились и иностранные коллеги — представители океанографических учреждений США, Австралии, Новой Зеландии и Народной Республики Болгарии. 11-й рейс продолжался до 9 апреля 1974 года.

ЗАДАЧИ ЭКСПЕДИЦИИ

В последние годы тематические экспедиции стали обычным явлением для Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР. В этом рейсе была намечена обширная программа детального исследования мелкомасштабной турбулентности и тонкой структуры гидрофизических полей (температура, плотность, электропроводность и т. д.).

Из предыдущих экспедиций, где применялись современные буксируемые и зондирующие измерительные устройства («Земля и Вселенная», № 1, 1973 г., стр. 9—16.—Ред.), стало известно, что мелкомасштабная турбулентность тесно связана с колебаниями температуры, солёности, электропроводности и других характеристик морской воды, которые создают фон для развития или угасания турбулентных вихрей. Удалось выяснить, что

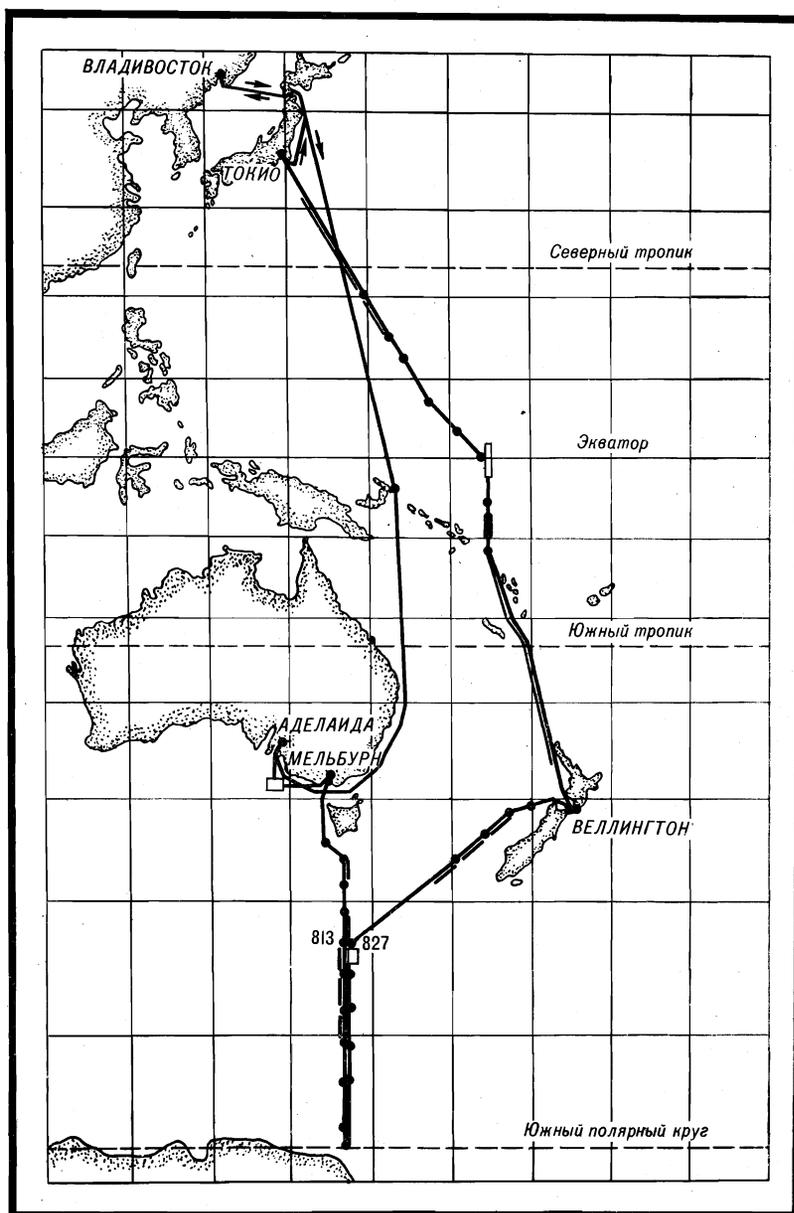


Схема маршрута НИС «Дмитрий Менделеев»



ЭКСПЕДИЦИИ

именно этот локальный фон иногда препятствует развитию турбулентности там, где можно было бы ожидать интенсивных турбулентных пульсаций температуры, электропроводности и скорости течений. Эти и многие другие выводы требовали дальнейших подтверждений. Кроме того, очень скудными были собранные сведения о пространственно-временной изменчивости характеристик турбулентности, тонкой структуры и внутренних волн в океане, о их связи с крупномасштабными гидрологическими условиями. Интересно было узнать, насколько универсальны полученные прежде зависимости, так как большинство измерений до сих пор было выполнено в тропической зоне. А там царит интенсивный прогрев поверхностных вод, резкая переслоенность (большие градиенты плотности), сильные течения, направленные на разных глубинах в противоположные стороны (большие градиенты скорости). Естественно было попытаться осуществить измерения турбулентности в условиях непохожего гидрометеорологического режима.

Для работ выбрали умеренные широты, зону экватора и зону Антарктического Циркумполярного течения. Были запланированы измерения в районах с заметным зимним охлаждением, с конвективным режимом вод, а также с частыми штормами. Последнее обстоятельство особенно привлекало исследователей. Дело в том, что измерения глубины залегания слоя скачка температуры и плотности до и после шторма дают возможность оценить долю энергии, которую передает океан атмосфере во время шторма. Кроме того, анализ измере-

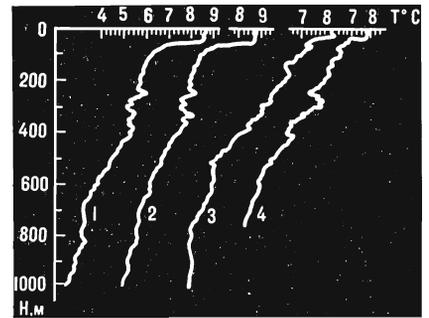
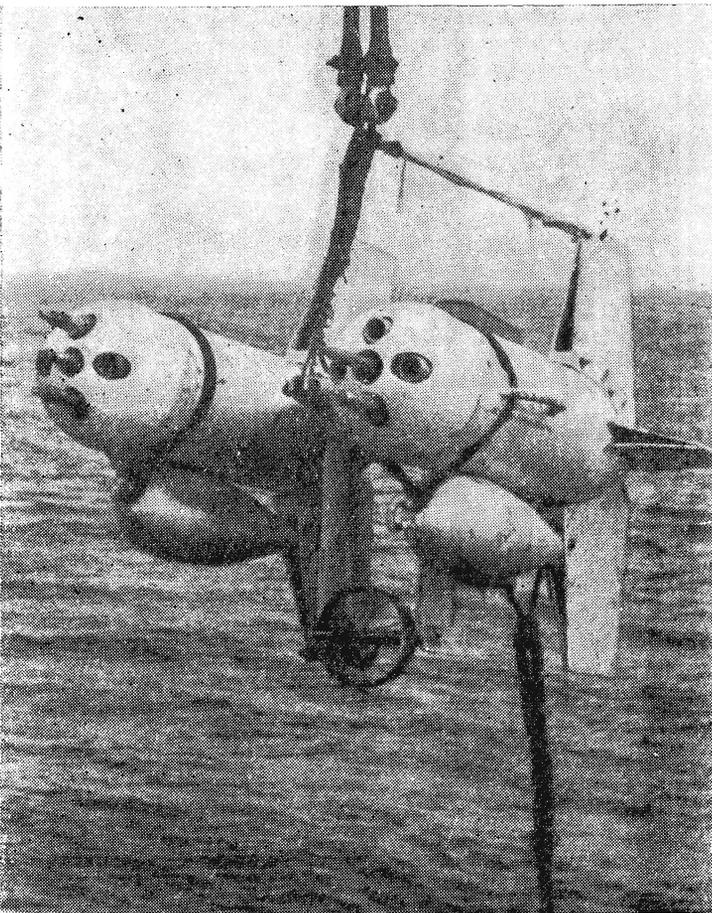
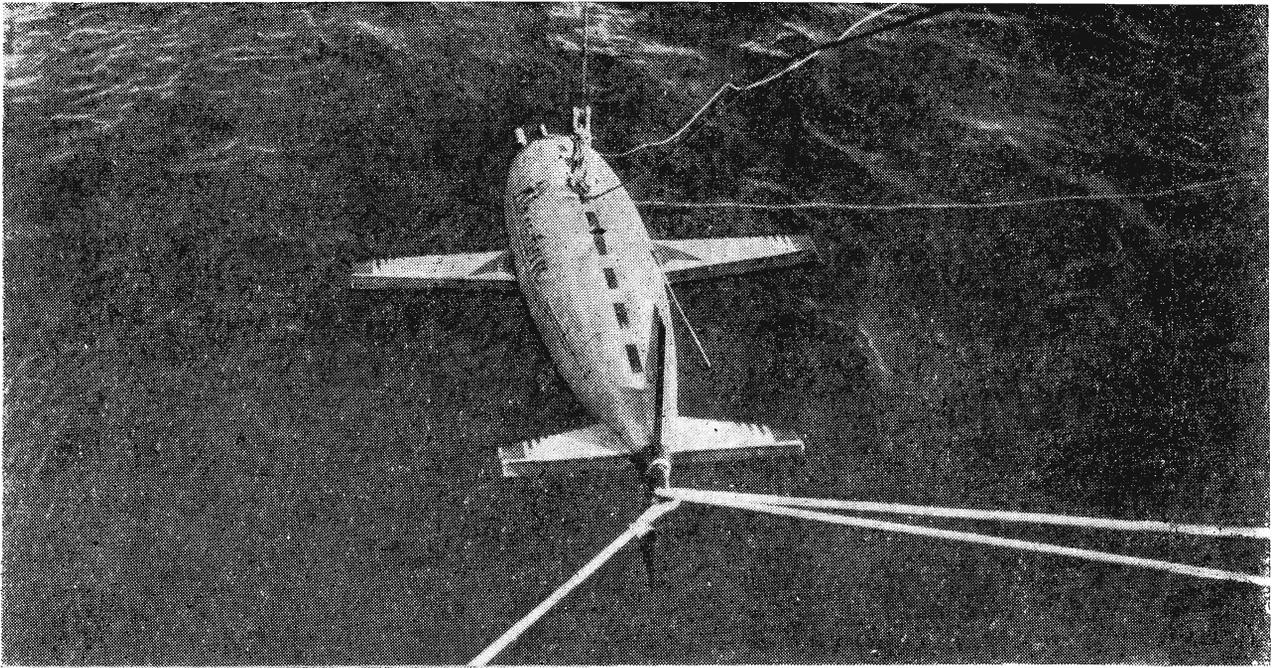
ний в свежую погоду позволяет понять механизм перемешивания водных масс, определить структуру, форму и другие параметры тех турбулентных вихрей, которые возникают в штормовом море и «перетаскивают» тепло, кислород, да и саму энергию в глубь океана. Вот почему маршрут НИС «Дмитрий Менделеев» в 11-м рейсе пролегал почти по меридиану, пересекая те широты, где штормов долго ждать не приходится. Это прежде всего район между Тасманией и крошкой ледяных полей у побережья Антарктиды.

НАУЧНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

На борту «Дмитрия Менделеева» много новой аппаратуры для исследования турбулентности. Это целые измерительные комплексы различных типов: буксируемые системы для измерения микропульсаций скорости течений, температуры и электропроводности, а также для фиксации параметров полей температуры и скорости течений в масштабе внутренних гравитационных волн; зондирующие устройства для измерений турбулентности и тонкой структуры гидрофизических полей до глубин 1500—2000 м; радиотелеметрические буйковые устройства, которые способны длительное время регистрировать температуру и, наконец, автономные движущиеся устройства с магнитными накопителями информации для измерения турбулентности и тонкой структуры на различных глубинах. Например, «Тунец» — буксируемая система, изготовленная в опытном конструкторском бюро океанической техники при Институте океанологии, снабжена раз-

личными измерителями пульсаций скорости течения, измерителем пульсаций электропроводности, температуры, скорости звука и т. д. Всего в системе действует 27 измерительных каналов. Измерители пульсационных величин ловят флуктуации с частотами до нескольких сот герц. Вся информация поступала на аналоговые и цифровые магнитофоны, некоторые сигналы записывали многоперьевые самописцы. Отдельные звенья системы «Тунец» использовались и в режиме зондирования, которое незаметно в штормовую погоду.

Применение одних и тех же измерительных систем в двух режимах (буксировка и зондирование), а также аппаратуры, созданной на непохожих принципах, но для единой цели, сделало рейс методическим. Например, сравнение отечественных и американских турбулиметров показало, что уровни сигналов и их спектральные составы весьма схожи, что подтверждает адекватность сигналов изучаемым явлениям. Надо сказать, что и развитие техники для исследования океанической турбулентности идет схожими путями в Институте океанологии АН СССР и в Скриппсовском океанографическом институте (США). В рейсе впервые был испытан гидроплан — принципиально новый носитель пульсационных датчиков, разработанный в Институте океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР, а также в Казанском авиационном институте. Это — автономное устройство типа планера, выполненное по классической схеме самолета с одним несущим крылом. Гидроплан может двигаться в толще воды по любой заданной траектории. Как только он



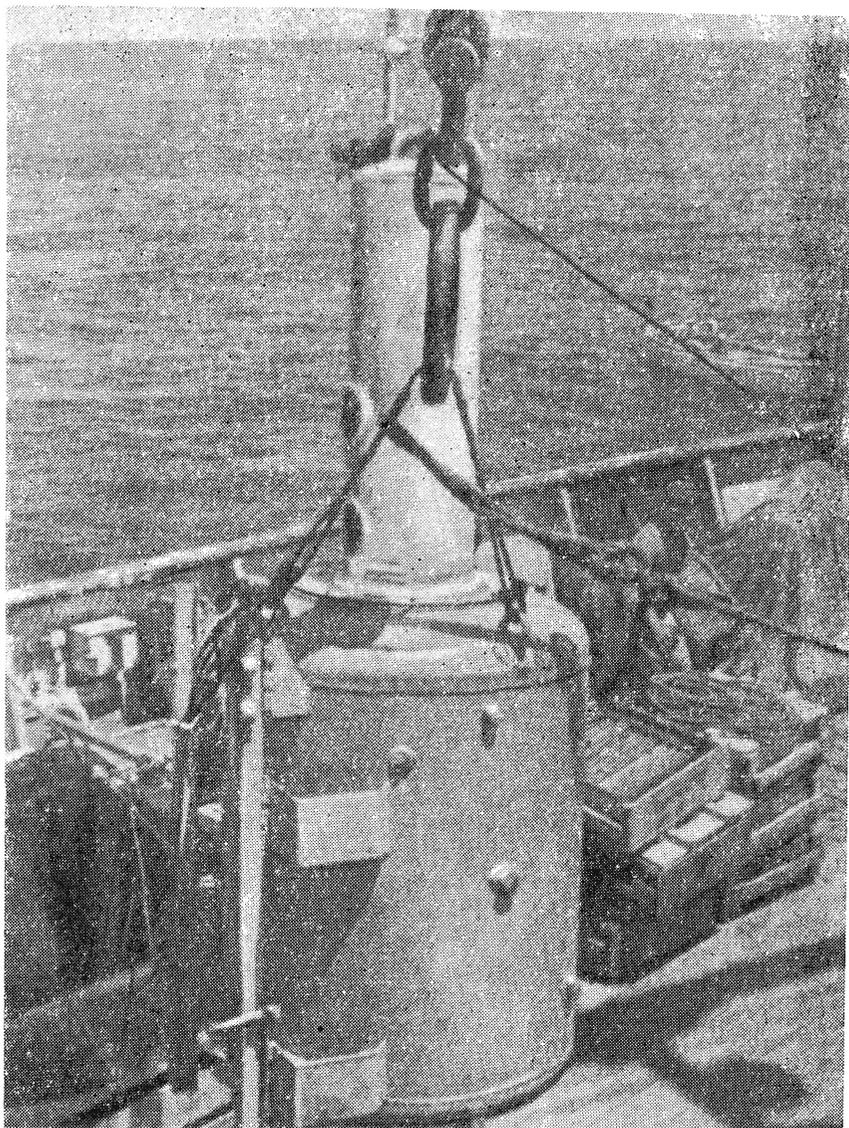
Гидроплан спускается на воду. В передней его части — чувствительные датчики пульсаций скорости движения воды и ее температуры. Информацию с датчиков записывает магнитофон на борту гидроплана

Буксируемое измерительное устройство с датчиками измерений скорости течения, температуры и электропроводности морской воды. При буксировке датчики способны регистрировать скоростные и температурные неоднородности с размерами до 1 мм. Внизу виден пропеллерный измеритель скорости движения устройства относительно воды

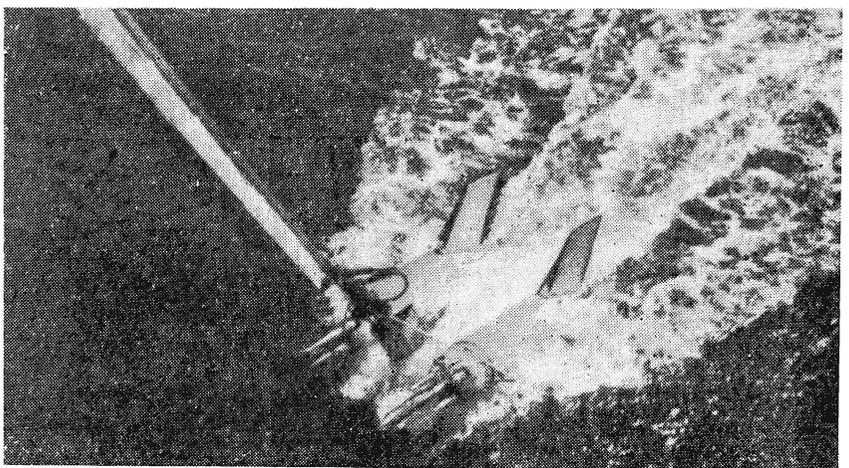
Вертикальные профили температуры до шторма (кривые 1, 2) и после (кривые 3, 4)

оказывается на необходимой глубине, сбрасывается балласт и планер всплывает, перемещаясь затем «по команде». Информацию с датчиков во время движения гидроплана регистрируют на его борту магнитофоны или самописцы. Такой автономный носитель не зависит ни от помех, связанных с вибрацией буксирной линии, ни от качки судна.

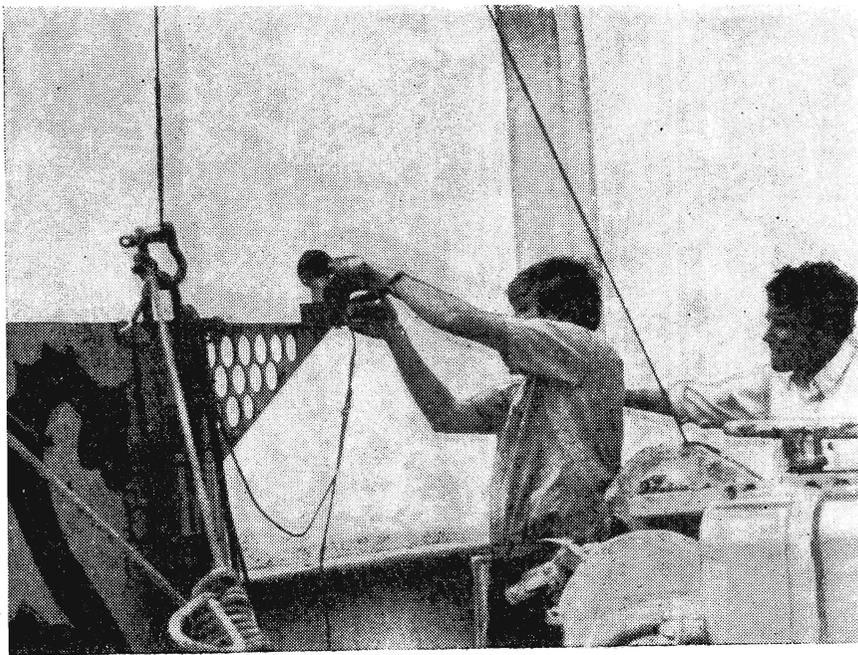
Кроме датчиков турбулентных пульсаций экспедиция была оснащена многочисленными приборами для измерения тонкой структуры гидрофизических полей. Эти приборы давали ту детальную среднемасштабную «фоновую» обстановку, в которой развиваются турбулентные пульсации разного масштаба (от нескольких десятков сантиметров до нескольких дюймов сантиметра и по частоте от одного герца до сотен герц). Чтобы исследовать структуру температурно-



Телеметрическая буйковая установка, которая может удерживаться на якорь или свободно плавать в океане. 10 датчиков температуры, которые располагаются на кабеле под бумом, опрашиваются каждую секунду, и информация передается на борт судна по радио в закодированном виде, где регистрируется на перфоленгты или магнитные ленты и сразу может быть введена в ЭВМ. Сверху установки видна передающая антенна, в корпусе — электронные устройства, радиоаппаратура, источники питания. Буй может работать автоматически несколько суток



Буксируемый измерительный комплекс с чувствительными датчиками опускается за борт



го поля, американские коллеги применяли весьма удобный прибор — обрывной зонд для быстрых рекогносцировок температуры на полигоне. Работал в рейсе и новозеландский температурный зонд.

ИЗМЕРЕНИЯ

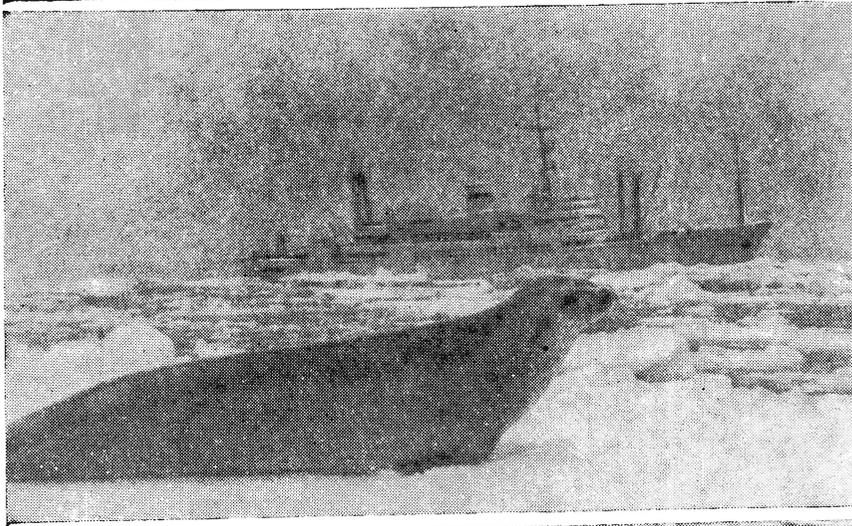
На переходе из Владивостока в Аделаиду все участники экспедиции занимались отладкой измерительной аппаратуры и обрабатывающих комплексов. Было проведено несколько методических серий с оригинальными приборами. Главные наблюдения по научной программе начались после выхода из Аделаиды, но самую интересную и сложную часть научного плана предстояло выполнить на антарктическом разрезе, где гидрологические станции брались через каждые $2^{\circ},5$. На этом разрезе собран уникальный материал. Оснащенное самой современной аппаратурой исследовательское судно достигло точки с координатами $66^{\circ}13'$ ю. ш. и $146^{\circ}45'$ в. д., где всего в 60 милях от берегов Антарктиды была выполнена заключительная станция. Никогда еще



Американские ученые (справа — руководитель группы профессор Карл Гибсон) на борту «Дмитрия Менделеева» готовят к спуску за борт прибор для измерений пульсаций скорости течения и температуры морской воды



«Дмитрий Менделеев» у берегов Антарктиды





ЭКСПЕДИЦИИ



в этом районе не производились столь целенаправленные и комплексные исследования.

На каждой станции использовали весь арсенал отечественных и зарубежных приборов. Предварительное сравнение позволяло свободно интерпретировать показания датчиков американской и австралийской аппаратуры. По словам К. Гибсона — профессора кафедры инженерной физики и океанографии Калифорнийского университета (Сан-Диего, США), американская группа получила такой объем информации, который превосходит все данные их предыдущих экспедиций. Ценность материалов антарктического разреза возрастает еще и потому, что на обратном пути от Антарктиды на пяти станциях были повторены все комплексы измерений. Вернуться в те же самые точки наблюдений удалось благодаря спутниковой навигации. Эта система позволяет определять координаты судна в океане с точностью до нескольких десятков метров.

Особенно ценными оказались повторные измерения на станции, расположенной почти посередине между Тасманией и Антарктидой (станции 813, 827). На пути к Антарктиде измерения здесь были выполнены при умеренном ветре. На двух температурных профилях с интервалом между зондированиями в 1 час хорошо выражен слой скачка температуры, расположенный на глубине 50 м, а на глубине 200—400 м профили вычертили тонкие особенности температурного поля с чередующимися прослойками холодных и теплых вод, с колебаниями самих прослоек. Через 12 дней в условиях жесточайшего 10-

балльного шторма все измерения в этой точке были повторены. Вертикальные профили температуры показали разительную перемену структуры океана. Мощная толща в 500 м ничем уже не напоминала предыдущую картину: первоначальный слой температурного скачка полностью разрушен, а во всей верхней водной массе океана возникла четкая тонкая структура профилей, которая за 1 час между зондированиями резко менялась. Океан «кипел» под воздействием шторма, огромные массы воды с разной температурой поднимались и опускались, активно перемешиваясь.

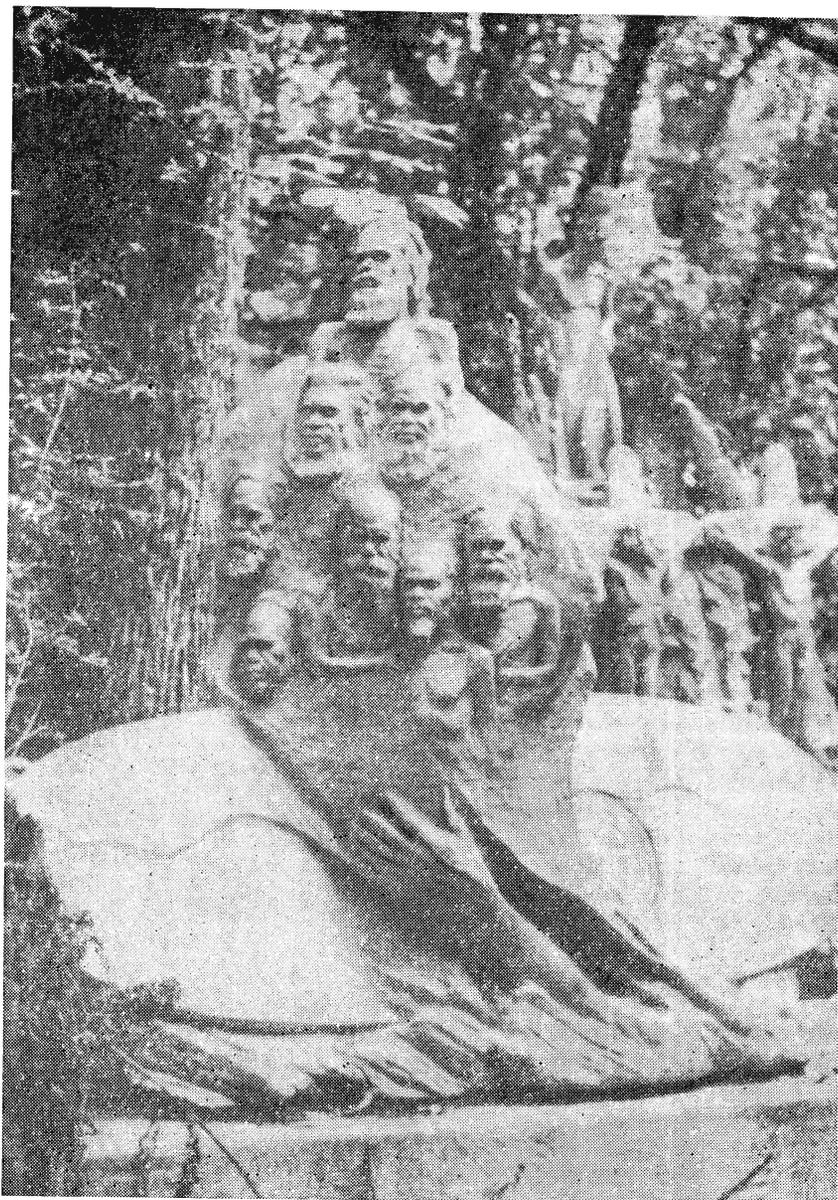
Всего в рейсе было сделано 389 зондирований всеми приборами, выполнено 275 часов буксировки, 29 гидрологических серий, 17 сеансов с гирляндами измерителей течений и синхронной работой установки спутниковой навигации и несколько испытаний гидроплана. Электронно-вычислительные машины на борту судна статистически обработали 640 рядов информации, а двухкоординатные самописцы построили более 1600 графиков. Все предварительные результаты составили несколько томов научного отчета. «Предварительные», ибо кропотливый анализ еще впереди, впереди и подробные научные публикации.

НОВЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Удивительно изменчива турбулентность и во времени и в пространстве. Например, смещение датчика всего на один метр приводит иной раз к существенному изменению уровня спектральной плотности пульсаций, а иногда и вовсе меняется привычная форма спектральной кривой. Ско-

рость рассеяния турбулентной энергии для верхней толщи моря оценена в 10^{-1} — 10^{-2} см²/сек³, внутренний масштаб турбулентных вихрей порядка 10^{-1} см. Спектры пульсаций температуры и электропроводности существенно зависят от среднего градиента этих свойств на глубине, где они измеряются. Если локальные градиенты средней температуры и электропроводности малы, то уровень спектров пульсаций этих величин ниже обычного, свойственного сильно переслоенной воде. Резко различен турбулентный режим антарктической и субантарктической водных масс. В первом случае пульсации электропроводности, например, сравнительно велики и имеют один порядок на всех глубинах, а в субантарктических водах они сильно меняются с глубиной.

Много интересного рассказали приборы о тех районах, где зимнее охлаждение проникает очень глубоко и где на нижних горизонтах остаются «реликтовые» конвективные слои холодной воды. В этих промежуточных холодных водных массах хорошо видна причудливая слоистая структура температурного поля, с которой связан и необычный режим турбулентных вихрей. После повторных измерений на антарктическом разрезе сначала в спокойную погоду (30 января 1974 года, станция 813), а затем в 10-балльный шторм (14 февраля, станция 827) стало ясно, что уровень турбулентной энергии варьирует в первом случае в пределах одного порядка и явно зависит от локального фона, а во втором — монотонно спадает с глубиной (более чем на 2 порядка), не обнаруживая четкой зависимости от локальных условий.



Скульптура известного австралийского ваятеля В. Риккетса «Аборигены Австралии». Защите прав аборигенов скульптор посвятил всю свою жизнь. Участники 11-го рейса НИС «Дмитрий Менделеев» ознакомились с многочисленными работами В. Риккетса, расположенными в густом тропическом парке недалеко от Мельбурна

Фото автора

Таким образом, материалы, полученные в рейсе, существенно расширяют наши знания о закономерностях океанической турбулентности, о механизмах ее генерации и затухания в различных гидрометеорологических ситуациях. По результатам многократных зондирований, а также стандартных гидрологических работ на станциях 810—827 построены очень подробные поля температуры, солёности,

плотности воды, скорости звука и скорости течений на разрезе Тасмания — Антарктида. Динамический расчет позволил дать обоснованную схему циркуляции.

Во всем районе от Тасмании до Антарктиды преобладает восточное движение вод — Антарктическое Циркумполярное течение. Общий расход его ($90,7 \cdot 10^6$ м³/сек) сравним с расходом Гольфстрима. Район к югу от Аделаиды очень интересовал австралийских коллег. Этот район изучен слабо и весьма важен для Австралии. Детальные работы на полигоне и гидрологическая съемка, проведенная здесь впервые, позволили сделать динамический расчет течения Флиндерса. Струя течения Флиндерса с довольно высокими скоростями прослеживается до 1000 м, что было подтверждено прямыми инструментальными измерениями. Течение Флиндерса, направленное на запад, представляет собой ответвление от Антарктического Циркумполярного течения и теперь после 11-го рейса «Дмитрия Менделеева» уже не является загадочным.

Измерения, выполненные вблизи Антарктического материка, позволяют утверждать, что сползающие вдоль материкового склона сверххолодные и очень соленые воды «заполняют» глубины многих районов Мирового океана.

Кроме работ по основной тематике экспедиции в рейсе проводились попутные измерения — промерные, магнитные. Удалось выполнить 400 миль совместного промера и получить сведения о структуре аномального геомагнитного поля и рельефе дна в юго-западной части Тихого

океана, в районах Восточно-Марианской впадины, Кораллового моря, моря Фиджи, Тасманова моря, а также по разрезу Тасмания — Антарктида. На антарктическом разрезе, где советское судно впервые прошло с магнитной съемкой, обнаружена значительная расчлененность рельефа и магнитного поля. Размах аномалий магнитного поля достигает здесь 500—600 гамм. Прямой связи этих аномалий с рельефом дна не установлено, возможно, они обусловлены какими-то глубинными объектами.

НАУЧНАЯ ЖИЗНЬ ЭКСПЕДИЦИИ И МЕЖДУНАРОДНЫЕ КОНТАКТЫ

В последние годы участники океанологических экспедиций часто возвращаются из рейса с готовыми предварительными научными обобщениями. Это стало возможным благодаря современной вычислительной технике. На борту НИС «Дмитрий Менделеев» установлены ЭВМ «Минск-22», аналоговые устройства и мини-ЭВМ «Электроника С-50». В рейсе активно работал научный семинар. Иностранцы коллеги сделали на судне во время плавания 10 докладов. Всего их прочитано более 20. Совместная работа с американскими, австралийскими и новозеландскими океанографами оказалась плодотворной и взаимно полезной. Например, директор Океанографического института имени Горация Лэмба профессор Р. Радок (Австралия) за время экспедиции перевел на английский язык недавно вышедший у нас сборник «Исследование океанической турбулентности» (М., «Наука», 1973 г.) для издания его в Австралии, а профессор

К. Гибсон в соавторстве с Р. В. Озмидовым и В. Т. Пакой подготовил для журнала «Океанология» статью о совместных советско-американских измерениях турбулентности.

Во время стоянки в Мельбурне, где с 14 по 25 января 1974 года проходила Объединенная ассамблея Международных ассоциаций физики атмосферы и физических наук об океане, 30 научных сотрудников экспедиции были оформлены делегатами и присоединились к прилетевшей из Советского Союза группе во главе с академиком АН СССР Л. М. Бреховских. Ассамблея была представительным научным форумом, в котором приняли участие более 500 делегатов от 32 стран. Из 396 докладов 46 были от Советского Союза, из них 9 подготовлены участниками экспедиции на НИС «Дмитрий Менделеев». Все советские доклады высоко оценены в выступлениях иностранных коллег.

Группа наших делегатов во время пребывания в Мельбурне посетила Лабораторию атмосферной физики, а также Лабораторию по моделированию течений в стратифицированной жидкости. Лаборатория располагает двумя экспериментальными бассейнами, оснащена современным оборудованием из США, ФРГ, Японии и связана системой «Telex — Display» с вычислительным центром в Мельбурне. Полезным был визит советских ученых в Лабораторию геофизической гидродинамики. Там ведутся модельные исследования метеорологических и океанических процессов, в том числе конвекции и турбулентности. Делегатам показали опыты по моделированию конвекции во вращающейся жидкости.

По просьбам делегатов ассамблеи, на борту «Дмитрия Менделеева» устроили «день открытых дверей». Советские ученые приняли более 150 гостей, среди которых были выдающиеся геофизики, например, Р. Стюарт, К. Пристли, Ф. Остапофф, О. Филлипс, И. Эллиот, Х. Чарнок и др. Интерес к советской науке, гостеприимство австралийцев и доброжелательность делегатов ассамблеи сопутствовали нам во время двухнедельного пребывания в Мельбурне. Группа участников рейса навестила президента Общества «Австралия — СССР», известного австралийского прогрессивного писателя Аллана Маршалла. Он передал для советских ученых личную коллекцию редких орудий труда древних аборигенов Австралии. Объективно и доброжелательно освещала австралийская пресса цели и задачи советской экспедиции, а также пребывание на борту «Дмитрия Менделеева» иностранных ученых и совместные работы с ними.

Плодотворные научные контакты продолжались и в Веллингтоне, где нас посетил директор Океанографического института профессор Дж. Броде. Он передал советским ученым материалы о публикациях Института за последние 5 лет (институт создан в 1954 году), а также несколько крупномасштабных батиметрических карт новозеландского района. Участники советской экспедиции Р. В. Озмидов, Г. С. Голицын и Б. Д. Гаврилин прочли лекции на физическом факультете университета Виктории. В этом же университете советские ученые ознакомились с работами кафедры геофизики. Директор департамента научно-технических исследований Новой Зеландии доктор Е. Робертсон в своем выступлении на борту «Дмитрия Менделеева» подчеркнул целесообразность расширения совместных работ новозеландских и советских ученых.

Многочисленные встречи незримо дополняют страницы научных отчетов и надолго останутся в памяти людей, живущих на разных континентах, но объединенных общей научной задачей — освоением Мирового океана.

Курс астрономии в школе будущего

Лет десять назад стало ясно, что в основу школьного курса астрономии должны быть положены мировоззренческие и важнейшие астрофизические вопросы («Земля и Вселенная», № 1, 1965 г., стр. 78—81). Это нашло свое отражение в существующей ныне программе по астрономии в советской общеобразовательной средней школе («Земля и Вселенная», № 1, 1968 г., стр. 80—84), а также у наших зарубежных коллег, например в школах ГДР («Земля и Вселенная», № 1, 1971 г., стр. 24 и № 6, стр. 58—59). В 1969 году вышел в свет новый учебник астрономии, написанный членом-корреспондентом Академии педагогических наук СССР Б. А. Воронцовым-Вельяминовым, а позднее, в 1973 году, — «Методика преподавания астрономии в средней школе», подготовленная авторским коллективом под руководством Б. А. Воронцова-Вельяминова, и методическое руководство для преподавателей астрономии в средних профессионально-технических училищах («Земля и Вселенная», № 6, 1974 г., стр. 75). Известную роль в повышении эффективности преподавания играют новые учебные диафильмы по астрономии, демонстрационная карта звездного неба, наглядные таблицы, «Учебный звездный атлас» и «Школьный астрономический календарь». Все эти пособия дешевы, просты в обращении и могут быть приобретены любой городской и сельской школой, а также средними профессионально-техническими училищами, в которых уже введен курс астрономии.

Идеи, положенные в основу современной программы, с удовлетворением встречены большинством учителей астрономии и, прежде всего, теми, кто хорошо подготовлен к преподаванию. Особенно успешно работают в школе выпускники Горьковского педагогического института, получившие солидную научную и методическую подготовку. Хочется надеяться, что в дальнейшем и некоторые другие педагогические институты будут иметь возможность успешно готовить студентов по специальностям «физика-астрономия» и «математика-астрономия». В настоящее время все возрастающее значение приобретает включение астрономии в типовые учебные планы университетов («Земля и Вселенная», № 6, 1971 г., стр. 57—58).

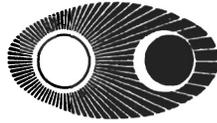
Итак, то, что несколько лет назад считалось «новой программой», стало реальностью и вошло в жизнь школы. Надолго ли? Скорее всего, в начале 80-х годов возникнет необходимость заменить существующую программу другой*, лучшей, чем эта, ведь проблема совершенствования преподавания астрономии (как и любого другого учебного предмета) относится к числу «вечных». Она никогда не будет решена «окончательно», ибо никогда

не «окончится» ни сам процесс познания Вселенной, ни совершенствование процесса обучения. Последний в настоящее время не замыкается в рамках дидактики, а неразрывно связывается с философией и логикой, психологией и лингвистикой, математикой и кибернетикой.

Сердцевина процесса обучения — содержание учебного материала. Это — основа взаимодействующих сторон процесса обучения: преподавания и учения. От выбора материала, подлежащего усвоению, от его организации и структуры (логическая последовательность изложения, расчленение, представление в виде системы познавательных задач и т. д.) зависит эффективность процесса обучения. Целесообразно выбранная последовательность разделов и тем курса задает, программирует процесс обучения, во многом определяя деятельность учителя и учащихся. Но возможных вариантов построения курса астрономии немало. Как из них выбрать оптимальный? Как создать такую модель курса, которая была бы, подобно всякой хорошей модели, наилучшим «компромиссом между простотой и реальностью». Частично этих вопросов мы уже касались ранее («Земля и Вселенная», № 3, 1973 г., стр. 61—66), теперь рассмотрим их подробнее.

Конечно, заманчиво создать «абсолютно логичный» курс астрономии, в начале которого были бы сформулированы основные идеи, принципы, законы, а потом все вытекающие из них следствия и приложения. Но, вопервых, астрономия — это наблюдательная наука, а не геометрия. Во вторых, опытные педагоги хорошо

* Не случайно вопрос о необходимости существенного улучшения программы по астрономии поднимался в прошлом году и на заседании Комиссии по астрономии Ученого методического совета Министерства просвещения СССР и на пленуме Совета по подготовке астрономических кадров при Астросовете АН СССР.



АСТРОНОМИ-
ЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

знают, что большинству учащихся все-таки довольно трудны и предметы, части которых жестко связаны логической цепью, и предметы, в которых материал практически лишен логической системы и представляет собой набор разрозненных сведений. Оптимальными оказываются не такие крайности, а нечто среднее и разумное. В-третьих, создавая школьный курс астрономии, нельзя забывать о таких важных методологических и дидактических принципах, как ленинский принцип перехода от созерцания к абстрактному мышлению и далее к практике, как принципы наглядности, доступности и последовательности. Ни в коем случае нельзя забывать и то, что курс астрономии призван способствовать формированию диалектико-материалистического мировоззрения учащихся и должен «учить ребят учиться».

Учет всего этого позволяет утверждать, что настало время воспользоваться появлением объективной возможности сделать курс астрономии в выпускном классе средней школы или профессионально-технического училища более логичным, строгим и серьезным. Почему? Да потому, что теперь в младших классах, начиная с третьего и, особенно, четвертого класса, учащиеся постепенно знакомятся с элементарными сведениями науки о Вселенной («Земля и Вселенная», № 5, 1969 г., стр. 72—76).

Но что значит сделать курс астрономии более серьезным, оставаясь в рамках «прокрустова ложа» — одного урока в неделю, как перестроить курс, чтобы от этого выиграло преподавание астрономии в школе? В поисках ответа нам пришлось не только

тщательно проанализировать положительные и отрицательные стороны, присущие современной программе по астрономии, учебнику и методическому пособию для учителей астрономии, но и непосредственно ознакомиться с практикой преподавания астрономии в школах Москвы, Ярославля, Уфы, Калининграда, Севастополя, Иркутска, Смоленска, Горького и некоторых других городов. Были подробно рассмотрены и учебники по астрономии для пединститутов и университетов, причем оказалось, что наибольший интерес для создания общеобразовательного школьного курса имеет хорошо известный учебник профессора Д. Я. Мартынова «Курс общей астрофизики» («Наука», изд. 2-е, 1971 г.). В результате удалось составить такой проект программы по астрономии, которая, по нашему мнению, даст большой простор для творческой работы авторов будущих учебников и научно-методических руководств, серьезно заинтересует преподаванием астрономии учителей физики, а также будет достаточно полезной и интересной учащимся.

В предлагаемом проекте программы сохраняется астрофизическая устремленность существующей программы и намечается более четко выделить то главное, о чем должны узнать школьники. Речь идет прежде всего о звездах, планетах и их системах, об их движении, природе и развитии.

Именно в процессе изучения небесных тел и их систем учащиеся должны ознакомиться с методами астрономических и астрофизических исследований, с целями и задачами изучения Вселенной, философским, научным и практическим значением астрономии.

После краткого «Введения», рассказывающего о предмете астрономии и содержащего краткий очерк развития науки о Вселенной, мы предлагаем приступить к изучению Солнца. Это позволит сразу же познакомить школьников с кругом многих проблем астрофизики и показать им Солнце не только как центр Солнечной системы и как источник жизни на Земле, но и как типичную звезду. Близость Солнца обеспечивает возможность его подробного исследования, причем крайне важно с точки зрения дидактики, что наблюдение деталей фотосферы Солнца легко осуществить в школьные телескопы. От рассмотрения Солнца — типичной звезды — целесообразно перейти к миру звезд и звездных систем, а потом и к небесным телам, являющимся спутниками звезд (планетам, кометам, астероидам), причем, конечно, планетам и Луне следует уделить большее внимание в курсе школьной астрономии. Новейшие данные о Меркурии, Марсе и Венере делают полезным и дидактически оправданным изучение поверхности Луны (и наблюдения Луны в телескоп!) до ознакомления учащихся с поверхностями названных планет. Завершающий раздел курса «Космология и космогония» основывается на уже усвоенных учащимися закономерностях в мире галактик, звезд и планет. Поэтому, изучая этот раздел, школьники в обобщенном виде повторяют основные вопросы курса астрономии и знакомятся с основными идеями современной космологии и космогонии.

Реализация предлагаемого проекта позволила бы продемонстрировать учащимся применение законов физи-



АСТРОНОМИЧЕСКОЕ
ОБ АЗОВАНИЕ

ки к анализу процессов и явлений во Вселенной, ознакомить с эвристической функцией, которая присуща моделям в современной астрофизике и космологии, жестко связать методы исследований с получаемыми результатами. Мы не думаем, что допустимый программой «отрыв» планет от Солнца затруднит изучение курса*. Наоборот, получив широкое представление о строении Вселенной, учащиеся сумеют более осознанно подойти к столь жизненно важным проблемам планетной астрономии.

Практические навыки (например, отыскание основных созвездий, ориентировка по звездам и Солнцу) должны формироваться непосредственно во время практических занятий, проводимых учащимися под руководством учителя, а также и самостоятельно. Очевидно, именно такие занятия (а не «лекции» по сферической и практической астрономии) необходимы всем, получающим среднее образование, а не только ребятам, интересующимся астрономией и с увлечением занимающимся ею. Одна из особенностей предлагаемой программы состоит в том, что в каждом ее разделе объединены теоретические вопросы (преимущественно вопросы астрофизики) с сугубо прикладными (например, с вопросами практической астрономии). Причем, вторая группа вопросов как раз и составляет содержание наблюдений, практических занятий и лабораторных

* Хотя легко предвидеть, что именно это «необычное место» планет в школьном курсе первоначально вызовет много возражений!

работ. Так, в разделе, посвященном Солнцу, речь идет о наиболее важных сведениях по физике Солнца, говорится о солнечной активности и ее геофизических проявлениях. Но в тематику наблюдений и практических работ включены не только наблюдения в телескоп деталей фотосферы Солнца, но и задания, связанные с ориентировкой по Солнцу. Думается, что такой подход заслуживает внимания и тщательного обсуждения.

Разумеется, мы предлагаем лишь один из возможных вариантов построения курса астрономии. Проект имеет сугубо предварительный характер и публикуется в порядке обсуждения, как предмет для дискуссии.

ПРОЕКТ ПРОГРАММЫ ПО АСТРОНОМИИ (35 уроков в классе и 4 часа обязательных наблюдений под руководством учителя).

I. ВВЕДЕНИЕ (3*)

Предмет астрономии. Астрономия — наука о движении, природе, развитии небесных тел и их систем. Разделы астрономии (астрометрия,

* Цифры, стоящие в скобках, означают примерное число уроков, необходимое на изучение каждого раздела программы. Исходным является существующее, крайне малое число часов, отводимых на преподавание астрономии. (Уместно напомнить, что астрономическая общественность нашей страны давно добивается увеличения числа часов по астрономии до 70.)

небесная механика, астрофизика, космогония, космология). Связь с философией, физикой и другими науками. Наблюдения — основа астрономии. Начало космической эры и превращение астрономии из оптической во всеволновую.

Развитие представлений о Вселенной. Астрономия в древности. Геоцентрическая система мира. Коперник и его гелиоцентрическая система. Борьба за научное мировоззрение (Бруно, Галилей, Ломоносов).

Законы Кеплера и их обобщение Ньютоном. Важнейшие идеи и принципы астрономии XX века.

Практические и лабораторные работы. Ознакомление с подвижной картой звездного неба и «Школьным астрономическим календарем». Установка карты на данный час и дату. Вводный обзор звездного неба. Способы отыскания на небе созвездий Большой и Малой Медведицы, Кассиопея, Лиры, Лебеда и Орла. Решение задач на законы Кеплера.

II. СОЛНЦЕ (3)

Общие сведения (размеры, масса, спектр, температура, светимость), Солнце — плазменный шар. Явления, наблюдаемые в фотосфере, хромосфере и короне и их связь с магнитными полями. Солнечная активность и ее земные проявления. Понятие о внутреннем строении Солнца («модель Солнца»). Значение исследования Солнца для решения народнохозяйственных задач и для познания природы звезд.



АСТРОНОМИЧЕСКОЕ
ОБРАЗОВАНИЕ

Практические и лабораторные работы. Наблюдение Солнца в телескоп (пятна, факелы). Способы приближенной ориентировки по Солнцу (часы, гномон).^{*} Решение задач (вычисление массы, средней плотности Солнца, температуры, светимости, солнечной постоянной).

III. ЗВЕЗДЫ И МЕЖЗВЕЗДНАЯ СРЕДА (11)

Звездное небо (созвездия, различие звезд по блеску). Причины изменения вида неба в течение суток и года. Понятие об экваториальных координатах (по аналогии с географическими).

Расстояние до звезд; температуры, спектры, светимости, массы.

Закономерности в мире звезд (соотношения «спектр — светимость» и «масса — светимость»).

Двойные и кратные звезды.

Нестационарные звезды (физические переменные, вспыхивающие, Новые и Сверхновые).

Внутреннее строение звезд («модели звезд»). Источники энергии звезд.

Межзвездная среда. Диффузная материя (туманности, межзвездный газ). Космические лучи.

Практические и лабораторные работы. Определение экваториальных координат и видимых звездных вели-

чин ярких звезд (звездная карта, «Учебный звездный атлас»). Отыскание на небе созвездий Ориона, Тельца, Возничего, Близнецов, Малого и Большого Пса. Приближенная ориентировка по звездам. Наблюдение в телескоп двойных и кратных звезд, туманностей. Решение задач (сравнение блеска звезд по их звездным величинам; определение расстояний до звезд по их годичным параллаксам и модулю расстояния; упражнения с диаграммами «спектр — светимость» и «масса — светимость»).

IV. ГАЛАКТИКИ (3)

Млечный Путь. Наша Галактика (состав, строение, вращение). Другие галактики. Радиогалактики и активность ядер галактик. Квазары — загадочные объекты Вселенной. Системы галактик (кратные галактики, скопления галактик). Метагалактика. Беспредельность Вселенной.

Практические и лабораторные работы. Наблюдение в телескоп звездных скоплений и галактики в Андромеде. Работа с «Учебным звездным атласом». Решение задач.

V. ПЛАНЕТЫ И МАЛЫЕ ТЕЛА СОЛНЕЧНОЙ СИСТЕМЫ (12)

Особенности видимого движения планет и их объяснение. Строение Солнечной системы. Методы определения расстояний, размеров и масс планет. Важнейшие закономерности в Солнечной системе. Обращение планет вокруг Солнца и вращение вокруг своих осей. Смена времен

года и температурный режим на планетах. Устойчивость Солнечной системы.

Атмосферы планет земной группы и планет-гигантов. Поверхности ближайших к Земле небесных тел (Луны, Марса, Венеры и Меркурия). Внутреннее строение «моделей» и магнитное поле Луны и планет.

Спутники планет. Основные сведения о природе и движении Луны. Явления, связанные с движением Луны.

Природа малых тел Солнечной системы (комет, астероидов, метеоритов).

Элементы механики космического полета (вокруг Земли, к Луне и планетам). Обзор достижений в создании орбитальных космических станций и исследовании Солнечной системы космическими аппаратами.^{*}

Планетные системы других звезд и проблема внеземных цивилизаций. **Практические и лабораторные работы.** Наблюдения в телескоп Луны, Юпитера, Сатурна, Венеры и Марса. Определение условий видимости планет («Школьный астрономический календарь», подвижная карта звездного неба), Созвездия Льва, Волопаса, Девы. Решение задач (определение расстояний до планет, размеров и масс планет, простейшие астродинамические расчеты).

^{*} Используя осенние вечера, учащиеся должны самостоятельно продолжать изучение звездного неба и к названным выше созвездиям добавить созвездия Пегаса, Андромеды и Персея.

^{*} Дальнейшее развитие космонавтики уже в ближайшие годы станет одним из самых сильных аргументов в пользу необходимости расширения школьного курса астрономии (или даже введения особого курса «Основы космонавтики»).

VI. КОСМОЛОГИЯ И КОСМОГОНИЯ (3)

Расширение Метагалактики и материалистическое объяснение этого явления. Ранние стадии Метагалактики. Понятие о космологических моделях.

Происхождение и эволюция галактик и звезд. Белые карлики, нейтронные звезды и «черные дыры» — как конечные стадии эволюции звезд.

Происхождение Земли и планет.
Вечность Вселенной.

В заключение курса астрономии полезно провести обзорную экскурсию в обсерваторию, на станцию наблюдений ИСЗ, в планетарий.

Мы живем в эпоху бурного развития астрофизических исследований. В успехах современной астрофизики сейчас, как никогда ранее, заинтересована «земная физика», преподаванию основ которой уделяется большое внимание в средней школе. Пора усовершенствовать и преподавание астрономии в средней школе. Широкое обсуждение содержания курса астрономии в школе будущего может оказаться существенным шагом на этом пути. В настоящее время завершается переход ко всеобщему среднему образованию молодежи в нашей стране. Это, конечно, налагает особую ответственность и на ход обсуждения и на те рекомендации, которые в конечном итоге будут выработаны. «Рассматривая сложный комплекс проблем, связанных с развитием народного образования,— пи-

шет заместитель министра просвещения СССР, член-корреспондент Академии педагогических наук СССР М. И. Кондаков,— мы не можем забывать, что ученику, пришедшему в 1974 году в первый класс, в 2000 году исполнится только 33 года. Он должен будет встретить XXI век в расцвете не только физических, но и духовных сил. А для этого необходимо уже сейчас позаботиться о том, чтобы развитие личности не отставало от научно-технического и социального прогресса*.

В решении этой задачи определенная роль отводится и курсу астрономии, который, хотя и мал, но может и должен стать курсом, завершающим физико-математическое и философское образование выпускников средних школ и профессионально-технических училищ.

Данная статья посвящена только вопросу о том, каким должен быть курс астрономии в школе будущего. Но мы вправе предполагать, что в школу будущего неизбежно придут и новые методы обучения, в частности получат широкое распространение учебное телевидение и кино, программные методы проверки усвоения учебного материала и т. д. Однако обсуждение всех этих интересных и важных проблем — предмет особой дискуссии.

* М. И. Кондаков. Новое содержание образования и совершенствование учебного процесса. «Знание», 1974 г., стр. 9.

Доктор географических наук
Д. Н. ФИАЛКОВ

«Каналы Ермака»

Приближается 400-летие со дня похода Ермака в Сибирь. Имя Ермака, по-прежнему, продолжает звучать в русском фольклоре, во множестве преданий упоминаются Ермаковы острова, плесы, городища и, наконец, «каналы Ермака». Истоки легенды о «каналах Ермака» уведут нас во времена освоения Сибири.

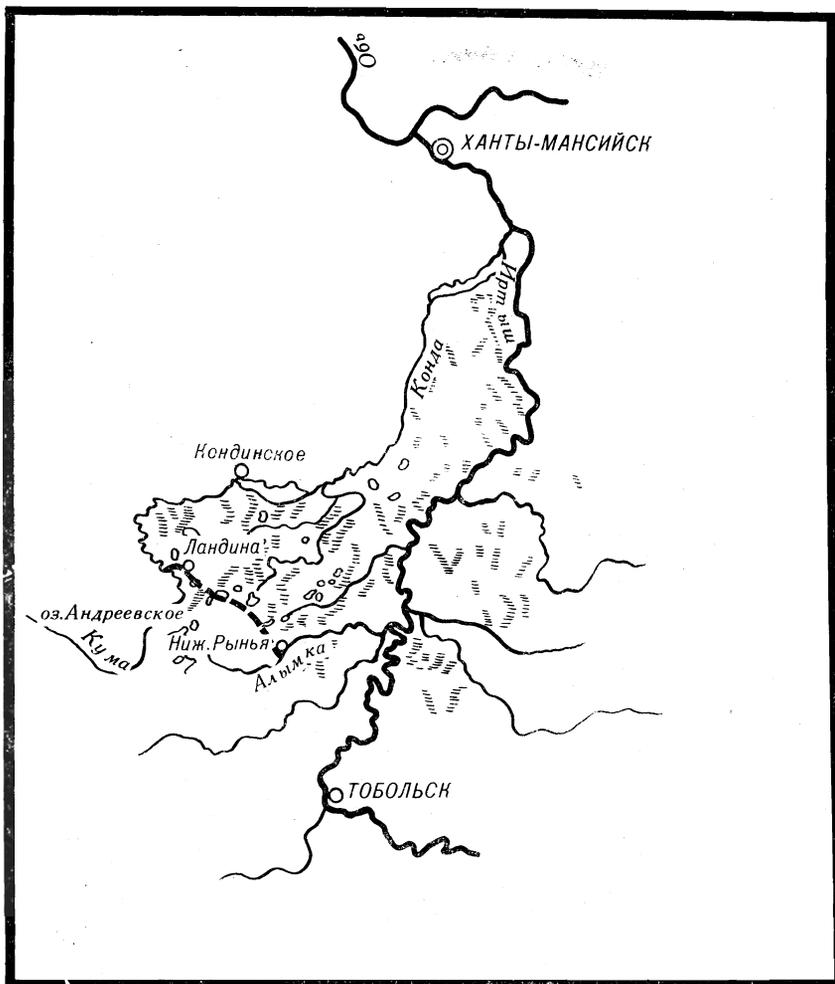
Заснеженный Тобольск конца XVII века. В бревенчатой избе из лиственницы склоняется над чертежами служилый человек Семен Ульянович Ремезов, рядом с ним сыновья — Леонтий, Семен и Иван. Они составляют чертежи Сибири: «...многие земли, и немирных владельцев кочевья, и древние жилья, грани и межи, и малопроходные пути, камень и степь, и всякие пути и дороги». «Хорографическая книга» С. У. Ремезова, датированная 1696 годом, является выдающимся историко-географическим памятником. Чертежи С. Ремезова, составленные без научно-математической основы и масштаба, замечательны, однако, своими географическими и этнографическими подробностями. На ремезовских чертежах с особой тщательностью изображена гидрографическая сеть, так как основными путями сообщения в Сибири в то время были реки. Река Иртыш занимает в атласе 33 листа.

В то время, когда по Иртышу шли ладьи Ермака, дружинникам приходилось встречаться с прихотливыми излучинами и, поднимаясь вверх по реке, искать более короткий путь для своих судов, используя прорывы, протоки и волоки. Ремезов старательно указал все волоки «для судов и гребень». Но каналы на Иртыше тогда не упоминались.

Впервые о «каналах Ермака» поведал миру академик Г. Ф. Миллер (1705—1783), путешествовавший в 1734 году по Иртышу в составе Беринговской экспедиции, организованной Сенатом и Академией наук. Встретив выше устья Вагая участок Иртыша с татарским названием «Тескерь» (в переводе — «Перекоп»), он принял широкий спрямляющий русло реки стрежень за канал, вырытый якобы по приказанию Ермака. Г. Ф. Миллер высказал тогда же свои предположения об особенностях организации гидротехнических сооружений, о времени рытья канала и о возможном строительстве Кучумом моста через канал для того, чтобы в роковую ночь напасть на спящую дружину Ермака.

Миллер до конца не верил в свою же версию, в техническую возможность и целесообразность рытья канала на Иртыше в то время. По его словам «...нет никаких следов, что эта перекоп была когда-то прорыта людьми». Возможно, Миллер располагал сведениями и летописями, которые до нас не дошли. Однако историк Фишер, участник экспедиции Миллера, сразу возразил, что «...так называемый канал был с самого начала настоящим речным стрежнем... и отнюдь не следует, что Ермак приказал его вырыть... Ежели бы он хотел копать каналы, то мог бы учинить сие способнее не в далеком расстоянии в верху устья Ишима, где Иртыш на 15 верст удалялся от прямого пути».

Геодезисты, прикомандированные к Г. Ф. Миллеру и составившие в 1734 году «Специальную рукописную карту течения реки Иртыша от горо-



да Тобольска до Семипалатинской крепости» в масштабе примерно 1 : 190 000, показываю на этой карте два канала.

Один канал спрямлял луку ниже Тевриза. Здесь во времена Ремезова существовал волок для судов, а в наши дни по каналу проходит основной стрежень реки. Ценность канала для спрямления пути бесспорна.

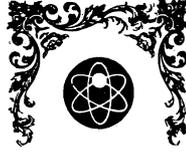
Второй канал несколько спрямлял путь из реки Тобола в Иртыш. В данном случае трудно объяснить целесообразность затраты труда на рытье канала. Однако все объясняет карта города Тобольска, составленная С. Ремезовым, где этот же спрямляющий путь назван русским словом «прорва». Следовательно, можно полагать, что здесь строительство канала было связано лишь с расчисткой естествен-

но сформировавшегося русла для прохода лодок.

Время строительства каналов — начало XVIII века. Но кто строил каналы, кто руководил строительством? В связи с этим нужно упомянуть и об уникальном по своему времени гидротехническом сооружении — Реньинско-Кондинском водном пути, соединявшем Тобольск с верхним течением реки Конды.

Весь бассейн реки Конды занят тайгой, системой больших и малых озер и болот. Здесь царят бесконечные болота и водные пространства. Озера постоянно или периодически проточны. Весной эта огромная тер-

Карта Реньинско-Кондинского водного пути



ИЗ ИСТОРИИ
НАУКИ

ритория скрывается под талой водой. Озерная и речная системы и предопределили, вероятно, направление когда-то существовавшего искусственного водного пути. Этот водный путь протяженностью 150 км связывал район Тобольска через системы рек Алымка, Реня, Ландина, Кума с богатым кондинским краем.

По трассе были сделаны «копани» для спрямления пути, достигавшие в длину 170 м, каналы через трясиновые болота, называемые «резками», протяженностью до 5 км и шириной 1,5 м. На трассе и сейчас до двадцати плотин, «прудов» для подъема воды и несколько «перетасовок» — волоков. Этот путь сотни лет никто уже не использует, но он хорошо опознается на местности и на современных топографических картах его обозначают синими прямыми линиями.

Связь России с Сибирью была давнишней. Еще князь Василий Иванович III в своем титуле в 1514 году поставил: «князь земли Обдорской Кондинской...». Походы в Кондию продолжались и при Иване Грозном. Снова и снова напрашивается вопрос: когда и кто строил каналы в Прииртышье?

В «Сибирском листке» за 1914 год (№№ 129, 131) был помещен доклад члена Русского географического общества И. К. Вислоуха, в котором он полагал, что Реньинско-Кондинский водный путь был создан Ермаком или воеводами, продолжившими его дело. Для лодок вогулов он был излишне широк. Да и вогулы (ныне — народы манси), их старики, деды и прадеды не сохранили в памяти сведений о строителях каналов. Когда проклады-

вались каналы, вогулов в этом районе еще не было. По свидетельству С. Ремезова, здесь жили тогда татары.

Гидрографическая сеть, показанная на картах С. Ремезова, не имеет связей между бассейнами перечисленных рек. События, связанные с прокладкой водного пути, не могли проходить ни в XVI, ни в XVII веках. Во всяком случае, каналов на Конде не было до 1715 года. Григорий Новицкий, составивший в 1715 году «Краткое описание о народе остятском» с большими трудностями продвигался в «самую Кондию», используя для этого окружной путь, спускаясь по Иртышу до устья реки Конды и поднимаясь от устья к ее вершинам. Строительство каналов в Прииртышье могло проходить в первой четверти XVIII века. Какие события могли этому способствовать?

В 1708 году сибирским губернатором был назначен князь М. П. Гагарин. Для нас важно, однако, то, что он до поездки в Сибирь занимался строительством шлюзов на Волго-Доне и имел, очевидно, интерес к гидротехническим сооружениям и соответствующую подготовку.

А была ли рабочая сила? С 1593 года, когда после убийства царевича Дмитрия в Сибирь был отправлен опальный колокол и 300 жителей Углича, край пополнялся ссыльными запорожскими казаками, соратниками Степана Разина, мятежными стрельцами, самосжигателями, раскольниками и, наконец, пленными шведами.

После полтавской битвы 1709 года почти 20 тысяч пленных шведов, достаточно образованных и квалифицированных по тому времени, были со-

сланы в Сибирь. Часть из них осталась в Тобольске. Они входили в состав экспедиций, участвовали в сооружении укрепленных пунктов, определяли географические широты и долготы пунктов по покрытиям звезд. Вот та обстановка, при которой стало возможным проектирование и строительство гидротехнических сооружений.

Филипп Иоган Страленберг — шведский офицер, долгое время живший в Сибири, по возвращении из плена в Швецию в 1730 году издал книгу «Историческое и географическое описание северной и восточной частей Европы и Азии». В ней он рассказывает о сооружении канала, с помощью которого устье реки Тобол было отведено версты на три выше города Тобольска. Нет сомнений, что именно этот канал показан на карте 1734 года.

Ежегодно из Тобольска посылали караван дощаников с казаками, стрельцами, пушкарями и барабанщиками к соленому Ямышевскому озеру. Четыре месяца поднимались суда вверх по Иртышу, и любая очевидная возможность рытья «пролета» для спрямления пути использовалась. Однако строительство этих каналов уже не связано с походом Ермака. Его дружине эти работы были просто не под силу.

Таким образом, мы знаем теперь время строительства каналов. Может быть, в результате изучения архивов будут найдены следы другого водного пути и волока из среднего течения Иртыша в бассейн речки Демьянки. Может быть, удастся отыскать и сведения о характере геодезических работ, выполнявшихся при строительстве.



ЛЮБИТЕЛЬСКАЯ
АСТРОНОМИЯ

Профессор
В. П. ЦЕСЕВИЧ

Великое противостояние Эроса

23 января 1975 года Эрос приблизился к Земле на расстояние 22,6 млн. км. В январе эта малая планета находилась в созвездии Близнецов, затем она пересечет созвездия Малого Пса, Единорога, Гидры, Чаши и в конце июня переместится в созвездие Ворона. Максимального блеска 8—8,5 величины астероид достиг в январе — феврале.

Время великих противостояний особенно благоприятно для исследования Эроса. Уже давно установлено, что его блеск колеблется с периодом 5 часов 16 минут. В течение одного периода наблюдаются два максимума и два минимума блеска. Амплитуда этих колебаний не превышает 1,5 звездной величины. Переменность блеска объясняется осевым вращением астероида. Во время предыдущего великого противостояния в 1931 году было обнаружено, что Эрос имеет грушевидную форму. Но останется ли ось вращения Эроса неизменной или она испытывает прецессионное движение, как и ось Земли? Это предстоит выяснить астрономам в 1975 году.

Направление оси вращения Эроса можно установить, изучая изменение амплитуды колебаний блеска при его перемещении по небесной сфере. Итак, необходимо получить возможно более точные и полные данные об амплитуде колебаний блеска и моменты минимумов и максимумов блеска. Желательны не только фотоэлектрические и визуальные оценки блеска, но и фотографические снимки неба.

В наблюдениях Эроса могут принять участие и любители астрономии. Самые доступные любителям — визуаль-

ные наблюдения. Воспользовавшись картой видимого пути Эроса, следует навести телескоп в нужный участок неба и ждать, пока одна из звездочек не «сдвинется» с места. Это и будет Эрос. Отыскав его, нужно зарисовать карту окрестностей и подобрать подходящие звезды сравнения. Желательно выбрать их в той стороне, куда движется астероид, так как при длительных наблюдениях придется менять звезды сравнения. Через каждые 5—8 минут необходимо оценивать блеск астероида относительно блеска звезд сравнения по методу Нейланда — Блажко. (В. П. Цесевич. Что и как наблюдать на небе. М., «Наука», 1973 г., стр. 340—343.— Ред.) Это даст возможность построить шкалу блеска звезд сравнения, вычислить блеск астероида в степенях и построить кривую блеска. Точная карта окрестностей понадобится, чтобы потом отождествить звезды сравнения. Тогда можно будет определить методами фотографической и фотовизуальной фотометрии их звездные величины для окончательной обработки наблюдений.

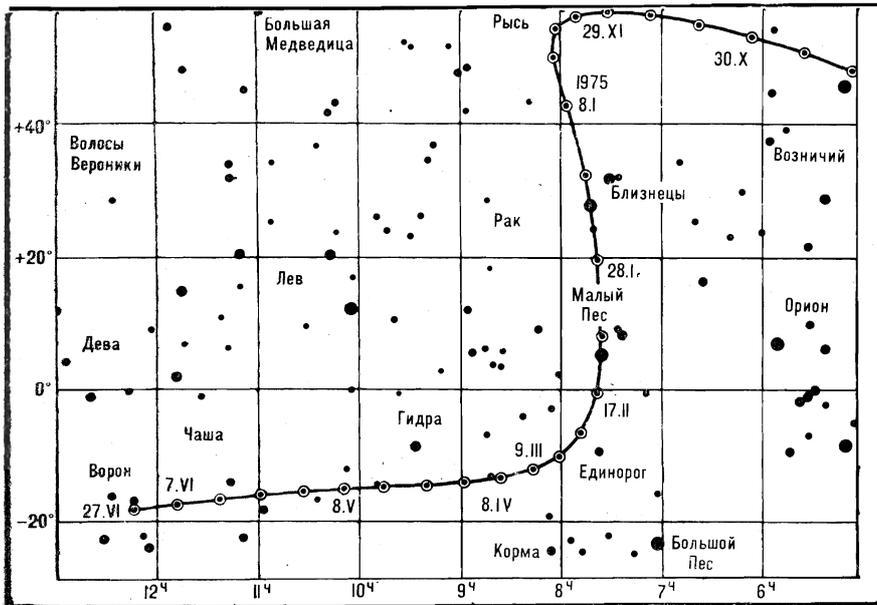
Готовясь к фотометрическим наблюдениям, необходимо помнить, что Эрос довольно быстро движется на фоне звездного неба. Если астрограф гидрируют по звезде, то изображение Эроса растянется в штрих. Поэтому следует подобрать такую экспозицию, чтобы изображение астероида мало отличалось от звездных.

В Одесской астрономической обсерватории Эрос фотографируют следующим образом. В прямом фокусе 45-сантиметрового телескопа (АЗТ-3) помещается кассета с пластинкой. Изображение Эроса получится почти

точечным за 5 минут (хотя он в августе 1974 года имел 14-ю звездную величину). Если сделать после экспозиции 5-минутный перерыв (продолжая гидрировать по звезде), то астероид успеет сдвинуться и при следующей 5-минутной экспозиции он даст новое, разделенное от предыдущего, почти точечное изображение. Так, вместо штриха получается цепочка изображений астероида.

Если пластинка экспонировалась в течение двух часов с 5-минутными перерывами, на снимке будет до 12 изображений астероида. Очевидно, в этом случае сравнить изображение астероида с изображениями звезд нельзя, так как у звезд экспозиции суммируются, а у Эроса остаются 5-минутными. Поэтому на ту же пластинку необходимо снять звездное небо с такой же экспозицией, какая выбрана для астероида. Это сделать просто. Приступая к фотографированию, надо получить одну «астероидальную» экспозицию звездного неба. Затем, немного сдвинув камеру по склонению, начинаем «длинный» снимок неба, как описано выше. По окончании серии наблюдений еще раз сдвинем камеру по склонению в том же направлении и сделаем еще один «астероидальный» снимок звездного неба. Именно с этими «спутниками» каждой звезды мы и будем сравнивать блеск астероида.

Астроном-любитель может улучшить свои наблюдения, если сразу же после окончания фотографирования (или до его начала) получит на другой пластинке снимок звездного скопления (например, Плеяды или Гиады) с той же экспозицией, с какой фотографировался Эрос. Проявлять этот



снимок нужно в одной кювете со снимком астероида. Совместная обработка снимков даст возможность определить звездные величины звезд сравнения и астероида.

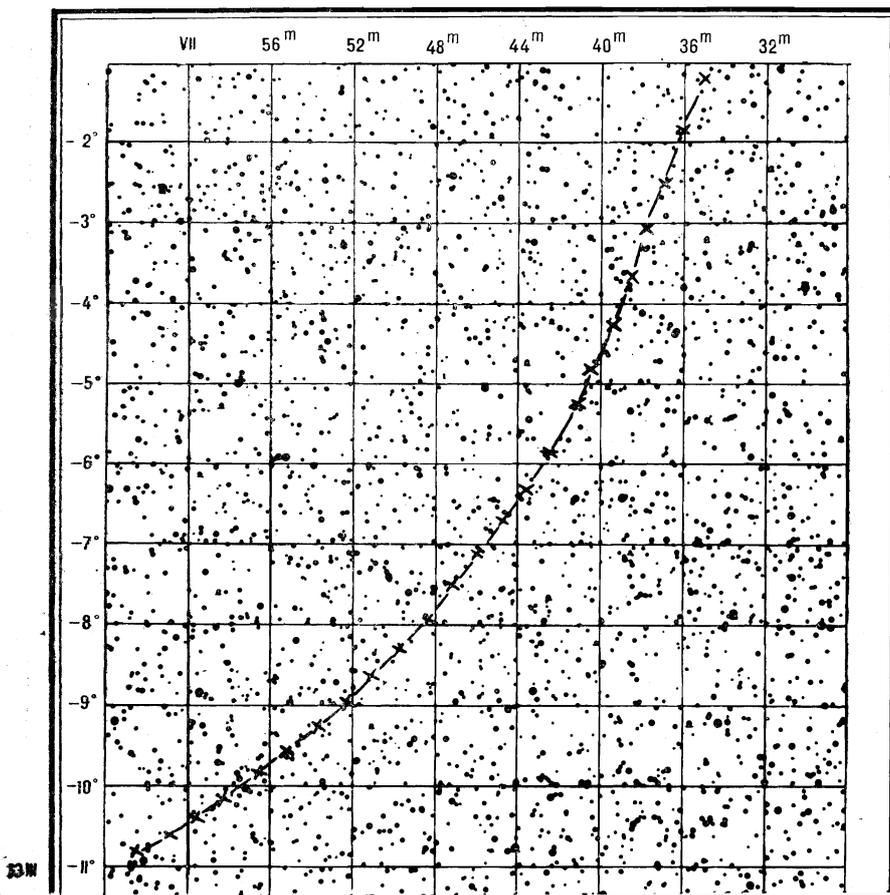
Такая методика оправдывает себя, если фокусное расстояние телескопа достаточно велико. В короткофокусных широкоугольных камерах ее применить не удастся. Так как астероид быстро меняет блеск, необходимо снимки делать достаточно часто. За время перерыва в экспозиции изображение астероида при малом масштабе снимка не успеет переместиться настолько, чтобы выйти раздельным. Поэтому надо или быстро менять кассеты, получая на снимках одиночные изображения, или по окончании одной экспозиции сдвигать камеру с таким расчетом, чтобы и звезды и астероид давали на снимках цепочки изображений. Для этого в окуляре укрепляют сетку из длинной нити, вытянутой вдоль оси склонения, и ряда перпендикулярных нитей, расположенных по прямому восхождению. Гидрировать надо по любой близкой к Эросу яркой звезде, устанавливая на соответствующие «кресты» нитей.

Как фотографические, так и фотоэлектрические наблюдения прекращаются на время видимости Луны, а перерывы в наблюдениях крайне нежелательны. Поэтому в лунные ночи следует проводить визуальные глазомерные оценки блеска, ибо свет Луны им в такой степени не мешает, особенно когда астероид станет ярким.

Путь Эроса среди звезд в конце 1974 — начале 1975 года

Видимый путь Эроса по небу с 18 февраля по 13 марта 1975 года. Карта взята из Боннского атласа, на ней нанесена координатная сетка 1855 года. Путь астероида намечен линией, указаны его положения в момент гриничской полуночи каждой из календарных дат

18 II

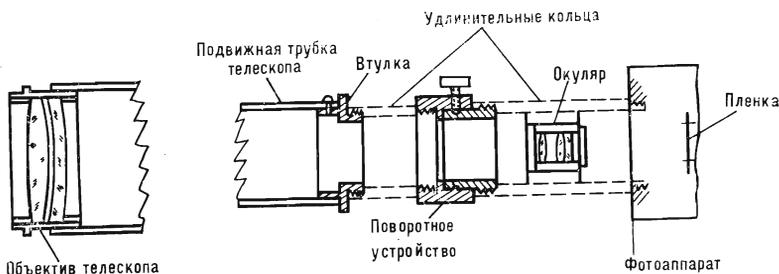
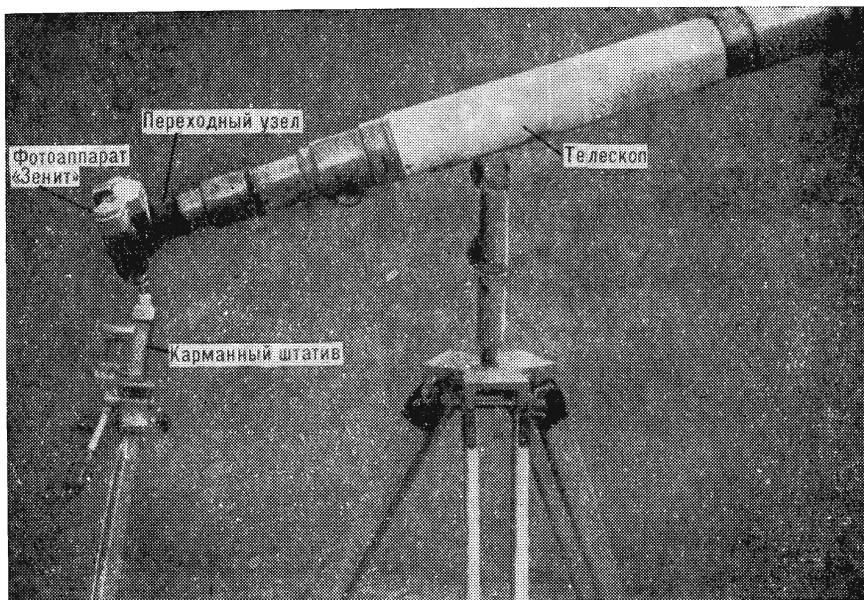


Кандидат технических наук
Ю. К. ЛЮБИМОВ

Фотографируем Луну в школьный телескоп

Малые телескопы-рефракторы, доступные многим любителям астрономии («Земля и Вселенная», № 1, 1974 г., стр. 74—77), по своей конструкции не предназначены для фотографирования небесных объектов. Однако несложная переделка, не нарушающая юстировки телескопа, позволяет приспособить его для получения весьма качественных фотографий Луны и планет. Нужно лишь снять с конца подвижной трубки телескопа втулку с патрубком для окуляров и на ее место поставить специально выточенную втулку, наружная резьба которой М42×1 или 39×1 соответствует резьбе объектива фотокамеры типа «Зенит». К этой втулке и крепится вся фотографическая часть системы. Чтобы можно было проводить в телескоп и визуальные наблюдения, следует выточить еще одну втулку, которая навинчивалась бы на первую и оканчивалась бы патрубком для окуляров.

Если присоединить фотоаппарат (без его объектива) непосредственно к втулке, то изображение Луны на пленке будет всего около 1 см в диаметре и снимков с высоким разрешением получить не удастся. Поэтому необходимо расположить или окуляр Кельнера (фокусное расстояние 20 мм), прилагаемый к телескопу, или окуляр от зрительной трубы «Турист» (без оборачивающей системы), или даже окуляр от театрального бинокля. Окуляр лучше всего поместить в трубку, собранную из 2—3 комплектов удлинительных колец, которые продаются в магазинах фототоваров, и укрепить его с помощью какой-нибудь втулки (например, скле-



енной из картона). Переставляя кольца, можно менять расстояние от окуляра до аппарата и тем самым увеличивать или уменьшать размер изображения на пленке. Если, например, окуляр от трубы «Турист» установить на расстоянии 2—4 см от аппарата, то размер изображения Луны на пленке будет близок к размерам кадра 24×36 мм.

При съемках Луны желательно направлять большую сторону кадра

Школьный телескоп, переоборудованный автором статьи для фотографирования небесных тел

Устройство переходного узла для крепления фотоаппарата к школьному телескопу



вдоль линии лунного терминатора. Этого можно добиться, если фотокамера вращается вокруг оптической оси телескопа. Для поворота камеры служат два кольца с фиксирующим винтом, находящиеся между удлинительными кольцами. Вряд ли есть необходимость подробно описывать эти дополнительные детали — их конструкция достаточно очевидна.

Фокусировка во время съемки выполняется фокусирующим узлом телескопа.

Получению хороших снимков мешают колебания телескопа, вызванные ветром, близко проходящим транспортом и т. п. К сожалению, телескоп с фотоаппаратом, установленный на треножнике, особенно подвержен сильным и медленно затухающим колебаниям вокруг точки крепления. Поэтому целесообразно еще закрепить фотоаппарат на портативном штативе, который продается в магазинах фототоваров. К штативу нужно привинтить карманный штатив (струбцину) с резьбой $3/8''$, а к его шарнирному концу — аппарат. Штатив должен опираться на землю двумя из своих трех ножек. Передвигая их, можно точно навести телескоп на Луну, не ослабляя креплений штатива. Такая фиксация во много раз уменьшит амплитуду колебаний трубы и ускорит их затухание.

Опыт показал, что при съемке Луны в школьный телескоп экспонирование не должно продолжаться более $1/5$ — $1/3$ секунды, так как за большее вре-

■
Луна 31 марта 1974 года. Снимок сделан на школьном телескопе автором статьи

БОЛИД ЦИОЛКОВСКОГО

мя Луна успевает сдвинуться в поле зрения настолько, что очертания кратеров заметно смазываются. Этим обстоятельством определяется оптимальный выбор пленки. При хорошей прозрачности воздуха и большой высоте Луны над горизонтом (например зимой), когда ее диск ослепительно ярок, хорошо подходит пленка Фото-32, а если Луна стоит низко и ее яркость ослаблена, можно применять Фото-250; пленки чувствительностью 65 и 130 ед. ГОСТа полезны для промежуточных случаев.

Непосредственное экспонирование нельзя осуществлять спусковым устройством аппарата, так как механическое движение зеркала и шторки возбуждает те самые колебания, которые портят снимок. Порядок работы при фотографировании должен быть следующим:

телескоп наводится на Луну в расчете на постепенный вход ее в поле зрения;

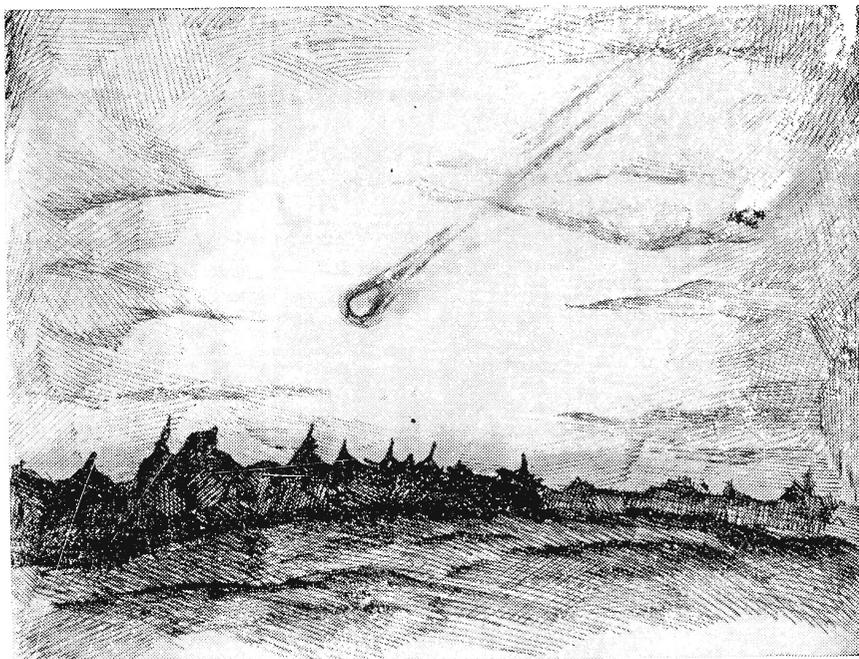
объектив закрывается черным экраном;

затвор аппарата открывается;

экран выводится из соприкосновения с телескопом и через 3—4 секунды (когда колебания затухнут) быстрым движением отодвигается в сторону и возвращается назад. Такой «взмах», выполняемый без усилий, как раз и соответствует выдержке около $1/5$ — $1/3$ секунды;

затвор аппарата закрывается.

Описанным способом можно получить хорошие фотографии не только Луны, но и Венеры, Юпитера, Сатурна с четко различимыми кольцами, а также Солнца, если воспользоваться темными светофильтрами.



Занимаясь проблемами межпланетных полетов, Константин Эдуардович Циолковский, разумеется, не мог не интересоваться малыми космическими телами, не мог не размышлять над тем, насколько вероятна встреча космического корабля с метеорными частицами и какую опасность она несет с собой. Об этом же спрашивали ученого его многочисленные корреспонденты.

В архиве Академии наук СССР хранится неопубликованное письмо К. Э. Циолковского в Одесское общество любителей мироведения от 25 апреля 1928 года. В письме есть такие строки: «Относительно вреда метеоров космической ракете мне многие уже писали. Теперь я отвечаю обстоятельнее». И далее Циолковский вычисляет вероятность встречи

ракеты с метеорными частицами. «Весьма возможно,— замечает он,— что малые массы, если не завязнут в стекле, металле, человеческом теле, то пройдут насквозь этих тел (навылет), почти не повредив им. Даже дыр не образуется. Стекло и металл на пути метеора расплавятся и сейчас же остынут, заплыва отверстие или канал... Опаснее массы в 1 грамм, но ведь они падают на снаряд один раз в сотни тысяч лет».

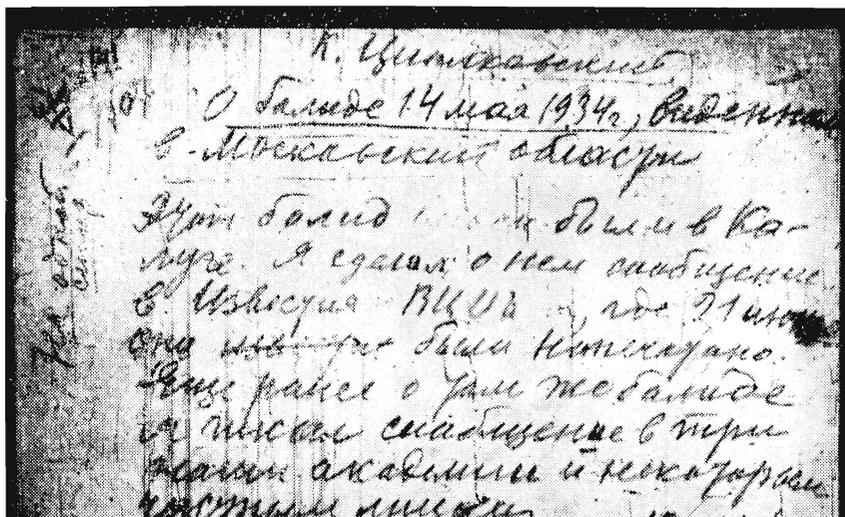
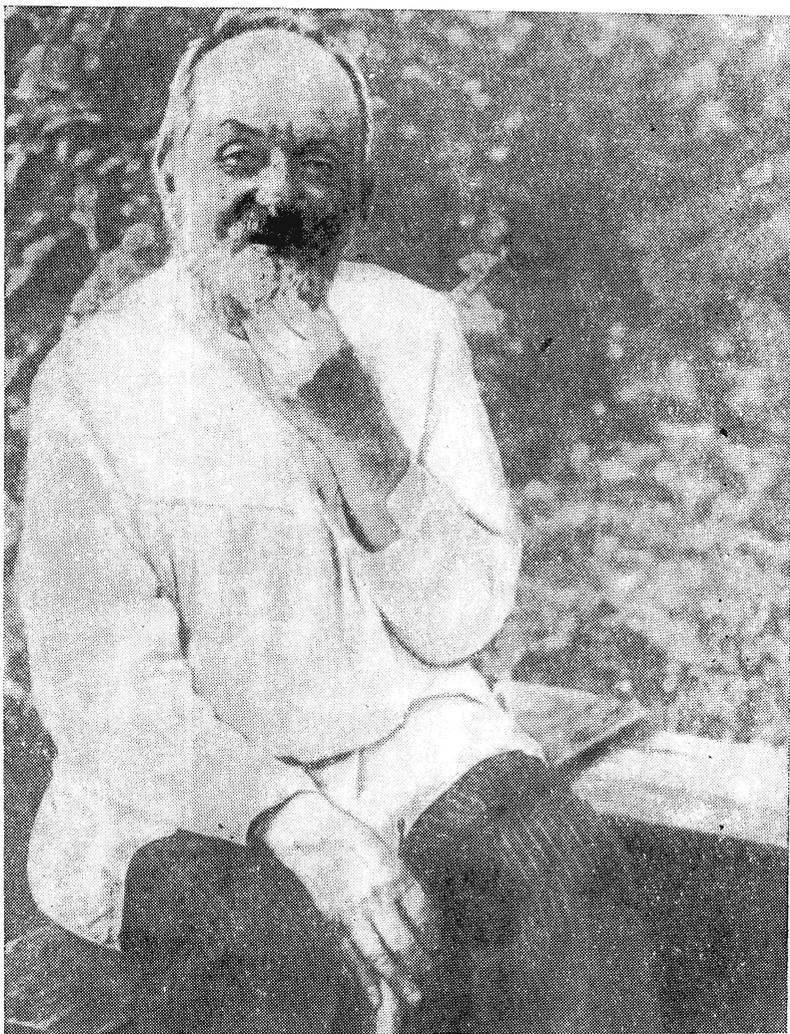
Весной 1934 года случай предоставил Циолковскому возможность стать исследователем полета крупно-

Болід 14 мая 1934 года (по рисунку очевидца)

го болида. В одном из писем от 10 июня 1934 года Константин Эдуардович так описывает это необыкновенное событие: «14 мая 1934 года в 9—10 часов вечера мой внук (В. В. Костин — Г. Ч.) наблюдал случайно на севере, на высоте 35° , между тучами болид диаметром $\frac{3}{4}$ диаметра Луны. Внуку 18 лет. На балконе (у меня) сидел его отец и увидел яркий свет, хотя небо было почти закрыто тучами; но внук вскочил и в течение примерно секунды видел болид между облаками. Он двигался, как я догадываюсь, по направлению к Пегасу или Кассиопее (в этом могу ошибиться), наклонно на запад (это верно). Я был в комнате и ничего не видел. Узнал про то на другой день, утром... Никакого звука не было слышно. Свет был яркий, но облачность его ослабляла».

По вычислениям Циолковского, в тот вечер в земную атмосферу врезалось крупное метеорное тело диаметром «не меньше 500 метров». Месяц спустя Константин Эдуардович посылает в газету «Известия ВЦИК» заметку-обращение «Кто видел болид?» Она была напечатана 21 июня. Циолковский писал в ней: «Думаю, что этот болид был виден в радиусе 200—300 км от Калуги, хотя густые туманы могли его и скрыть от наблюдателей. Всех видевших болид прошу сообщить мне по адресу: Калуга, К. Циолковскому».

И в Калугу посыпались письма. Скоро их было около полутысячи с



Константин Эдуардович Циолковский (1857—1935)

Страницка рукописи К. Э. Циолковского «О болиде 14 мая 1934 года, виденном в Московской области». (Публикуется впервые)

описаниями полета болида, схемами и зарисовками. Циолковский не только прочел все эти письма, он их тщательно изучил. Почти на каждом из уцелевших 228 писем есть его пометки.

Материал был обширный, и на его основе Циолковский начал работать над большой статьей «О болиде 14 мая 1934 года, виденном в Московской области». Он успел сделать лишь черновой ее вариант, который также хранится ныне в архиве Академии наук СССР.

Проанализировав сообщение очевидцев, Циолковский отмечал: «Эффект зрелища зависел от места и погоды, но даже старые люди писали, что никогда не видели ничего более грандиозного.

Метеор... видели: в Боровске, Рязани, Москве, Туле, Кашине, Дзержинске... Короче говоря, его наблюдали кругом за 300—400 км от Боровска. Видели даже на Украине и в Западной области. Освещение плло еще дальше — до Бессарабии... Сначала болид светился слабо, потом достиг максимума и, наконец, стал гаснуть, оставив светлый хвост. В момент максимума он осветил все голубоватым светом вольтовой дуги. Силу этого света сравнивают то с дневным, то с ярким лунным, но можно было свободно читать».

Конечно, болидом заинтересовались специалисты в области метеоритики. Известный исследователь Л. А. Кулик считал, что 14 мая к юго-западу от Москвы, в районе городка Боровска упал каменный метеорит, точнее метеоритный дождь, так как небесный камень разрушился еще в воздухе. Увы, ни один из осколков метеорита еще не найден, но и 40 лет спустя эти поиски не утратили своей актуальности.

Г. Т. ЧЕРНЕНКО

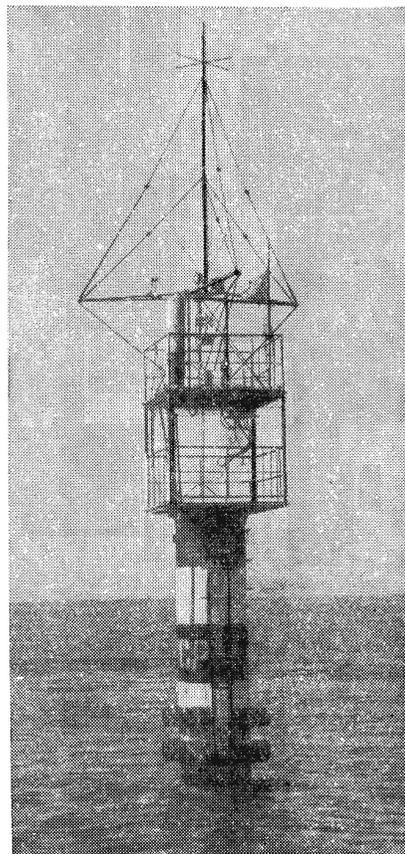
СТАБИЛИЗИРОВАННЫЙ БУЙ НА ЧЕРНОМ МОРЕ

В последние годы стабилизированные буи как носители научно-исследовательской аппаратуры получили распространение во Франции и США. Начали их использовать и у нас в стране. Сотрудники Южного отделения Института океанологии имени П. И. Ширшова АН СССР провели опыт по установке и эксплуатации такого буя в качестве стационарного пункта гидрофизических и гидрометеорологических измерений.

Буй длиной 48 м и общим весом около 26 т состоит из трех отсеков: балластного, приборного и отсека со сжатым воздухом. На верхней части укреплен съемная платформа для размещения измерительной и радиопередающей аппаратуры. Буй можно устанавливать в вертикальном положении и возвращать в горизонтальное, заполняя или продувая балластный отсек. В рабочем положении высота надводной части носителя может меняться от 2,5 до 6 м. Конструкция буя обеспечивает его непотопляемость.

В 1971 году буй установили в Черном море на глубине 90 м в 7 км от берега с помощью двух якорей и притопленных на глубину 15—20 м швартовых бочек. При такой якорной системе нижняя часть ствола свободна от швартовых соединений, что позволяет беспрепятственно проводить измерения под бумом, а также удерживать его при значительных горизонтальных нагрузках во время шторма в рабочем положении.

Летом 1972 года буй был оснащен аппаратурой, автоматической передающей на береговой пункт результаты измерений: ветроизмерительной станцией М-42, измеряющей и передающей по радио скорость и направление ветра, а также экспериментальной радиотермокозой, разработанной Институтом океанологии. Радиотермокоза представляет собой систему автоматического измерения температуры морской воды на не-



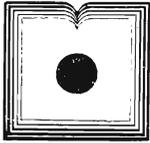
скольких горизонтах (до глубины 62 м) с передачей информации на береговой приемный пункт. Термокоза измеряет температуру воды в диапазоне от $+4^{\circ}$ до $+32^{\circ}$ С с точностью от $\pm 0,05$ до $\pm 0,2$.

Опыт работы со стабилизированным бумом показал, что при волнах высотой до 5—6 м и длиной около 100 м вертикальные его перемещения составляли 0,2—0,3 м, а горизонтальные 1—2 м.

Таким образом, испытания стационарного буя прошли успешно, и в Южном отделении Института океанологии имени П. П. Ширшова АН СССР эта установка будет использована как платформа для экспериментальных и стандартных гидрометеорологических измерений.

«Метеорология и гидрология», 7, 1974 г.

■
Стационарный буй для гидрофизических и гидрометеорологических измерений



КНИГИ
С ЗЕМЛИ
И НЕБЕ

Член-корреспондент АПН СССР
Б. Ф. ЛОМОВ

Человек — оператор в космосе

Может ли человек существовать в условиях космоса? Что предпринять для защиты его от воздействия многочисленных неблагоприятных факторов космического полета? Какие воздействия еще не учтены или еще не известны?

Во всяком истинно научном прогрессивном направлении, особенно комплексном, обязательно непрерывно смещается уровень внутренней значимости его проблем: какие-то из них становятся ключевыми, а проблемам, ранее занимавшим это место, отводится роль вспомогательных.

Достаточно четко этот процесс заметен сейчас в том конгломерате исследований, который призван обеспечить освоение человеком космического пространства. В этой формулировке уже заложено обозначение той проблемы, которая сейчас выходит на ключевые позиции. **Освоение человеком космического пространства** подразумевает активную, целенаправленную, творческую деятельность. Что же можно поручить космонавту? Какие орудия труда ему потребуются? Как должен быть построен и регламентирован его труд?

Общеизвестно, что любое орудие труда формировалось под воздействием двух основных факторов. С одной стороны, на конструкцию орудия труда влияли анатомические, физиологические, психологические характеристики человека. С другой стороны, — окружающая среда: сила земного притяжения, плотности обрабатываемых материалов, температура, давление и т. д. Еще до начала полетов человека в космос можно было с достаточной уверенностью предпо-



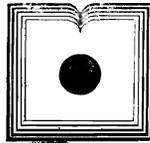
ложить, что «земные» орудия труда не пригодятся в космосе, так как меняются и условия труда, и состояние человека. В чем же конкретно эти изменения выражаются, каков уровень и динамика этих изменений? Как это ни огорчительно, но результатов исследований такого направления в литературе практически нет. Вот почему с особым удовлетворением можно приветствовать выход в свет книги «Человек — оператор в космическом полете» (М., «Машиностроение», 1974 г.). Книга построена на обширном материале, полученном в лабораторных экспериментах и в реальных полетах.

Авторы книги — специалисты различных областей знаний, которые много лет готовили ряд эксперимен-

тов, совместно их проводили, обрабатывали, анализировали. Итак, книгу написали инженер, кандидат технических наук летчик-космонавт СССР Евгений Васильевич Хрунов; психофизиолог, доктор медицинских наук Левон Суменович Хачатурьянц; врач-летчик, психолог, кандидат медицинских наук Владимир Алексеевич Попов; инженер-оптик, кандидат технических наук Евгений Александрович Иванов.

Монография посвящена проблеме эффективности, надежности деятельности космонавта в полете.

Первая глава монографии «Психофизиологический анализ деятельности человека в космическом полете» состоит из двух основных разделов. Сначала авторы знакомят читателей с теми предпосылками, которые легли в основу экспериментов. Многие исследования проводились ими с новых позиций, не получивших еще тогда развития и признания в отечественной и мировой науке. Прежде всего это относится к процессам вероятностного прогнозирования. Исследование начиналось с введения испытуемого в вероятностную среду опыта. Для этого составлялась программа подачи сигналов, набранная из 3—5 альтернатив с определенной вероятностью встречаемости каждого сигнала. Таким образом изучалась стойкость сохранения в памяти человека заданной вероятностно-информационной структуры. Во втором разделе анализируется влияние всех космических перегрузок на профессиональную деятельность космонавта в полете и во время подготовки к полету. В представленной трактовке с комментариями и субъективной оцен-



КНИГИ
О ЗЕМЛЕ
И НЕБЕ

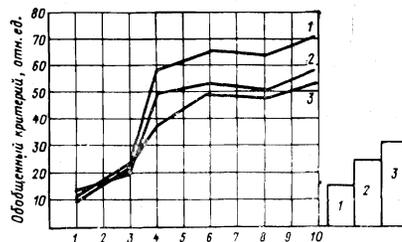
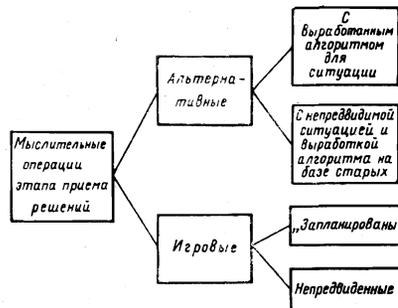
кой профессиограммы летавшего космонавта излагаются впервые. Несомненно, это вызовет большой интерес у специалистов, связанных с космонавтикой.

Особенности труда специалистов в очень многих областях человеческой деятельности определяют необходимость контроля за состоянием человека. Такой контроль проводится для профилактики перенапряжений и для повышения надежности функционирования той системы, в работу которой вовлечен оператор. Это побудило развитие многочисленных исследований, направленных на поиск адекватных критериев оценки состояния оператора, напряженности и эффективности его деятельности. Долгое время подобная оценка базировалась либо на показателях, характеризующих состояние вегетативных функций человека, — пульса, дыхания и т. п., либо на анализе продуктивности и качества деятельности.

Авторы монографии в числе первых встали на путь комплексного объединения информации о состоянии оператора и качестве его деятельности. Они сделали также успешную попытку прогнозировать вероятностную динамику состояния космонавта. Этой проблеме посвящена вторая глава.

В третьей главе рассказано об исследованиях, проведенных при различных способах моделирования космических полетов; о том, как накапливаются «фондовые» материалы, формируются, совершенствуются методические приемы тех экспериментов, которые впоследствии будут проводиться в полете.

Пять глав посвящены рассмотре-

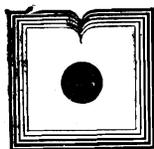


нию большого количества исследований, проведенных в космических полетах на кораблях типа «Восход» и «Союз». Очень своеобразно и весьма

Схема мыслительных операций на этапе приема космонавтом какого-либо решения

Сравнительная характеристика оперативной памяти в условиях Земли и односуточного космического полета: 1 — данные Б. В. Егорова; 2 — данные А. А. Леонова; 3 — данные П. И. Беляева. Линиями показаны наблюдения на Земле, столбиками — в космическом полете

удачно изложен в книге материал. Интересны результаты экспериментов по изучению динамики зрительных функций у космонавта. Возможность определенных изменений в состоянии зрительных функций прогнозировалась многими специалистами еще до первых полетов человека в космос. Субъективные отчеты космонавтов приводили порой к неожиданным и противоречивым выводам. В частности, некоторые американские специалисты на основе субъективных отчетов решили, что зрение в космическом полете обостряется, причем во много раз. Теоретически это было невозможно объяснить. Авторы монографии разработали специальные методы и поставили психофизиологические эксперименты в полетах кораблей «Восход», «Восход-2», «Союз-1, -3, -4, -5, -9». Полученные материалы достаточно достоверно характеризуют динамику изменения зрительных функций на отдельных этапах полетов различной продолжительности. Эти данные позволили внести соответствующую коррекцию в результаты тех наблюдений земной поверхности, дневного, ночного и сумеречного горизонта, оптической характеристики верхних слоев атмосферы, которые представлены в пятой главе. Большой материал исследования основных функций зрения космонавтов в полете позволяет считать, что изменения этих функций сравнительно невелики. Их величины, колеблющиеся в зависимости от функции в пределах от 5 до 30—40%, как правило, сами космонавты не замечают. Можно утверждать, что работоспособность зрительного анализатора в космическом полете снижается на величину второ-



КНИГИ
О ЗЕМЛЕ
И НЕБЕ

го порядка малости по сравнению с наблюдаемыми изменениями отдельных функций зрения. Так что зрение космонавтов в полете столь же надежно, как и на Земле, а значит использование зрения в космосе открывает безграничные возможности для проведения научных и прикладных работ (визуальные наблюдения, фотографирование и т. д.)

Шестая глава содержит описание методических приемов и результатов ряда психологических и психофизиологических исследований. Авторами монографии разработана оригинальная портативная бортовая аппаратура, в состав которой входит, например, регистратор процессов слежения и портативный рефлексграф.

В седьмой главе рассматриваются особенности деятельности космонавта в открытом космическом пространстве. На основании экспериментальных материалов отмечается высокая эмоциональная окраска поведения космонавтов. Здесь впервые идет разговор о дефиците времени в их деятельности, вскрываются психофизиологические механизмы. Подробно описаны выходы в открытый космос американских астронавтов и работа в безопорном пространстве. Показаны и проанализированы динамические характеристики этого вида деятельности космонавта и те пути, которые могут привести к ее оптимизации.

Вряд ли можно назвать в настоящее время более эмоционально насыщенную профессию, чем профессия космонавта. Несмотря на это, в литературе очень скупо представлены экспериментальные исследования эмоций в космосе. Такую попытку предприняли авторы рецензируемой

книги в восьмой главе. Наряду с традиционными психофизиологическими методами авторы применили перспективный бездатчиковый метод анализа эмоционального состояния космонавта по интонационным характеристикам его речи, что дало возможность в значительной мере понять основные причины флуктуации эмоционального состояния космонавта на различных этапах космического полета, оценить, как эмоции различного характера влияют на деятельность оператора. Авторы пришли к заключению, что природу эмоций космонавта следует искать прежде всего в неопределенности полетных ситуаций, огромной профессиональной ответственности, в чувствах первооткрывателя и, конечно, в чувстве риска. Авторы смогли хорошо выделить, охарактеризовать и снабдить примерами каждую из приведенных причин человеческих эмоций в космосе.

Значительное место в книге отведено вопросам безопасности космических полетов и перспективам деятельности человека во время межпланетных полетов.

Графики, диаграммы, иллюстрации, приведенные в монографии, свидетельствуют о большом экспериментальном багаже, полученном авторами при подготовке и проведении полетов советских космических кораблей.

Необходимо отметить, что издательство «Машиностроение» (главный редактор Л. А. Гильберг) своевременно выпустило в свет книгу, которая, несомненно, представит большой интерес для специалистов, занимающихся вопросами космонавтики.

1 ЯНВАРЬ ФЕВРАЛЬ 1975

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 географических наук А. А. АКСЕНОВ, кандидат физ.-мат. наук В. А. БРОНШТЭН, член-корреспондент АН СССР Ю. Д. БУЛАНЖЕ, доктор техн. наук А. А. ИЗOTOV, доктор физ.-мат. наук И. К. КОВАЛЬ, доктор географических 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 К. 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

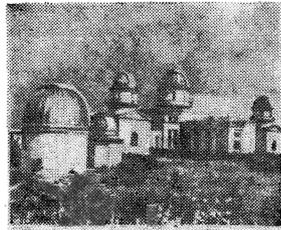
Корректоры: С. М. Веритэ и
Т. Н. Морозова

Обложку оформил В. Вандер

При перепечатке ссылка на журнал
«Земля и Вселенная» обязательна

T-02119. Подписано в печать 23/1 1975 - Слано в набор 30/X 1974 г. Формат бумаги 84x108¹/₁₆. Бум. л. 3,0. Печ. л. 10,08. Уч.-изд. л. 11,3. Цена 40 коп. Тираж 45 000 экз. Заказ 1313.

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



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



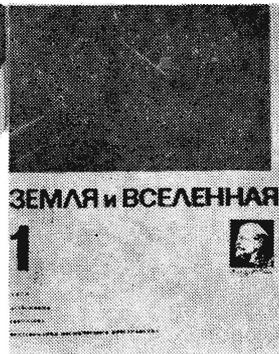
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



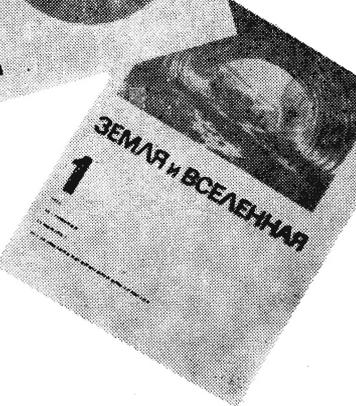
ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1



ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1

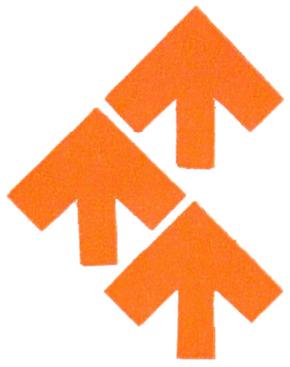


ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
1

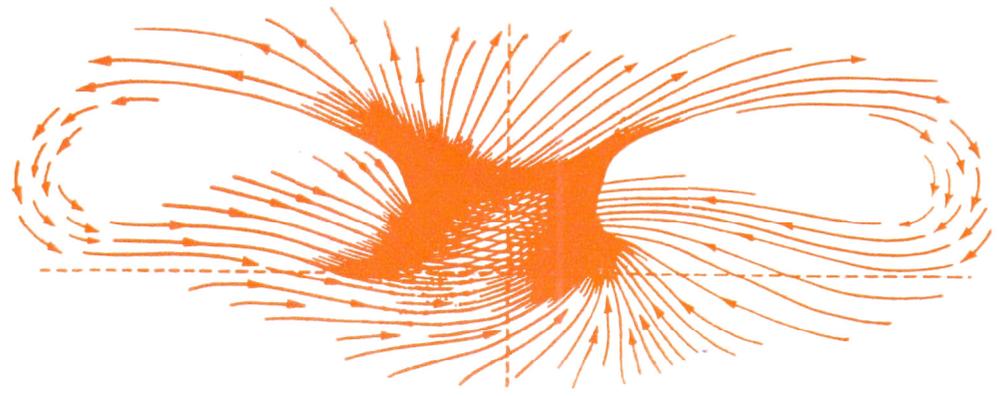
ЗЕМЛЕ И ВСЕЛЕННОЙ 10 ЛЕТ

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ
И ВСЕЛЕННАЯ

Вопросы 35/12 -55



$$P_y = C_y \frac{\rho v^2}{2} S$$



ИНДЕКС 70336 ЦЕНА 40 КОП

ИЗДАТЕЛЬСТВО „НАУКА“

