

ISSN 0032—874X

# ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР



МАЙ **5** 1987

май  
1987

# ПРИРОДА

Основан  
в 1912 году

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ ПОПУЛЯРНЫЙ ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ АКАДЕМИИ НАУК СССР

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

- Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ
- Кандидат физико-математических наук  
А. И. АНТИПОВ
- Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ
- Член-корреспондент АН СССР  
Р. Г. БУТЕНКО
- Доктор географических наук  
А. А. ВЕЛИЧКО
- Академик  
В. А. ГОВЫРИН
- Член-корреспондент АН СССР  
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ
- Заместитель главного редактора  
Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ
- Член-корреспондент АН СССР  
Г. А. ЗАВАРЗИН
- Член-корреспондент АН СССР  
В. Т. ИВАНОВ
- Доктор физико-математических наук  
Н. П. КАЛАШНИКОВ
- Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА
- Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ
- Кандидат физико-математических наук  
А. А. КОМАР
- Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ
- Доктор геолого-минералогических наук  
И. Н. КРЫЛОВ
- Доктор философских наук  
Н. В. МАРКОВ
- Ответственный секретарь  
В. М. ПОЛЫНИН
- Доктор исторических наук  
П. И. ПУЧКОВ
- Заместитель главного редактора  
академик  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ
- Доктор философских наук  
Ю. В. САЧКОВ
- Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ
- Академик АН УССР  
А. А. СОЗИНОВ
- Академик  
В. Е. СОКОЛОВ
- Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ
- Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ
- Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Л. П. ФЕОКТИСТОВ
- Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН
- Доктор физико-математических наук  
А. М. ЧЕРЕПАЩУК
- Доктор физико-математических наук  
В. А. ЧУЯНОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



С Москва «Наука»  
Природа 1987

НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ ОБЛОЖКИ.  
Толбачинское извержение, кальдера Узон и грязевые котлы.  
См. в номере: Мехтиев Ш. Ф., Халилов Э. Н. ВУЛКАНЫ И ГЕОДИНАМИКА.

Фото В. Е. Гиппенрейтера.

# В номере:

## 3 Полигон исследований — океан (Интервью с Л. М. Бреховских)

Мировой океан, этот богатейший источник биологических, минеральных, энергетических ресурсов, представляет собой широкое поле для исследований разного профиля. От результатов таких работ во многом зависит будущее человечества.

## 10 Берджер Дж., Гохберг М. Б., Кохрэн Т., Нерсесов И. Л. Сейсмический контроль и проблема запрещения ядерных испытаний

Советско-американский эксперимент доказал, что чувствительные приборы регистрируют любые подземные ядерные испытания. Следовательно, возможное соглашение об их запрещении поддается надежному сейсмическому контролю.

## 18 Иванов В. И. Микродозиметрия

Взаимодействие излучения с веществом имеет случайный характер, так что поглощенная энергия распределяется в облученном объеме неравномерно. Зная параметры этого распределения, удается точнее предсказать последствия облучения.

## 26 Андронов И. Л. Поляры

Внимание астрофизиков привлекла немногочисленная группа объектов, получивших название «полярнов» из-за чрезвычайно большой поляризации их излучения. Оказалось, что они представляют собой двойные звездные системы, в которых магнитное поле одного компонента (белого карлика) простирается вплоть до звезды-спутника.

## 36 Терехин Э. С. Растения-паразиты

Эти растения — уникальный эксперимент, поставленный самой природой, и модель для изучения важных аспектов эволюции.

## 46 Мехтиев Ш. Ф., Халилов Э. Н. Вулканы и геодинамика

Усиление и ослабление активности вулканов на Земле связано с глобальным геодинамическим процессом — перемещением огромных литосферных плит по поверхности планеты.

## 50 Дюргеров М. Б. 50 дней на айсберге

Научные исследования в Антарктиде «смещаются» в сторону шельфовых ледников, под которыми находятся крупные запасы полезных ископаемых и от которых откалывается большинство айсбергов — потенциальных источников пресной воды. На одном из таких ледников располагалась база Дружная-1. Здесь в 1986 г. 50 дней работала группа исследователей 31-й Советской антарктической экспедиции.

## 64 Струнников В. А. Природа и проблемы гетерозиса

Новый взгляд на природу гетерозиса открывает совершенно отличные от прежних, эффективные способы повышения продуктивности скота и урожайности культурных растений.

## 77 УРОКИ А. А. ЛЯПУНОВА

Ершов А. П. Учитель (78)

Воронцов Н. Н. Окружение и личность (81)

Алексей Андреевич Ляпунов был человеком энциклопедических знаний и широких интересов, но несравненное значение его личности в истории нашей науки состоит в редком даре каталогизатора идей и новых научных направлений.



## НОВОСТИ НАУКИ

99 Крупнейшая магнитная буря (99) \* Можно ли наблюдать облако Оорта? (99) \* «Дождевые полосы» на Сатурне (100) \* Время жизни нейтрона (101) \* Обнаружен новый мезон (101) \* Открытие высокотемпературных сверхпроводников (101) \* Вандер-ваальсовы силы между нагретыми телами (102) \* Снова магнитный монополю? (103) \* Свободные водно-натриевые кластеры (103) \* Световая дифракционная решетка (104) \* Мембрана — электрический кабель (105) \* Новые противовоспалительные средства (105) \* Панкреостатин — регулятор углеводного обмена (105) \* Механизм действия иммуносупрессора (106) \* Гомология белков ретровирусов и скрэпи (106) \* Регулятор роста — с молоком матери (106) \* Моноклональные антитела — иммунодепрессанты (107) \* Моноклональные антитела двойной специфичности (107) \* Генная инженерия и молочное хозяйство (108) \* Марафонец с пересаженным сердцем (108) \* Новое противовирусное средство (108) \* Географические представления у детей (108) \* Защита медом (109) \* Конкуренция песцов и сов на острове Врангеля (109) \* Жив ли сумчатый волк? (109) \* Необычная летучая мышь (110) \* Плодовитая змея (110) \* Гольий землекоп в зоопарке (111) \* Конкуренция мужских цветков у орхидей (111) \* Землетрясения в малосейсмичной зоне (112) \* 110-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» (112) \* Глобальное потепление, Сахельская засуха и Мировой океан (113) \* Гидрологические изменения в заливе Аляска (114) \* Реки сносят сушу (114) \* Лабораторные исследования кислотных осадков (115) \* Ртуть в окружающей среде (115) \* Рестройки фауны морских моллюсков Европы (115) \* Орлан-белохвост вернется в Ирландию (116)

Научные редакторы:  
И. Н. АРУТЮНЯН,  
О. О. АСТАХОВА,  
Л. П. БЕЛЯНОВА,  
А. В. ДЕГТЯРЕВ,  
М. Ю. ЗУБРЕВА,  
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,  
В. В. МАЙКОВ,  
Л. Д. МАЙОРОВА,  
Н. Д. МОРОЗОВА,  
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:  
Н. Б. ГОРЕЛОВА,  
И. В. ДМИТРИЕВА,  
Г. И. ПАНКОВА

Художник  
С. И. МИРОНЕНКО

Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ,  
Д. И. СКЛЯР

Зав. редакцией  
О. В. ВОЛОШИНА

В номере использованы  
фотографии  
В. И. ЖИВОТЧЕНКО,  
Б. А. КУВШИНОВА,  
Е. Г. ЛЮБИНСКОГО,  
А. С. СКВОРЦОВА,  
Э. С. ТЕРЕХИНА,  
К. С. ШАТОВА

В художественном оформлении  
номера принимали участие:  
Н. Н. АБРАМОВ,  
В. С. КРЫЛОВА,  
Б. И. КУЗЬМИН,  
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Корректоры:  
О. Н. БОГАЧЕВА,  
Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного  
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:  
117049, Москва, ГСП-1,  
Мароновский пер., 26.  
Тел. 238-24-56, 238-26-33

## РЕЦЕНЗИИ

117 **Перевозчиков И. В.** Впервые все о биологии (на кн.: Биологический энциклопедический словарь) (117)  
**Шрейдер Ю. А.** Логика развития науки (на кн.: Черняк В. С. История. Логика. Наука) (118)

## НОВЫЕ КНИГИ

121 **Чаклин А. В.** География здоровья (63) \* **Лисина М. И.** Проблемы онтогенеза общения (76) \* Космическое оружие: дилемма безопасности (121) \* **Липунов В. М.** В мире двойных звезд (121) \* **Сюрц Кл. Э.** Необыкновенная физика обыкновенных явлений (121) \* **Секи Х.** Органические вещества в водных экосистемах (122) \* **Губанов Е. П., Кондюрин В. В., Мягков Н. А.** Акулы мирового океана (122) \* **Бернс Р.** Развитие Я-концепции и воспитание (122) \* **Гаврилов В. П.** Происхождение нефти (122) \* **Бабаев А. Г., Зонн И. С., Дроздов Н. Н., Фрейкин Э. Г.** Пустыни (123) \* **Павлова Г. Е., Федоров А. С.** Михаил Васильевич Ломоносов (1711—1765) (123) \* **Крикштопайтис И. Б.** Физическая реальность в квантовом аспекте (123)

## ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ

124 **Ольга Н.** Литературный портрет Н. А. Северцова

Сдано в набор 6.03.87  
Подписано к печати 13.04.87  
Т—08946  
Формат 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,32  
Усл. кр.-отт. 1472,4 тыс.  
Уч.-изд. л. 15,4  
Бум. л. 4  
Тираж 55 000 экз. Зак. 719

Ордена Трудового  
Красного Знамени  
Чеховский полиграфический  
комбинат  
ВО «Союзполиграфпром»  
Государственного  
комитета СССР  
по делам издательств,  
полиграфии  
и книжной торговли.  
142300 г. Чехов  
Московской области

# ПОЛИГОН ИССЛЕДОВАНИЙ— ОКЕАН

Интервью с Л. М. Бреховских

Надежды человечества издавна связаны с Мировым океаном — богатейшим источником биологических, минеральных, энергетических ресурсов. Не случайно исследованиями океана ныне занимаются тысячи специалистов самого разного профиля. Значительный вклад в копилку знаний об океане вносят советские исследователи, для которых текущий год станет знаменательным — осенью в Ленинграде они подведут итоги своей работы на очередном III съезде советских океанологов. Наш корреспондент М. Ю. Зубрева обратилась к академику Л. М. Бреховских с просьбой ответить на ряд вопросов, касающихся некоторых проблем физической океанографии и организации океанологических исследований.

**КОРРЕСПОНДЕНТ.** В Вашей статье в «Природе», которой открывался специальный номер нашего журнала, посвященный проблемам Мирового океана (1976, № 11), были затронуты некоторые важнейшие направления исследований и оценивались их перспективы. В частности, речь шла об изучении циркуляции океана и взаимодействии океана с атмосферой. Какие из экспериментов последнего десятилетия оказались, по Вашему мнению, наиболее плодотворными для анализа этих явлений? Что нового удалось в них установить?

**Л. М. БРЕХОВСКИХ.** В 1977—1978 гг. для дальнейшего исследования открытых в 1970 г. советскими океанологами гигантских вихрей, повсеместно существующих в открытом океане, был проведен советско-американский эксперимент ПОЛИМОДЕ. Он стал продолжением двух предшествующих — советского «Полигона-70», во время которого и были впервые зафиксированы вихри в Северной Атлантике, и американского МОДЕ («Mid Ocean Dynamic Experiment»), подтвердившего их существование в Саргассовом море в 1973 г.



Леонид Максимович Бреховских, академик, академик-секретарь Отделения океанологии, физики атмосферы и географии АН СССР, заведующий секцией акустики океана Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, председатель Комиссии по проблемам Мирового океана АН СССР, главный редактор журнала «Океанология». Специалист в области физической океанографии, акустики океана, участник многочисленных океанских рейсов. Автор книг: Волны в слоистых средах. М., 1973; Георетические основы акустики океана (в соавторстве с Ю. П. Лисановым). Л., 1982; Океан и человек, настоящее и будущее. М., 1987. Лауреат Ленинской премии и Государственных премий СССР. В мае этого года Л. М. Бреховских исполняется 70 лет. Редакция и редколлегия журнала поздравляют Леонида Максимовича с юбилеем, желают ему доброго здоровья и новых успехов в научной деятельности и пропаганде достижений науки.

Нельзя не отметить, что открытие этих вихрей было большим событием в науке — оно полностью изменило представления о движении океанских вод. Результаты ПОЛИМОДЕ оказались очень внушительными и интересными. Советские ученые создали и больше года поддерживали систему из 19 буйковых станций. Кроме того, нашими кораблями разных ведомств были проведены обширные гидрологические съемки, по результатам которых картину течений можно было вычислить, используя уравнения гидродинамики.

Понадобилось много времени, чтобы обработать материалы ПОЛИМОДЕ. За последние 5—8 лет в океанологических изданиях постоянно появляются работы, основанные на результатах этих экспериментов. Мне кажется, что еще долго из них можно будет «вытягивать» интересные данные. Но уже многое удалось выяснить. Анализ материалов, полученных на советских буйковых станциях и на американской системе дрейфующих акустических буев, показал, что 90—95 % кинетической энергии океана заключено в крупномасштабных океанических вихрях. Десять лет назад была неясна причина их возникновения. Полагали, что это либо нестабильность самих течений, либо результат их движения над неровным дном, либо влияние крупных атмосферных возмущений. Во время эксперимента ПОЛИМОДЕ окончательно выяснилось, что причина образования вихрей в открытом океане — это именно неустойчивость течений. Были изучены эффекты взаимодействия вихрей друг с другом. Кроме того, много очень интересных теоретических работ, основанных на экспериментах, было сделано в области волновой интерпретации вихрей. Оказалось, что их можно рассматривать как волны Блиновой — Россби, т. е. волновые движения в толще океана с периодами до нескольких месяцев и длинами — до сотен километров. Выявлены были также солитоны волн Блиновой — Россби — уединенные волны, характеризующие типично нелинейными законами распространения.

В качестве важнейшего обобщения материалов эксперимента 1977—1978 гг. можно назвать атлас ПОЛИМОДЕ, в котором результаты исследований были представлены в графической форме. Этот материал еще долго будет служить для дальнейших размышлений. Почти все материалы ПОЛИМОДЕ были переданы в центры сбора океанографических данных. Кроме многих частных монографий были изданы две общих — в СССР коллективом исследова-

телей во главе с А. С. Мониным и в США под руководством А. Робинсона.

Если эксперимент ПОЛИМОДЕ в основном касался циркуляции самого океана, то задача программы «Разрезы» — изучение взаимодействия океана и атмосферы, вернее, попытка понять, как океан склывается на колебаниях климата. На сегодня это самая крупная и трудоемкая программа, которую когда-либо имела океанология вообще. Ее идеологом и руководителем является Г. И. Марчук. Сформулирована программа в конце 70-х годов, работы по ней уже ведутся и в каком-то виде будут, по-видимому, продолжаться в 90-е годы.

Идея программы состоит в следующем. В формировании погоды, а значит и климата на Земле, участвует весь Мировой океан. Поэтому, строго говоря, нужно держать его под постоянным наблюдением: измерять поверхностную и глубинную температуры, перенос тепла течениями, обмен с атмосферой теплом, влагой, количеством движения и т. п. Затем нужно включить все полученные данные в модели циркуляции атмосферы и океана, учитывающие также взаимодействие океана с атмосферой и континентами. Однако пока такая работа человечеству не по плечу. В свое время разработав теорию так называемых сопряженных уравнений для циркуляции атмосферы с учетом влияния океана, Г. И. Марчук впоследствии выяснил с помощью этих уравнений и данных о реальной погоде в разных частях земного шара, что некоторые районы океана наиболее активно влияют на погоду и климат. Они выделяют в атмосферу или поглощают из нее наибольшее количество тепла, в них активнее всего идет обмен массой, интенсивные течения. Эти зоны были названы энергоактивными зонами океана. Очевидно, именно в них в первую очередь следует организовать регулярные многолетние наблюдения, которые должны охватить всю глубину океана, а также атмосферу. Пока работы по программе «Разрезы» ведутся в немногих зонах — это зона Курисио в Тихом океане и 4 зоны в Атлантике. (Некоторые ученые насчитывают до 15 таких зон.) Около 24 экспедиций работает ежегодно по этой программе, в которой пока кроме советских ученых принимают некоторое участие ученые Польши, ГДР и Болгарии. Недавно в Севастополе прошла очередная конференция по программе «Разрезы». Уже сейчас в работах по программе собирается громадное количество материалов, строятся математические модели, как

говорят, для усвоения этого материала. С учетом данных, полученных раньше, и тех, которые собраны экспедициями других стран, вскоре можно будет строить более совершенные модели взаимодействия атмосферы и океана, но это в будущем, а пока что анализ экспериментальных данных, полученных в энергетически активных зонах, показывает, что в таких районах значительна амплитуда годовых колебаний температуры поверхности океана, максимальна величина колебаний разности температур воздуха и воды, велика интенсивность горизонтальной и вертикальной циркуляции вод. Поэтому неудивительно влияние этих зон на погоду и изменение климата планеты, сказывающееся даже на отдаленных от них участках суши.

**КОРР.** Вы назвали создание моделей взаимодействия океана и атмосферы по данным программы «Разрезы» делом будущего. Тем не менее известно, что в последние годы во многих странах интенсивно разрабатываются подобные модели различной степени сложности. Какова, с Вашей точки зрения, их адекватность исследуемым объектам? Можно ли уже сегодня говорить об отдаче модельного подхода?

**Л. М. БРЕХОВСКИХ.** Мне кажется, что пока о практической отдаче моделей, учитывающих влияние океана, говорить рановато, хотя они и совершенствуются. Очень уж сложны и сам океан, и атмосфера, и взаимодействие между ними. Вспомним, что человек уже побывал на Луне, а надежный прогноз погоды на декаду — это пока нерешенная проблема. Кроме того, нужны чрезвычайно мощные машины для того, чтобы обсчитывать такие многоуровневые модели, которые одновременно охватывают и океан, и атмосферу, и взаимодействие между ними. Надо еще разобраться и в вопросах так называемой параметризации. Например, весьма важен обмен теплом и влагой между океаном и атмосферой. Но этот обмен зависит от многого. Если на поверхности океана появляется капиллярная рябь, обмен уже меняется. Но в моделях пока не удастся учесть на площадях в миллионы квадратных километров, где эта рябь имеется и где ее нет, и поэтому надо как-то охарактеризовать такой обмен, взаимодействие между атмосферой и океаном, некими обобщенными средними параметрами для значительных по площади акваторий. Вот это и называется параметризацией взаимодействия, в данном случае атмосферы и океана.

Над этой и подобными достаточно сложными проблемами ведется большая работа, причем международными силами. Так, группа советских специалистов из Академии наук СССР во главе с А. С. Саркисяном тесно взаимодействует с группой Ю. Зюндермана из Гамбургского университета, ФРГ. Идет обмен данными, наши специалисты работают на вычислительных машинах в Гамбурге. Модели развиваются, но пока они слишком сложны, чтобы как-то войти в практику. Тем не менее на моделирование возлагают (и не без основания) большие надежды. Без него вряд ли возможен прогноз погоды и изменений климата. Эта проблема одна из самых важных для всего человечества. Не случайно существует Всемирная программа исследований климата, в которой принимает участие и наша страна. А океан — один из главных факторов, влияющих на климат, можно сказать, — ключевое звено. Правда, климат стали теперь по-разному понимать. Раньше климатом считали погоду, усредненную лет за 20—30, а теперь, когда погода меняется год от года, говорят, что меняется климат, так что тут есть у самих ученых некоторая неопределенность в терминологии. Например, школа Марчука и Саркисяна пользуется представлением о кратковременных колебаниях климата.

**КОРР.** В 60-х годах начались широкомащтабные исследования акустики океана, о которых Вы рассказывали на страницах нашего журнала более 10 лет назад. Какие новые результаты получены в этой области за прошедшее время?

**Л. М. БРЕХОВСКИХ.** За прошедшие годы в акустических исследованиях океана произошло много нового. Во-первых, усовершенствовались математические модели акустических полей в океане. Теперь мы можем рассчитывать распространение звука в океане, свойства которого как угодно изменяются вдоль трассы распространения; учитывать влияние синоптических вихрей, внутренних или поверхностных волн на звуковые поля. В частности, советским ученым А. Г. Вороновичем была развита новая, более совершенная теория взаимодействия звуковых волн с волнами на поверхности океана.

Теоретические и экспериментальные исследования звуковых полей и их связи с различными явлениями в океане позволили подойти к решению обратной задачи — определению структуры вод океана по измеряемым акустическим полям. В послед-



ние годы много говорят о так называемой акустической томографии океана. Может быть, на этом стоит остановиться подробнее.

Некоторые данные о самых поверхностных слоях океана можно получить из космоса, зондируя их электромагнитными волнами со спутников. А как контролировать глубины океана? Ведь когда были открыты синоптические вихри, встала задача постоянно следить за их существованием и передвижением. Вот тогда-то и была выдвинута идея организовать в океане акустическую систему контроля, сходную с системой компьютерной рентгеновской томографии человеческого организма. Звук распространяется в океане на тысячи километров. Можно разместить приемно-излучающие пункты в разных точках океана и просвечивать его толщу в разных направлениях. По разным характеристикам звуковых волн, которые приходят от одной точки к другой, скажем по времени распространения, можно определить особенности структуры океана в том объеме, по которому распространялся звук. Вот это и называют акустической томографией океана. Это очень сложная система. Пока она была осуществлена учеными США в опытных масштабах. Здесь очень много технических проблем — ну, например, единый отсчет времени для всей системы. Необходимо зафиксировать, что при распространении на расстояние, скажем 1000 км, звук, идущий к тому же не прямо, запоздал на пять тысячных секунды. Это важно, а для этого нужно, чтобы было единое время и у излучателя, и у приемника. Поскольку вихри, которые мы хотим тщательно изучить, имеют периоды изменения в несколько месяцев, надо, чтобы система действовала минимум полгода. Так что необходимо единое время на полгода, источник питания на полгода, нужны также мощные излучатели.

Легче осуществить томографию прибрежных участков океана, так как часть излучателей и приемников звука тогда можно установить на мелководье и связать их с берегом кабелем. В дальнейшем планируется «динамическая» томография с движущихся кораблей или дрейфующих буев, местоположение которых будет фиксироваться достаточно точно.

Возможно также томографическое исследование дна океана. Не так давно мы провели такой опыт в экспедиции. Уже несколько лет используют автономные донные станции, которые можно оставлять на очень долгое время в какой-то точке

дна — они записывают шумы океана и любой другой акустический сигнал. Корабль поставил донную станцию, она утонула, легла на дно, включилась, а сам корабль на полном ходу уходит, излучая шум в широкой полосе частот. Станция записывает, во-первых, шум, который идет к ней непосредственно от корабля, а, во-вторых, тот, который частично проникает в дно и отражается от его различных слоев. Оказалось, что по данным, принятым станцией, можно потом определить структуру дна. Мы провели свой опыт в одной из точек, где уже бывало американское буровое судно «Гломар Челленджер», и имеются данные, полученные при обработке керна. Так что мы смогли сравнить с ними свои результаты, и получилось довольно приличное совпадение. Привлекательна простота эксперимента, когда кроме корабля, «убегающего» от станции, больше ничего не нужно (правда, нужна сама станция и система обработки). Это — тоже томография, потому что и здесь ведется сплошной анализ (от греч. τόμος — ломать, слой).

Надо также сказать, что за последнее десятилетие сильно усовершенствовалась акустическая техника обследования морского дна. Если раньше обычный эхолот давал профиль дна лишь по курсу корабля, то теперь появились приборы — многолучевые эхолоты и гидролокаторы бокового обзора, которые рисуют рельеф дна сразу в широкой (иногда — многокилометровой) полосе и, кроме того, фиксируют свойства грунта в этой полосе и любые объекты, находящиеся на дне. Используя подобный «дальнобойный» гидролокатор бокового обзора, участники экспедиции Института океанологии АН СССР под руководством Ю. Ю. Житковского показали возможность экспрессной, дистанционной разведки полей железомарганцевых конкреций.

Другое интересное направление акустических исследований дна родилось и развивалось у нас в стране. Возникла идея создать многоэлементную антенну по принципу сетчатки глаза — большую решетку с гидрофоном, которая смотрела бы вниз. Такая решетка с 256 воспринимающими звук ячейками была изготовлена и испытана в одной из экспедиций. С поверхности посылается узко направленный пучок звука, который, отразившись от дна и испытав рассеяние, воспринимается этой «сетчаткой». Затем данные обрабатываются с помощью ЭВМ. Так, с помощью акустики удалось довольно детально рассмотреть дно, и в частности поля железомарганцевых конкреций, их скопления.



КОРР. Что бы Вы могли сказать о наиболее значительных подводных экспериментах, проведенных нашими океанологами? В частности, можно ли рассчитывать на какие-либо океанологические приложения широко обсуждающегося в научной печати проекта «Дюманд», основная цель которого — регистрация системой специальных глубоководных детекторов наиболее слабо взаимодействующей с веществом элементарной частицы — нейтрино?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Можно считать удачными и результативными подводными экспериментами все, что делается в последние годы на «Пайсисах», опускающихся на глубину 2 тыс. м. У вас в журнале об этих работах уже много рассказывали<sup>1</sup>. Недавно закончился такой рейс под руководством А. П. Лисицына. Получены интересные данные, касающиеся дна океана, и в частности — сернистых руд, рудных корок. Что касается проекта «Дюманд», то сейчас ведут некоторые эксперименты по этому проекту, например на Байкале со льда, откуда очень удобно опускать датчики вниз, частичные результаты уже получены. Но предстоящий «Дюманд» в океане, как он вначале задумывался — система из многих тысяч оптических и акустических ультразвуковых приемников, простирающихся в длину и в ширину на километр и на несколько сот метров в глубину, — до этого пока далеко. Как человек, давно работающий в океане и знакомый с тем, что такое океанические постановки, знаю, какое это сложное дело. Поэтому хотелось бы поддержать энтузиастов этого эксперимента. Какими могли бы быть океанологические применения этого проекта? Если антенна из десятка тысяч акустических приемников размещена в океане, то эта акустическая система позволила бы контролировать жизнь океана на большой площади. Она была бы чрезвычайно полезна и для океанологов.

Кстати, хотелось бы упомянуть еще один новый факт, касающийся подводных экспериментов, правда, относящийся больше к геологии. СССР с 1987 г. вступает в программу глубоководного бурения на судне «ДЖОЙДЕС Резолюшн», возможности которого очень велики. Так, в скважину (в твердую породу под слой осад-

ков) можно будет внедрить сейсмограф, который станет работать в условиях, когда уровень помех в тысячу раз ниже, чем если бы этот же сейсмограф просто положили на дно. Полезное усовершенствование для изучения тектонических процессов... и для контроля за ядерными испытаниями.

КОРР. Последнее десятилетие ознаменовалось многими выдающимися достижениями космических исследований, в которых все большее место принадлежит зондированию Земли с искусственных спутников, оснащенных специализированной аппаратурой. Какая роль отводится этому направлению в изучении Мирового океана?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Космические средства исследования океана в наше время совершенно необходимы — только с их помощью можно получать непрерывные сведения о состоянии вод океана, регистрировать участки с повышенной биологической продуктивностью, пятна загрязнения на его поверхности и т. п. Спутники измеряют температуру поверхности океана, поверхностное волнение, скорость приповерхностного ветра и, наконец, уровень поверхности океана. Как известно, она отклоняется от поверхности теоретического геоида, т. е. от формы, которая была бы у Земли, если бы воды океана находились в покое, а рельеф дна был бы гладкий. Одна из причин таких отклонений — течение в океане, крупные вихревые движения.

В зависимости от направления вращения вод в вихрях поверхность океана приподнимается или опускается на несколько десятков сантиметров. Разница в высоте уровня океана на разных концах глобального течения — несколько метров. Снятая со спутника картина возвышений и понижений океана позволит рассчитать его течения. Пока точность таких измерений до 10 см — они, кстати, позволяют предупреждать о появлении цунами, но сегодня для практических нужд требуется еще более высокая точность — до 5 см.

Однако не все в космических исследованиях океана развивается так быстро, как хотелось бы. Еще 15 лет назад оптимисты считали, что через несколько лет мы будем знать об океане почти все по данным, полученным из космоса, но это пока не соответствует действительности.

КОРР. В ближайшие годы интенсификация научных исследований во многих областях предполагает широкое использование

<sup>1</sup> См., напр.: Кузнецов А. П., Сагалевич А. М., Богданов Ю. А., Подражанский А. М. В рифтовой зоне хребта Рейкьянос//Природа. 1985. № 8. С. 35—41; Богданов Ю. А., Подражанский А. М. Руды на подводных горах//Природа. 1986. № 8. С. 49—58.

средств и методов информатики. О роли математических моделей в изучении океана мы уже говорили. Но для тех, кто строит модели, необходимы конкретные экспериментальные данные, собранные различными экспедициями из разных стран мира. Как ведется работа по сбору и систематизации таких данных?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Два основных центра по сбору таких данных существуют в Вашингтоне и Обнинске, под Москвой. В них поступают данные, полученные во многих экспедициях, в том числе проводящихся по международным проектам. В Обнинске, например, хранятся результаты измерений, полученные в 50 странах мира: данные 900 тыс. океанографических станций, около 300 тыс. вертикальных температурных разрезов, более 150 тыс. поверхностных и глубинных измерений течений. В центрах сосредоточено большое количество материалов по биологии, геологии и геофизике океана; проводится громадная работа по сортировке полученной информации, которая хранится на перфокартах, магнитных лентах и дисках. Выгода от этого обмена данными несомненна. Скажем, СССР или США дают какую-то часть своих, измеренных данных в эту общую копилку, а получают из нее значительно больше. Каждая страна, безусловно, от этого выигрывает.

КОРР. В предыдущей публикации Вы затронули вопрос о необходимости координации комплексных океанографических исследований в нашей стране. Как Вы считаете, удалось ли достигнуть согласованности действий в этой области?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Сдвиги здесь, конечно, произошли. Имеется рассчитанная на пятилетку комплексная программа исследований Мирового океана и использования его ресурсов. В ее составлении принимала участие Академия наук СССР, наша Комиссия по проблемам Мирового океана играла в разработке этой программы существенную роль. Общее руководство программой осуществляет Государственный комитет СССР по науке и технике. В программе около 40 различных проектов, задача каждого — исследовать определенное явление. В программу включены и некоторые международные проекты, например проект ВЕСТПАК, направленный на изучение западной части Тихого океана. Кроме того, имеются региональные проекты, проводящие-

ся по ежегодному скоординированному плану океанических исследований.

КОРР. Вы упомянули международный проект ВЕСТПАК, в котором примет участие и наша страна. Не могли бы Вы рассказать подробнее о важнейших для будущего океанологии международных проектах.

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Пожалуй, наибольшее значение будут иметь проекты ВОСЕ («World Ocean Circulation Experiment») и ТОГА («Tropical Ocean Global Atmosphere»). Они родились в 1983 г. в Токио на встрече океанологов, планировавших эксперименты в океане в связи с Международной программой климатических исследований. Задача проекта ВОСЕ — создание системы измерений со спутников, и прежде всего определение уровня поверхности океана альтиметрами с высокой точностью. По этим данным будут рассчитываться течения во всем Мировом океане. Возможно, для изучения толща океана будет подключена и акустическая томография. Эта грандиозная программа будет выполняться начиная с 90-х годов. К этому времени будут запущены спутники, которые смогут измерять уровень океана с точностью в несколько сантиметров, скорость ветра над ним — до 1 м/с и температуру поверхностного слоя — до нескольких десятых градуса.

Что касается проекта ТОГА, то эта программа уже начинает разворачиваться, в чем-то она смыкается с нашей программой «Разрезы». Процессы, происходящие в тропическом поясе Мирового океана, где усваивается большая часть солнечной энергии, падающей на нашу планету, являются, по мнению многих океанологов, ключевыми для понимания циркуляции океана и атмосферы. Отсюда запасенное тепло воздушными потоками и подводными течениями переносится в умеренные и полярные широты. К числу тех, кто энергично отстаивал эту точку зрения, принадлежал известный советский ученый В. В. Шулейкин. Целый ряд экспериментальных данных подтверждают важную роль тропиков. Это, например, данные, связанные с Эль-Ниньо, — появлением теплых тропических тихоокеанских вод у берегов Перу и Эквадора вместо обычных холодных, сопровождающееся разнообразными аномальными явлениями в океане и атмосфере и имеющее периодичность 5—8 лет<sup>2</sup>. В экспери-

<sup>2</sup> Федоров К. Н. Этот капризный младенец Эль-Ниньо! // Природа. 1984. № 8. С. 65—74.

менте ТОГА основной акцент делается на спутниковые измерения, но будут работать и суда. Поскольку исследоваться будет только тропическая зона, эту программу, по-видимому, будет осуществить легче. Наши специалисты смогут внести в эту программу значительный вклад измерениями в тропической зоне Атлантики.

КОРР. В прошедшем десятилетии был принят ряд международных законов, касающихся использования Мирового океана, в том числе решение о 200-мильной зоне. Как, на Ваш взгляд, это сказалось на развитии исследований океана?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Курьезно, что в существующем уже многие десятилетия морском праве и даже в его усовершенствованном варианте, представленном в новой конвенции, научно-исследовательское судно не существует как правовая единица. Как и много веков назад, все суда юридически делятся на военные и торговые. Это явно ущемляет статус научно-исследовательских кораблей и вызывает ряд неудобств. Что касается работ в 200-мильной зоне, то прибрежная страна имеет право разрешить их или запретить, если не выполнены определенные требования: нужно заблаговременно (за 6—8 месяцев) уведомить ее представителей о намеченных исследованиях, по любому требованию принять на борт ее специалистов-океанологов для совместной работы; представить заинтересованным органам этой страны подробный отчет о работе. Эти требования логичны и могли бы способствовать развитию науки. Но на деле они нередко сводятся к длинной бюрократической волоките. Так, отчет становится настоящей проблемой, когда требуют использовать язык прибрежной страны. Мы все же находим пути для нормальной работы и нередко успешно сотрудничаем с местными учеными.

Если вопрос о праве на использование ресурсов 200-мильной зоны как-то решен, то с открытым океаном дело обстоит значительно сложнее. Действительно, кто и по чьему разрешению может эксплуатировать ресурсы дна Мирового океана? В соответствии с конвенцией, которая принята Международной конференцией по морскому праву, для решения этих вопросов создан специальный международный орган с центром в Кингстоне (Ямайка). Однако пока не решено, каким образом будут делаться заявки, разрешаться споры в случае, если заявки перекрываются, как

быть с США, Великобританией, Японией и другими странами, которые не подписали конвенцию и компании которых как раз наиболее подготовлены для подводных разработок полезных ископаемых.

КОРР. Какие проблемы в изучении Мирового океана Вы считаете наиболее актуальными?

Л. М. БРЕХОВСКИХ. Главная проблема не относится к его изучению — это проблема мирного океана. К сожалению, пока океан начинен оружием и военной техникой, и его милитаризация все усиливается. Мирные инициативы СССР, касающиеся сокращения военной деятельности в Индийском океане, Средиземном море и Персидском заливе не были поддержаны США.

Для изучения океана, принадлежащего всему человечеству, актуально взаимодействие ученых из разных стран, совместная работа — такая, которую мы проводили во время эксперимента ПОЛИМОДЕ. Наша мечта — интернациональные группы, изучающие, например, жизнь около подводных гидротермальных источников.

Важная проблема — увеличение «отдачи» океана для человечества, которой, безусловно, можно добиться при использовании его минеральных и энергетических ресурсов, биологических возможностей... Здесь огромное поле деятельности для специалистов различного профиля. Не менее глобальная задача — сохранение экологической системы океана, всех существующих в ней уровней и связей. Вспомним, что загрязнение океана стало серьезной экологической проблемой.

Будущее человечества во многом зависит от того, как мы построим свои «отношения» с Мировым океаном, как мы его сохраним, изучим и освоим.



## НАУКА И ЧЕЛОВЕЧЕСТВО

Международному ежегоднику «Наука и человечество», выпускаемому Всесоюзным обществом «Знание» и Академией наук СССР в издательстве «Знание», исполнилось 25 лет. На его страницах выступило уже около 600 известных ученых, рассказы которых — своеобразная летопись новейших открытий, тем более убедительная, что каждый из авторов пишет о собственной работе на одном из центральных направлений познания или технического прогресса.

В соответствии со своим девизом «Доступно и точно о главном в мировой науке» ежегодник освещает исследования, проводимые не только в нашей стране, но и за рубежом. Одна из главных тем ежегодника — мирное научное сотрудничество, направленное, в первую очередь, на решение животрепещущей проблемы наших дней — освобождение человечества от угрозы ядерной войны. Наиболее наглядная форма пропаганды такого сотрудничества — статьи, написанные в соавторстве учеными разных стран о совместных работах.

В очередной том ежегодника, который скоро выйдет в свет, включена и предлагаемая читателям «Природы» статья советских и американских ученых о совместном сейсмическом эксперименте. Неоспоримо доказано, что современные приборы способны зарегистрировать любой подземный взрыв. Следовательно, проблема контроля не может служить препятствием к прекращению испытаний ядерного оружия. И несмотря на то, что правительство США отказалось присоединиться к одностороннему советскому мораторию, который неоднократно продлялся, и сделало все, чтобы СССР возобновил ядерные испытания, описанный в статье эксперимент полностью сохраняет свое значение. Геофизики — участники советско-американского эксперимента надеются, что разум должен победить и недалеко то время, когда сейсмографы на полигонах Невады и Казахстана будут фиксировать только тишину.

**Дж. Берджер**,  
сотрудник Института геофизики  
и планетарной физики Калифорнийского  
университета в Сан-Диего

**М. Б. Гохберг**,  
доктор физико-математических наук,  
заместитель директора  
Института физики Земли  
им. О. Ю. Шмидта АН СССР

**Т. Кохрэн**,  
член Совета по защите природных  
ресурсов США

**И. Л. Нерсесов**,  
член-корреспондент АН Арм ССР,  
заведующий отделом сейсмологии  
Института физики Земли  
им. О. Ю. Шмидта АН СССР

**В**стреча академиков Е. П. Велихова и М. А. Садовского с учеными США во главе с профессором Принстонского университета Ф. фон Хиппелем (в числе американских ученых был соавтор настоящей статьи Т. Кохрэн) в мае 1986 г. в Москве определила развитие нового этапа советско-американских работ по контролю за ядерными испытаниями. Между Советом по защите природных ресурсов США и Академией наук СССР было достигнуто соглашение о контроле непосредственно на полигонах. Выполнение этих исследований имеет следующие цели. Во-первых, продемонстрировать, что контроль на территории другой стороны не является непреодолимым препятствием для всеобъемлющей проверки запрещения испытаний. Во-вторых, показать, что ученые США и СССР, несмотря на некоторые расхождения во взглядах, готовы работать для общей цели — для осуществления надежного и оперативного контроля. В-третьих, получить основополагающую сейсмическую информацию, которая будет необходима для проектирования и функционирования системы контроля.

Реализация совместной программы работ, по мнению участников эксперимента, помогла бы установить более эффективное наблюдение за ядерными полигонами в США и СССР. А это, в свою очередь, может стать тормозом на пути продолжения испытаний атомного оружия и в конечном счете способствовать прекращению гонки вооружений.

Вопрос о средствах проверки и контроля вблизи мест испытаний долгое время мешал договоренности о полном запрещении испытаний атомного оружия. Начало

# СЕЙСМИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ и проблема запрещения ядерных испытаний

дискуссий по этому вопросу было положено на Женевском совещании экспертов в 1958 г. Уже тогда была показана принципиальная возможность положительного решения проблемы надежного контроля за ядерными взрывами и указаны средства осуществления такого контроля.

Однако позднее некоторые американские ученые стали публиковать данные о возможности уменьшения интенсивности сейсмического излучения в том случае, если взрыв проводится в полости, образовавшейся от ранее проведенного мощного подземного испытания. Так возникла идея декаплинга — скрытого взрыва в огромных подземных полостях.

В то же время теоретические исследования проблемы декаплинга показали, что для надежного сокрытия взрыва мощностью одна килотонна от средств обнаружения другой стороны размеры полости должны быть порядка сотни метров. Очевидно, что практические работы по ее подготовке могут быть обнаружены, например, со спутников. Эти же теоретические работы показали, что интенсивность сейсмического излучения от слабых взрывов в полости заметно уменьшается только на низких частотах, а на более высоких частотах такое ослабление значительно меньше. Вообще применение высоких частот при детектировании подземных ядерных взрывов значительно эффективнее, чем традиционно используемые низкочастотные компоненты спектра при исследовании землетрясений.

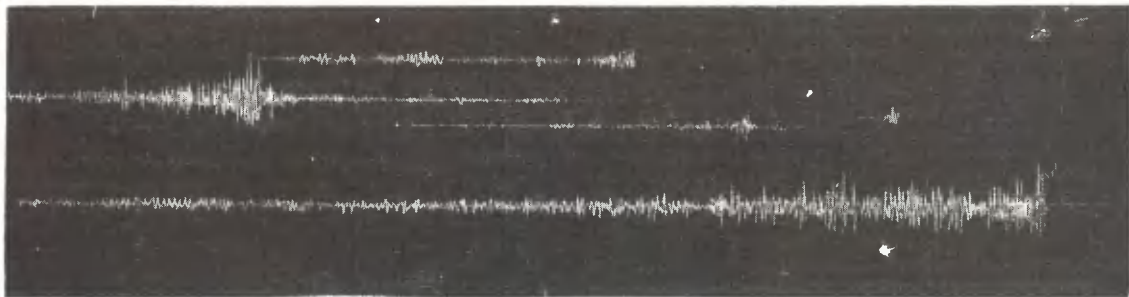
Взрывы излучают больше энергии в высокочастотных колебаниях, чем землетрясения сопоставимой силы. В результате использования высокой частоты сигналы

взрывов становятся более видимыми. Таким образом, использование специальной высокочастотной аппаратуры может решить и эту проблему. Следует также отметить, что за 30 лет, прошедших с начала обсуждения вопроса о контроле за ядерными испытаниями, технические возможности как США, так и СССР по обнаружению атомных взрывов существенно улучшились.

Национальные технические средства контроля подземных взрывов США и СССР многообразны. Они базируются на использовании сейсмических, акустических, гидроакустических, спутниковых и других методов. Основную роль в контроле за непроведением подземных испытаний в настоящее время играет сейсмический метод. Остановимся кратко на сейсмических системах контроля США и СССР.

Национальная система контроля подземных ядерных взрывов США в настоящее время имеет большое число сейсмических станций и групп, расположенных как на территории США, так и других стран. Эта система включает свыше ста станций Мировой стандартизированной сети в 55 странах мира, 20 станций сейсмического группирования в 12 странах, 17 сейсмических обсерваторий в 15 странах. К настоящему времени значительное число этих станций переведено на цифровую регистрацию, и процесс их модернизации продолжается. Многие сейсмические станции оснащены высокочувствительными скважинными приборами.

В связи с проблемой обнаружения и идентификации слабых подземных взрывов, проводимых с применением мер сокрытия, США осуществили в период с 1978



Часть первой сейсмограммы, полученной на американской установке 11 июля 1986 г. на берегу озера в Каркаралинске. Колебания вверху и внизу — запись землетрясений, в середине — промышленного взрыва.

по 1982 г. два проекта по созданию новых средств сейсмического контроля.

В 1982 г. в США и Канаде начала работать сеть из пяти автоматических цифровых широкополосных сейсмических станций со скважинной аппаратурой и передачей всей регистрируемой информации по спутниковым каналам связи в центр обработки. На трехсторонних переговорах в Женеве о полном и всеобщем запрещении испытаний ядерного оружия в 1977—1980 гг. была достигнута договоренность о создании таких сетей внутренних станций на территории СССР, США и Англии, однако в дальнейшем США от этих предложений отказались.

Второй проект — это создание в Норвегии под эгидой США группы NORSAR, позволяющей обнаружить и локализовать слабые подземные взрывы на расстояниях до 3 тыс. км. Отметим, что многие из станций и групп систем контроля расположены вдоль границ СССР и социалистических стран.

Данные от сейсмических станций и групп поступают по каналам связи в новый центр обработки, расположенный около Вашингтона. В этом центре по сейсмической записи определяются: время поступления сигнала (от взрыва или землетрясения), его амплитуда и период, а также аналогичные параметры волн — поперечных и поверхностных. Одновременно непрерывно оценивается сейсмический фон (естественный шум Земли) для его исключения и улучшения соотношения сигнал/шум.

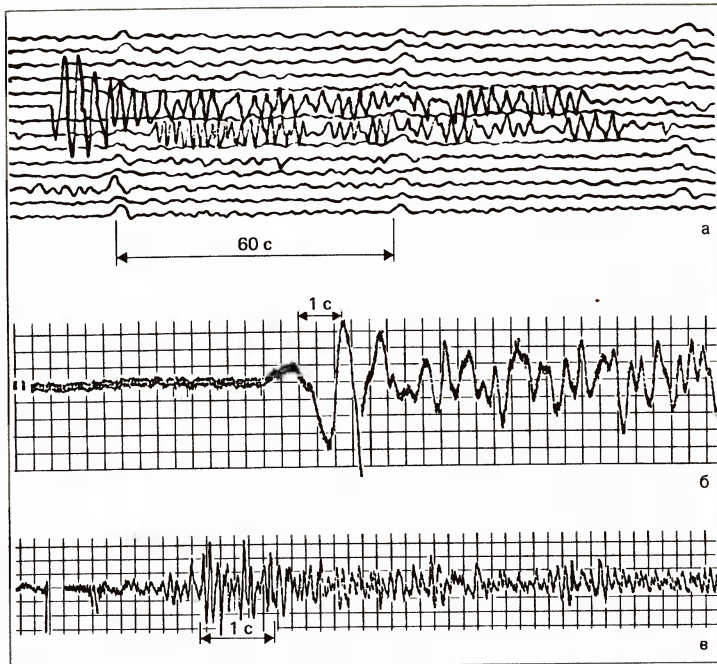
Центр обработки рассчитан на прием, обработку и хранение огромных потоков сейсмических данных и оснащен несколькими достаточно мощными ЭВМ. Оценки возможности национальной сети США

по обнаружению и идентификации подземных взрывов показывают, что даже карьерные промышленные взрывы в несколько тонн химических взрывчатых веществ обнаруживаются на расстояниях до 2—3 тыс. км. Данные о таких взрывах содержатся в бюллетенях Международного сейсмического центра данных, расположенного в США.

Оценки целого ряда специалистов показывают, что в диапазоне расстояний до 10 тыс. км США могут регистрировать в зависимости от свойств грунта в месте испытаний взрывы мощностью 1—5 кт, проводимые без декаплинга, а на расстояниях 2—3 тыс. км — от 5 до 110 т. Если взрыв проводится в условиях декаплинга, то этот порог повышается в несколько раз при регистрации на обычных частотах. Когда слабый взрыв производится в полости, возрастает, как уже сказано, процент высокочастотных колебаний, а в области высоких частот фоновый шум Земли намного слабее. Это позволяет получать на высоких частотах лучшее соотношение сигнал/шум. При этом крайне важно регистрировать сейсмические события на трассах с малым коэффициентом затухания сейсмических колебаний. Так, с помощью специальной высокочастотной аппаратуры предел обнаружения взрывов может быть уменьшен до 50 т на расстояниях до 3 тыс. км. С учетом всего сказанного США, используя национальные средства, а также данные группы NORESS, полученные на станциях в ФРГ, Турции, Пакистане, Индии, Японии, могут контролировать непроведение взрывов на большей части СССР даже без сведений от станций на территории СССР.

Существенное отличие национальной советской сети от американской состоит





Несколько записей, полученных на Каркаралинской станции: а) взрыва, произведенного в Неваде 18 июля 1986 г. в 21 ч, магнитуда сигнала — 5,7, расстояние 10 200 км, преобладающий период около 1 с; б) землетрясения в Афганистане 18 июля 1986 г. в 15 ч 46 мин, магнитуда — 5,3, расстояние — 1431 км; в) промышленного взрыва на удалении 150 км; запись отличается от двух предыдущих наличием высоких частот до 20 Гц.

в том, что она расположена только на территории СССР.

Сеть сейсмических станций СССР имеет более 200 станций, расположенных на огромной территории. Однако хорошо известно, что для эффективного обнаружения взрыва сетью станций они должны окружать эпицентр с разных сторон. При этом требуется, чтобы они были расположены на расстояниях не более чем от 2 до 10 тыс. км. Таким образом, сейсмическая сеть СССР имеет худшие возможности обнаружения и локализации взрывов по сравнению с сетью США, особенно в Южном полушарии. Поэтому можно сделать вывод, что для контроля взрывов в любом районе мира сейсмологи СССР заинтересованы в использовании данных от мировой сети станций.

В качестве примера сбора данных в СССР можно привести систему сети Единой сейсмической системы наблюдений (ЕССН), в которой сведения с примерно 300 телесеизмических пунктов регистрации по телефону и телетайпу передаются в региональные центры сбора информации, а также во Всесоюзный центр сбора и сводной обработки сейсмических данных в опытно-методической экспедиции (ОМЭ) Института физики Земли АН СССР.

ОМЭ выпускает тиражом более 250 экземпляров ежедекадные оперативные сейсмологические каталоги и бюллетени, регулярно готовит материалы по заявкам зарубежных организаций, в том числе Международного сейсмического центра данных и Международного сейсмологического центра (в Англии).

На трехсторонних переговорах по запрещению испытаний в Женеве была достигнута договоренность об организации международного обмена сейсмическими данными, который увеличит надежность контроля национальными средствами. Кроме того, специальной группой научных экспертов-сейсмологов конференции по разоружению разработаны структура и научно-методические вопросы международной системы обмена. Было предложено, что основу системы обмена составят данные 50 сейсмических станций, расположенных в благоприятных по уровню шума районах земного шара. Сбор данных с этих станций предполагалось вести по спутниковым каналам связи. Международные центры сбора данных предполагалось иметь в Москве, Вашингтоне, Стокгольме и Канберре. Оценка возможностей такой сети с современными станциями показывает, что она способна с вероятностью 90 % обнаруживать под-

земные взрывы мощностью 1 кт в Северном полушарии и 3 кт в Южном. Если учесть наличие упомянутых выше национальных средств слежения, то надежность контроля за неиспытанием ядерного оружия оказывается достаточно высока. Кроме того, будет значительно повышена оперативность передачи данных и их практического анализа.

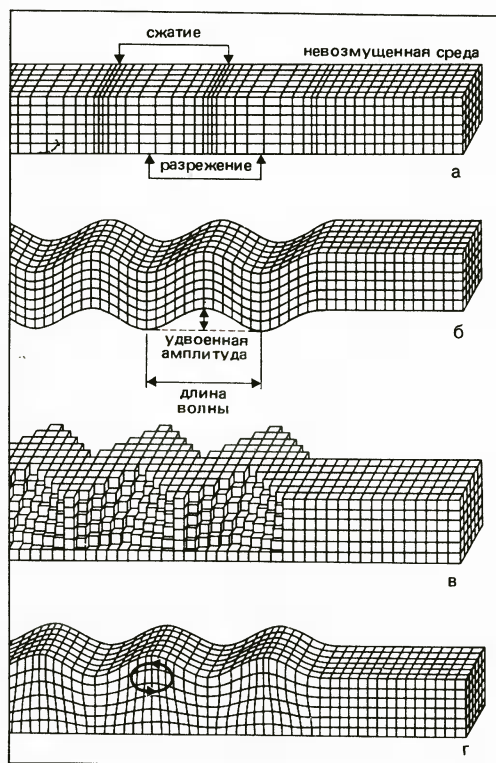
Существование сетей сбора сейсмической информации само по себе, конечно, не гарантирует обнаружения взрыва. Необходимо знать, как по сейсмическим данным определить взрыв и локализовать его. Какие же возможности дает сейсмический метод обнаружения взрывов и определения их параметров? Таких возможностей немало. Упомянем только некоторые из них.

Один путь определения мощности подземных взрывов основан на оценке магнитуды продольных сейсмических волн. При этом учитывается ряд параметров — таких как плотность, пористость, влажность и газовость вмещающих пород в районе взрывов. Естественно, что этот путь применим в условиях договора, когда вся указанная информация предоставляется контролирующей стороне. Другой путь основан на учете динамических особенностей записи продольных волн от взрыва. Он менее чувствителен к параметрам среды в районе взрыва и его глубине.

Один из наиболее старых способов, позволяющих отличить взрыв от землетрясения, — сравнительный анализ амплитуд и динамических особенностей продольных, поперечных и поверхностных сейсмических волн. Подобный анализ основан на том факте, что источник сейсмического излучения типа всестороннего растяжения, который моделирует взрыв, сам практически не излучает поперечных волн. Эти волны возникают только при взаимодействии продольных волн с поверхностью Земли и неоднородностями в земной коре. Источник излучения типа сдвига, моделирующий землетрясение, наоборот излучает больше поперечных волн.

Ценную информацию для идентификации подземных взрывов дает также спектральный анализ сейсмических записей. Как уже было упомянуто выше, регистрация и анализ данных на высоких частотах (30—40 Гц) позволяет уточнить идентификацию взрывов в полостях.

Для того чтобы продемонстрировать разнообразие методик, упомянем еще одну. Сейсмический сигнал записывается



Схема, изображающая четыре типа сейсмических волн: а) продольные, б) поперечные, в) поверхностные волны Лява, г) поверхностные волны Рэлея. Продольные сейсмические волны переносят изменение объема в среде — сжатия и растяжения. Колебания в них совершаются в направлении распространения волн (вдоль сейсмического луча). Поперечные волны не образуют в среде объемных изменений и представляют собой колебания частиц, происходящие перпендикулярно лучу. Вблизи поверхностей раздела в Земле возникают поверхностные волны двух типов: волны Лява, распространяющиеся перпендикулярно лучу вдоль поверхности Земли, и волны Рэлея — перпендикулярно и лучу, и поверхности Земли.

в аналоговом виде на магнитной ленте. Затем запись проигрывается на обычной звуковоспроизводящей аппаратуре со скоростью, превышающей скорость записи. Специально обученные эксперты прослушивают запись и дают свое заключение о характере сигнала.

Особое направление научных исследований — улучшение соотношения сигнал/шум. Для этой цели как в США, так и в СССР разработано большое число методов фильтрации и группирования информации с сети сейсмических станций. Прове-

дение такой обработки с использованием цифровых записей на ЭВМ не только позволяет выделить слабые сигналы из шума, но и повышает надежность наблюдения за конкретными местами проведения испытаний. Другими словами, информация с сети станций может быть сгруппирована таким образом, что будет достигнута очень высокая чувствительность к взрывам на заранее известных территориях.

Итак, хотя существующие в настоящее время и проектируемые на ближайшее будущее системы контроля за непроведением испытаний достаточно эффективны, все же часто высказываются сомнения в абсолютной их надежности. Такие аргументы используются американской стороной на переговорах по запрещению испытаний атомного оружия. Как уже было отмечено выше, вопрос о контроле на местах был принципиально решен ранее на переговорах. И вот в 1986 г. по взаимному согласию между Советом по защите природных ресурсов США и Академией наук СССР начаты практические работы по контролю вблизи мест испытаний на территории СССР и США. И уже сейчас можно считать, что прямой контроль возможен.

В июле 1986 г. группа технических специалистов и ведущих сейсмологов США начала установку аппаратуры сейсмической регистрации вблизи испытательного полигона на территории СССР. На первом этапе работ были тщательно выбраны места для установки аппаратуры. Эти пункты расположены на скальных породах. Надо сказать, что в скальных породах поглощение сейсмических волн гораздо слабее, поэтому отношение сигнал/шум возрастает, что облегчает выделение сигнала от подземного взрыва. Первые же сейсмические наблюдения показали, что уровень шумов там очень низок.

9 июля был установлен первый пункт регистрации, 4 августа — второй, в начале сентября — третий. В начальной фазе работ аппаратура была установлена на поверхности в защищенных боксах. К ноябрю 1986 г. были подготовлены стационарные измерительные пункты. Аппаратура устанавливается на бетонированных постаментов в заглубленных бункерах. Внутри бункеров имеются скважины глубиной до 100 м. Соглашением между учеными США и СССР предусмотрена установка в скважинах специальных сейсмографов — оборудования второй фазы. Такая работа ведется с февраля 1987 г. Пункты регистрации как бы охватывают испытательный полигон в кольцо — это необходимо для измерения

и регистрации естественных шумов, для изучения спектра помех. Поправка на естественные шумы — а они в каждом районе свои — улучшит возможности средств контроля и поможет еще точнее регистрировать самые маломощные взрывы. При проведении испытаний их место и мощность взрыва могут быть определены достаточно точно.

К ноябрю 1986 г. в пунктах регистрации были установлены сейсмографы с собственными периодами 1 и 5 с. Усиление сигнала достигало 140 000 раз. Бункеры с аппаратурой соединены кабелем с лабораторией и жилым комплексом. Последние имеют автономное электрическое питание и телефон. Регистрация записей производится в цифровом виде на двух магнитофонах с компакт-кассетами, которые могут читаться на компьютере. Регистрация осуществляется в ждущем режиме, при котором запись начинается автоматически, если уровень сигнала превышает заданный порог.

В начале наблюдений станции зарегистрировали много промышленных взрывов, проводимых в горнодобывающих карьерах, на расстояниях 50—100 км. Их мощность составляла всего несколько десятков тонн, но они надежно фиксировались сейсмической аппаратурой. Обработка этих измерений и нескольких записей землетрясений показала, что предположение американских сейсмологов о том, что Казахская складчатая область в районе Семипалатинского полигона сложена более жесткими породами, чем породы Невадского полигона, правильно. Это означает, что взрывы на Семипалатинском полигоне, возбуждают более сильные сейсмические волны, чем аналогичные взрывы на Невадском полигоне. Таким образом, если для определения мощности взрывов в СССР использовать полученные в Неваде зависимости, то она будет завышена. Итак, американская сторона в результате экспериментов вблизи полигона в СССР получила возможность более точно откалибровать зависимости для определения мощностей взрывов в СССР. Ряд американских сейсмологов пришли к выводу: обвинение Советского Союза в нарушении договора объясняется неправильной калибровкой основных волн с Семипалатинского полигона, и даже самые крупные испытания там (после вступления в силу договора в 1976 г.) фактически составляли не более 150 кт (т. е. в пределах разрешенного порога). Такое переопределение свидетельствует, что высказывавшиеся американской стороной претензии к СССР по поводу превышения им пре-





В момент взрыва разрушается окружающая среда: образуется большая полость, в породе возникают провальные воронки и трещины. На фото, полученном из космоса, видны провальные воронки на испытательном полигоне в Неваде после ядерных взрывов. Конечно, такие следы характерны для достаточно сильных взрывов. Слабые взрывы, особенно проведенные на большой глубине, не оставляют столь очевидных следов на земной поверхности. Но эти снимки получены не самой современной аппаратурой и не с самым хорошим разрешением. Современные средства космической съемки позволяют обнаружить более слабые взрывы и подготовку к ним.

дельной разрешенной мощности испытательных взрывов лишены оснований<sup>1</sup>.

Оценка затухания волн на высоких частотах и уровня шумов вблизи Семипалатинского полигона показала также, что если взрывы будут произведены в условиях сокрытия (декаплинга), то никаких проблем с их обнаружением при использовании бо-

лее высокочастотной регистрирующей аппаратуры не будет. Но и существующая в настоящий момент аппаратура, поскольку она расположена достаточно близко к полигону, дает возможность обнаружения таких скрытых взрывов.

С начала работ до ноября установленная аппаратура зарегистрировала три взрыва, проведенные на полигоне в Неваде. Были оценены мощности этих взрывов по сейсмической шкале магнитуд, что позволило получить более точные данные о прохождении сейсмических волн из США в СССР и оценить возможности советской стороны по обнаружению и идентификации взрывов в США.

В ходе эксперимента была проверена возможность передачи регистрируемых данных по телефонным каналам в Москву.

<sup>1</sup> Некоторые ученые США пришли к такому же выводу на основании метода измерения силы подземных взрывов, который используется в американской сейсмологии уже более десяти лет. Они доказали, что эксперты, привлекаемые Белым домом, искусственно завышали мощность советских испытательных взрывов. Обвинения СССР в нарушении договора и строились на этих фальсификациях. Последний камень из-под них выбила, как видно из статьи, совместная работа советских и американских ученых под Семипалатинском.— Прим. ред.

Центр в Москве, куда передавалась информация, имеет выход на центры данных в Вене и Хельсинки. Последние имеют связь с США и другими странами. Таким образом, уже сейчас возможна передача информации заинтересованным сторонам на основе межкомпьютерной связи через центр ВНИИПАС (Всесоюзный научно-исследовательский институт прикладных автоматизированных систем).

Дальнейшие работы предусматривают установку более совершенной сейсмической аппаратуры и средств записи сигналов.

В ходе эксперимента изучаются и такие общенаучные проблемы, как структура земной коры и верхней мантии в Казахском регионе, который находится между гигантскими древними платформами — Русской и Сибирской. Взаимодействие этих пород привело к формированию неоднородностей в земной коре Казахского региона.

Однако важнейший результат советско-американских сейсмологических исследований состоит в том, что доказана возможность реального контроля на местах за непроведением испытаний атомного оружия. Сам факт выполнения таких исследований показывает, как много значат добрая воля и сотрудничество ученых разных стран, демонстрирует возможность уважения и доверия между ними.

Остановимся теперь на состоянии работ по соглашению на территории США. Советские специалисты совершили поездку в США в ноябре 1986 г. Эта поездка не включала посещения окрестностей полигона в Неваде по причинам, связанным с выдачей виз.

Американские сейсмологи приложили максимум усилий, чтобы эта поездка советских ученых была продуктивной. Было предложено 8 вариантов мест, где можно разместить сейсмические станции. По каждой из этих точек были представлены подробные топографические и геологические карты, с каждой точки были привезены и показаны образцы геологических пород и слайды. Сопоставив эту информацию и полностью доверяя американским коллегам, представившим материал, советские специалисты выбрали места для трех станций, находящихся примерно в 150 км от испытательного полигона: Дип-Спрингс на северо-западе, Трой-Каньон на северо-востоке и Нельсон на юге США. В настоящее время на территории шт. Невада сейсмическая информация уже поступает с обобщения первой фазы эксперимента,

т. е. расположенного на поверхности Земли.

Проведение работ в полном объеме позволит осуществить постоянный контроль за соблюдением моратория на ядерных полигонах (если он будет соблюдаться обеими сторонами) или за ограничениями на испытания. Возможным станет более точный контроль за соблюдением соглашения о максимально разрешенном пороге в 150 кт при проведении испытаний. Предстоит определить минимальный предел их мощности, при котором может быть осуществлен надежный контроль. Будут установлены источники сейсмического излучения и их характеристики в диапазоне высоких частот. Изучение этих параметров позволит понять физику нелинейных процессов в упругих средах. Будут получены численные характеристики распространения различных типов волн (в частности, на высоких частотах) для коры и верхней мантии. В распоряжении контролирующей стороны будут точные параметры среды в непосредственной близости от испытательного полигона. Станут известны характеристики высокочастотных шумов вблизи земной поверхности и виды их взаимодействия и распространения. Будет определено число необходимых сейсмических станций контролирующей стороны и места их расположения на территории контролируемой стороны. Станет возможным достаточно полный и оперативный международный обмен сейсмической информацией.

Космические методы в значительной мере снимают вопрос об оперативности сбора и обработки сейсмологического материала, так как следы взрыва будут обнаружены на снимках. После этого можно отдельно собрать и исследовать сейсмические данные только за нужный срок. Таким образом, комплекс различных методов обнаружения взрывов значительно повышает надежность контроля.

# МИКРОДОЗИМЕТРИЯ

В. И. ИВАНОВ



Виктор Иванович Иванов, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой Московского инженерно-физического института. Научные интересы связаны с изучением взаимодействия излучения с веществом. Ему принадлежат первые отечественные исследования в области микродозиметрии. Автор ряда книг, в том числе: Курс микродозиметрии. 3-е изд. М., 1978; Основы микродозиметрии (совместно с В. Н. Лысцовым). М., 1979; Справочное руководство по микродозиметрии (совместно с В. Н. Лысцовым и А. Т. Губиным). М., 1986. В «Природе» опубликовал статью: Атомная энергия и человек (1974, № 3). Лауреат Государственной премии СССР.

**В** 1970 г. в Московском инженерно-физическом институте состоялось Первое Всесоюзное совещание по микродозиметрии. Своеобразие этого совещания заключалось в том, что многие его участники — специалисты по радиационной физике, биофизике, радиобиологии — не вполне представляли себе содержание, предмет исследования и области применения совсем еще молодой тогда науки — микродозиметрии. Дозиметрия — это понятно, это измерение дозы ионизирующей радиации, или энергии, переданной излучением единице массы вещества. А микродозиметрия? Измерение дозы миниатюрными приборами? Или измерение очень малых доз излучения?

Оказалось, ни то, ни другое.

Но прежде чем ответить на вопрос о том, что же такое микродозиметрия, познакомимся в общих чертах с некоторыми понятиями, которые помогут составить представление о предмете ее исследования.

## РАДИАЦИОННО-ИНДУЦИРОВАННЫЙ ЭФФЕКТ

Так будем называть любое изменение в облучаемом объекте, вызванное ионизирующей радиацией, отклик объекта, его реакцию на облучение. Например, нагрев тела, ионизация, нарушение структуры, изменение тех или иных свойств, функциональные изменения в живой системе — все это радиационно-индуцированные эффекты, если они обусловлены действием излучения.

Радиационно-индуцированные эффекты могут быть как полезными, так и вредными. Скажем, чрезмерное облучение влечет за собой неблагоприятные последствия для здоровья; вместе с тем ионизирующие излучения успешно применяются для диагностики и лечения ряда заболеваний. В сущности, любое применение ионизирующего излучения основано на использовании радиационно-индуцированных эффектов. Понятно, что для целенаправленного использования энергии ионизирующих излучений необходимо знать закономерности радиационно-индуцированных эффектов, те механизмы, которые ими управляют. Задача не из простых, и над ней работают многие коллективы ученых. Она особенно сложна при изучении воздействия излучений на живые системы.

В одном и том же облучаемом объекте может возникнуть множество различных радиационно-индуцированных эффектов. Так, в живой клетке это разрыв молекулы ДНК, различные повреждения хромосом, нарушение процессов деления и, наконец, гибель самой клетки. Однако часто требуется выделить какой-то один эффект, который собираются исследовать или использовать. В этом случае мы будем говорить о наблюдаемом эффекте.

Радиационно-индуцированные эффекты условно делят на две группы. К первой относят эффекты, связанные с воздействием на отдельные чувствительные структуры облучаемого объекта, повреждение которых и определяет вид наблюдаемого изменения, а ко второй — эф-



фекты, не сопровождающиеся поражением каких-то особых структур (скажем, нагрев тела).

В дальнейшем нас будет интересовать первая группа эффектов, которые характерны преимущественно для гетерогенных, т. е. макроскопически неоднородных, систем с ярко выраженной функциональной иерархией структуры. Например, при облучении полупроводникового элемента рентгеновским излучением наблюдаемый эффект — изменение электрических свойств полупроводника — определяется в основном трансформацией области  $p-n$ -перехода, которая в данном случае и служит чувствительной структурой. К этой же группе эффектов принадлежат радиационно-индуцированные изменения в живой клетке, субклеточные структуры которой (молекулы ДНК, хромосомы, ядро, мембрана и т. п.), с одной стороны, строго дифференцированы по своему назначению, а с другой — взаимозависимы. В экспериментальной радиобиологии зарегистрированы различные радиационно-индуцированные эффекты в живой клетке, обусловленные повреждением субклеточных структур.

В основе радиационно-индуцированного эффекта лежит преобразование энергии излучения при его взаимодействии с веществом. Рассмотрим схематически последовательность процессов, приводящих к некоторому наблюдаемому эффекту.

Первичное излучение, характеризуемое физическими величинами  $\Phi_1$ , теряет в облучаемом объекте энергию  $\Delta E$ . Однако не вся потерянная излучением энергия передается веществу. Скажем, пучок быстрых заряженных частиц, проходя через вещество, часть своей энергии преобразует в тормозное излучение (электромагнитные волны), которое в значительной степени рассеивается в окружающей среде. Переданная веществу часть потерянной энергии называется поглощенной энергией, количественной мерой которой принято считать дозу излучения, или поглощенную дозу,  $D$ . Доза излучения, как уже отмечалось, измеряется средним значением энергии излучения, поглощенной единицей массы вещества. За единицу поглощенной дозы в настоящее время принят грэй ( $1 \text{ Гр} = 1 \text{ Дж/кг}$ ); до введения Международной системы единиц СИ основной единицей дозы был рад ( $1 \text{ рад} = 10^{-2} \text{ Гр}$ ).

Поглощенная энергия излучения вызывает в веществе некоторые процессы, приводящие в конечном итоге к наблюдаемому радиационно-индуцированному эффекту. Из всей совокупности этих про-

цессов, каждый из которых описывается своими характеристиками, целесообразно выделить первичные, возникающие сразу же после поглощения энергии. К ним можно отнести такие эффекты, как возбуждение атомов облучаемого вещества, их ионизация, смещение из исходных положений и т. п. Первичные эффекты инициируют дальнейшее развитие всего процесса, механизмы которого и промежуточные этапы часто неизвестны.

На другом конце рассматриваемой цепи событий регистрируется наблюдаемый эффект. Если, например, нас интересует гибель живых клеток в поле ионизирующего излучения, за величину наблюдаемого эффекта, называемую также выходом, можно приняты либо число погибших клеток, либо вероятность гибели одной клетки.

Между выходом эффекта  $\eta$  и физическими величинами  $Q_1$ , характеризующими различные стадии процесса, существует определенная связь:

$$\eta = F(Q_1),$$

установить и проанализировать которую и стремятся специалисты, изучающие радиационно-индуцированные эффекты. Главные цели их поисков сводятся к следующему: предсказать выход эффекта  $\eta$  по измеренным значениям одной или нескольких величин  $Q_i$ ;

выявить механизмы формирования радиационно-индуцированного эффекта, сопоставляя различные теоретические модели с установленной экспериментально зависимостью;

научиться управлять процессом, чтобы получить тот или иной эффект.

Выбор величин  $Q_i$  определяется возможностями измерения и их связью с выходом наблюдаемого эффекта. Случилось так, что вскоре после открытия рентгеновского излучения и начала его применения в медицине между величиной дозы и выходом эффекта в определенном диапазоне их значений была обнаружена связь, близкая к линейной. В результате поглощенную дозу стали считать физической мерой ожидаемого радиационно-индуцированного эффекта. (Строго говоря, такой мерой сначала служила так называемая экспозиционная доза, определяемая величиной ионизации воздуха в стандартных условиях.) И хотя в действительности, как теперь хорошо известно, зависимость «доза — эффект» не универсальна и далеко не всегда линейна, она прочно вошла в

практику как основная характеристика при изучении радиационно-индуцированных эффектов в живой и неживой природе.

### ОТНОСИТЕЛЬНАЯ БИОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ

Будучи первопричиной радиационно-индуцированного эффекта, поглощенная энергия излучения не является, однако, его однозначной мерой. Это выражается в том, что при одной и той же поглощенной дозе в одном и том же биологическом объекте наблюдаемый радиационно-индуцированный эффект оказывается неодинаковым для разных видов излучения. Так, для нейтронов выход некоторых эффектов (в расчете на единицу дозы) почти в 10 раз больше, чем для  $\gamma$ -излучения.

Сопоставить различные виды излучений по их биологическому действию удастся, вводя так называемую относительную биологическую эффективность (ОБЭ) одного вида излучения по отношению к другому, т. е. величину, показывающую, во сколько раз выход биологического эффекта различается для сравниваемых излучений, и определяя ее как отношение самих выходов радиационно-индуцированных эффектов. Однако удобнее выразить ОБЭ через измеримые физические величины, например как отношение  $D_0/D_x$ , где  $D_0$  — доза некоторого излучения, ОБЭ которого полагается равной единице, а  $D_x$  — доза данного вида излучения. За такой эталон (с ОБЭ = 1) принято рентгеновское излучение с определенным энергетическим спектром, или распределением интенсивности излучения по энергии. Значения дозы подбирают так, чтобы наблюдался одинаковый выход эффекта.

В чем же причина различной эффективности разных видов излучения? С точки зрения физика — в процессах взаимодействия излучения с веществом. Действительно, эти процессы заметно разнятся, скажем, для  $\gamma$ -квантов и нейтронов. В первом случае ионизация и возбуждение атомов вещества не затрагивают их ядра, во втором же — возможны ядерные реакции, приводящие к изменению состава ядер или их выбиванию из атомов. Однако чтобы оценить значимость этих различий для ОБЭ, необходимо учесть хотя бы первичные эффекты биологического действия излучений.

По современным представлениям, большинство радиобиологических эффектов вызвано ионизацией и возбуждением

атомов и молекул вещества. Именно ионизованные или возбужденные атомы и молекулы «запускают» тот сложный процесс радиационно-химических и биохимических превращений, который приводит в конечном итоге к наблюдаемому радиационно-индуцированному эффекту. С этих позиций, упомянутые различия во взаимодействиях нейтронов и  $\gamma$ -квантов с веществом не в состоянии объяснить разницу в их биологической эффективности. Чтобы оценить величину ОБЭ, надо сравнить число ионизованных атомов на единицу поглощенной энергии для того и другого вида излучения. При этом следует иметь в виду, что в случае  $\gamma$ -квантов ионизация обусловлена электронами, освобождающимися в процессе взаимодействия, а при облучении нейтронами — в основном более тяжелыми частицами (протонами и ядрами отдачи). Так вот, оказывается, что средний расход энергии на образование одной пары ионов довольно слабо зависит от сорта частиц излучения, хотя тяжелым частицам и требуется несколько больше энергии, чем легким. В нашем примере это означает, что число образовавшихся ионов на единицу дозы при нейтронном облучении несколько меньше, чем при облучении  $\gamma$ -квантами. Количество же возбужденных атомов в обоих случаях примерно одинаково. Стало быть, ОБЭ нейтронов не превосходит единицы, что противоречит экспериментальным фактам. Иными словами, исходя из вышеупомянутых представлений о механизмах радиобиологических эффектов, нельзя объяснить величину относительной биологической эффективности для любых видов излучения.

Устранить это противоречие удалось, лишь привлекая установленные эмпирически закономерности, связывающие между собой величины переданной веществу энергии излучения и его ОБЭ. В частности, выяснилось, что относительная биологическая эффективность данного вида излучения не остается постоянной, а очень сильно зависит от дозы. Если учесть, что, по определению, ОБЭ — это отношение значений дозы сравниваемых излучений при равенстве вызванных ими эффектов, то столь резкая зависимость, полученная опытным путем, кажется даже несколько обескураживающей.

Впрочем, для обширного класса радиобиологических эффектов ОБЭ зависит не только от дозы  $D$ , но и от так называемой линейной передачи энергии ЛПЭ, или средней энергии, передаваемой веществу частицей излучения на единицу ее пу-

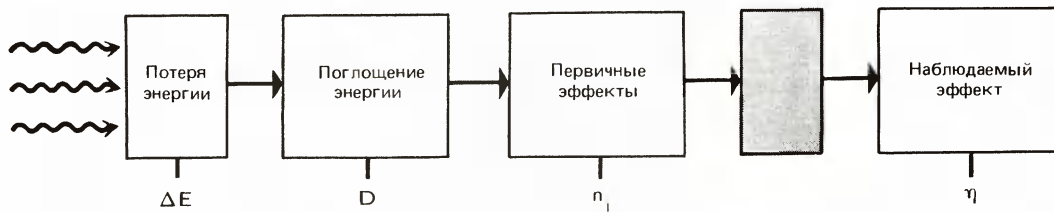


Схема последовательных этапов процесса взаимодействия излучения с веществом. Наблюдаемый эффект — это результат сложных превращений в веществе. Ионизирующее излучение, характеризуемое некоторыми величинами  $\Phi_i$  [скажем, плотностью потока, интенсивностью и т. д.], проходя через вещество, теряет часть своей энергии  $\Delta E$ . В свою очередь, часть потерянной энергии поглощается в веществе, определяя величину дозы  $D$ . Поглощение энергии вызывает в веществе первичные эффекты, например, ионизацию и возбуждение атомов, которые можно описывать интенсивностью  $n_1$ . Далее развиваются промежуточные стадии процесса, часть из которых неизвестна [они изображены в виде своеобразного «черного ящика»]. В итоге же измеряется выход наблюдаемого радиационно-индуцированного эффекта  $\eta$ .

ти. Немаловажно, что в широком диапазоне значений ОБЭ растет с ростом этой величины.

Последнее обстоятельство позволяет согласовать наши представления о природе радиационно-индуцированных эффектов с экспериментальными данными по ОБЭ нейтронов, поскольку величина  $E$  для вторичных частиц при нейтронном облучении оказывается выше, чем для электронов, выбиваемых  $\gamma$ -квантами.

Итак, подведем краткий итог изложенному: поглощенная энергия излучения — первопричина любого радиационно-индуцированного эффекта; механизм радиобиологического действия связан с ионизацией и возбуждением атомов облучаемого вещества; относительная биологическая эффективность зависит от дозы и средней энергии, переданной частицами излучения. Непротиворечиво объединить эти положения нельзя без учета стохастического (случайного) характера взаимодействия ионизирующих излучений с веществом.

### КАК ПЕРЕДАЕТСЯ ВЕЩЕСТВУ ЭНЕРГИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ?

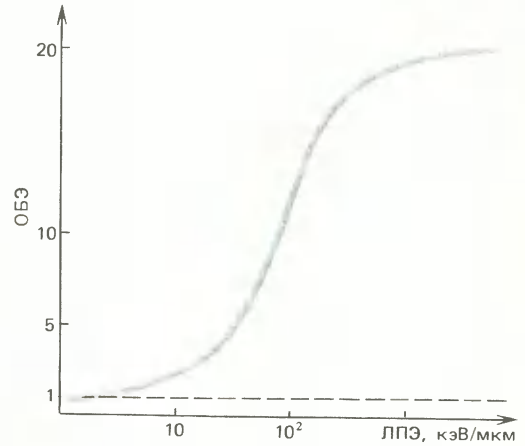
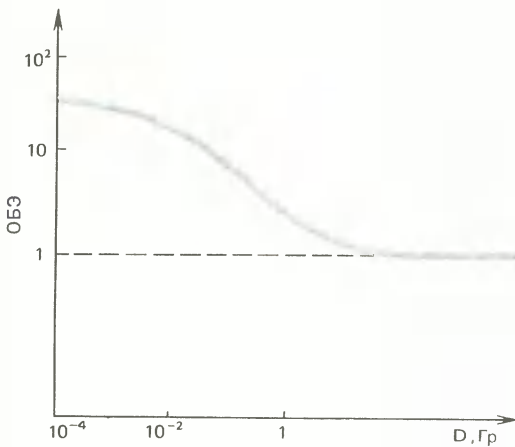
Частицы ионизирующего излучения способны прямо или косвенно ионизировать атомы и молекулы вещества, передавая им энергию малыми порциями в отдельных актах взаимодействия, происходящих случайным образом и описываемых статистически, т. е. на языке теории вероятности.

Число актов взаимодействия излучения с веществом, заключенном в произ-

вольном объеме, — это случайная величина. Иначе говоря, при многократном наблюдении актов взаимодействия за одно и то же время это число каждый раз может быть различным. Обусловлено это стохастической природой, с одной стороны, самого излучения, а с другой — его взаимодействия с веществом. Первое обстоятельство проявляется в том, что при многократном повторении наблюдения в одном и том же объеме фактическое число попадающих в него частиц может быть различным; второе — в том, что при попадании в заданный объем вещества частица излучения может с определенной вероятностью пройти через него, не испытав никакого взаимодействия (предполагается, что размеры «куска» вещества сравнимы с величиной пробега частицы в веществе). Если нас интересует не число взаимодействий, а энергия, переданная излучением веществу, заключенному в данном объеме, то следует еще принять во внимание стохастический характер передачи заданной порции энергии в каждом отдельном акте взаимодействия.

Таким образом, поглощенная веществом энергия оказывается случайной величиной, подчиненной некоторому распределению, найти которое удастся из экспериментов двух типов. В первом из них многократно облучают один и тот же объем вещества в течение одного и того же времени одним и тем же пучком излучения. Измеряя каждый раз переданную энергию, можно построить распределение вероятности того, что в данном объеме выделится определенная энергия. В эксперименте второго типа облучается много образцов одинакового объема, изготовленных из од-





Зависимость относительной биологической эффективности (ОБЭ) от дозы излучения  $D$  (слева) и линейной передачи энергии (ЛПЭ) (справа). С ростом дозы относительная биологическая эффективность любого вида излучения падает, асимптотически приближаясь к единице. Увеличение ЛПЭ, наоборот, сопровождается ростом относительной биологической эффективности всех видов излучения вплоть до некоторого предельного значения, а при малых ЛПЭ относительная биологическая эффективность любого излучения стремится к единице.

ного и того же вещества. Определяя поглощенную за одинаковое время энергию излучения в каждом объеме, мы обнаружим, что она различна. По этим данным можно построить распределение числа объемов, которым передана та или иная энергия, и получить искомый вероятностный закон.

Удобнее, однако, использовать удельную поглощенную энергию  $Z$ , т. е. энергию, отнесенную к массе вещества, заключенного в данном объеме. Эта величина имеет ту же размерность, что и доза излучения  $D$ . Но доза излучения — макроскопическая величина и характеризует среднее значение поглощенной энергии в единице массы вещества. При неизменных условиях облучения доза одинакова в любой точке равномерно облучаемого образца и плавно меняется с изменением интенсивности излучения. Удельная же энергия — микроскопическая величина, которая в заданном объеме при фиксированном значении поглощенной дозы может принимать с определенной вероятностью любые значения от нуля до некоторого максимального. Распределение случайной величины  $Z$  в общем случае оказывается довольно сложным и лишь в некоторых задачах сводится к известным в математической статистике вероятностным функциям.

Среднее значение удельной энергии для большого числа объемов близко к значению дозы, и эти две величины сближаются по мере уменьшения каждого объема

и увеличения их числа. Отклонение удельной энергии от среднего значения, или ее флуктуации, тем значительнее, чем меньше рассматриваемый объем и доза излучения и чем больше линейная передача энергии частиц излучения.

Какова же величина флуктуаций удельной энергии в реальных условиях облучения, например, живой клетки? Оценки дают, что при дозе  $\gamma$ -излучения около  $10^{-2}$  Гр отклонение удельной энергии от среднего значения в объеме клетки — менее 10 %. При такой же дозе нейтронного излучения, образующегося при делении урана, в девяти из каждых десяти облученных клеток удельная энергия равна нулю, а в десятой — в 10 раз превышает среднее значение, т. е. флуктуации достигают 100 %. В меньших объемах, занимаемых, скажем, субклеточными структурами, флуктуации удельной энергии еще значительнее. Так, при той же дозе нейтронного облучения удельная энергия равна нулю в 999 хромосомах из 1000, зато в тысячной — в 1000 раз (!) превосходит среднее значение, или дозу.

Найти распределение (спектр) поглощенной энергии в разнообразных чувствительных к облучению структурах, теоретически и экспериментально определить его параметры, установить их связь с выходом наблюдаемого радиационно-индуцированного эффекта — вот перечень тех задач, которые и составляют предмет микродозиметрии. Иными словами, микродозимет-

рия — это раздел радиационной физики, изучающий законы распределения поглощенной энергии ионизирующего излучения по чувствительным структурам облучаемого объекта и связь параметров этого распределения с выходом наблюдаемого радиационно-индуцированного эффекта.

Расчетно-теоретические методы микродозиметрии, опираясь на знание закономерностей поля излучения и физических процессов его взаимодействия с веществом, дают возможность построить спектр поглощенной энергии в заданном микрообъеме практически при любых условиях облучения, если известны микроскопические характеристики излучения, а также связь между поглощенной дозой и микродозиметрическими параметрами. Экспериментальные же методы и средства позволяют получить микродозиметрические функции, адекватные искомому спектру в конкретных изучаемых микроструктурах.

#### ОБЛУЧЕНИЕ И СРЕЛЬБА ПО МИШЕНЯМ

Первые попытки учесть вероятностный характер взаимодействия излучения с веществом в радиобиологии относятся еще к 20-м годам. Такие попытки предпринимались первоначально в рамках представлений, получивших в научной литературе название теории мишени. Согласно этой теории, в живой клетке имеются своеобразные мишени, попадание в которые инициирует развитие радиационно-индуцированного эффекта. Под попаданием в данном случае понимается любое событие, приводящее к возбуждению мишени, в частности пролет заряженной частицы. Далее рассматриваются возможные варианты условий возбуждения мишени: одна мишень — одно попадание; одна мишень —  $n$  попаданий;  $m$  мишеней — одно попадание;  $m$  мишеней —  $n$  попаданий (иными словами, для возникновения эффекта необходимо, чтобы в каждую из  $m$  мишеней было не менее, чем  $n$  попаданий).

Считая, что вероятность  $n$  попаданий в мишень описывается известной из теории вероятностей формулой Пуассона

$$P = e^{-\bar{n}} \cdot \bar{n}^n / n!$$

( $\bar{n}$  — среднее число попаданий), для каждого из приведенных вариантов нетрудно найти вероятность возбуждения мишени и, тем самым, предсказать развитие радиационно-индуцированного эффекта в зависи-

мости от среднего числа попаданий, а также от параметров  $n$  и  $m$ .

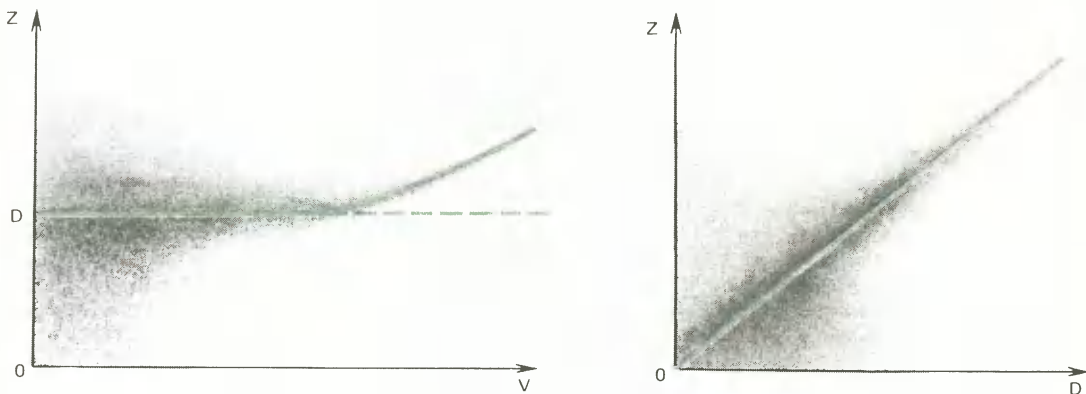
Теория мишени сыграла важную роль в развитии методов анализа радиобиологических экспериментов, однако ее физическое содержание небогато, в ней слишком большое значение придается формальному математическому подходу, а сама модель не вполне адекватна исследуемому явлению.

Микродозиметрический подход в определенной степени базируется на представлениях теории мишени. В микродозиметрии чувствительная микроструктура тоже рассматривается как мишень. Отличие лишь в том, что в микродозиметрии используется реально поглощенная мишенью энергия, т. е. независимо определяемый и физически обоснованный фактор возбуждения мишени, а вместо простого набора событий, подчиняющегося распределению Пуассона, фигурируют реальные функции распределения. Такое последовательное и строгое описание оказалось возможным благодаря разработке методов экспериментального моделирования спектров поглощения энергии в микрообъектах, предложенного впервые в работах сотрудника Колумбийского университета (США) Х. Росси, и теоретическому обоснованию связей между параметрами функций, описывающих эти спектры.

#### МИКРОДОЗИМЕТРИЯ В РАДИОБИОЛОГИИ

Итак, чувствительные структуры, ответственные за проявление данного радиационно-индуцированного эффекта, при облучении попадают в неодинаковые условия. Распределение поглощенной энергии в микрообъектах даже при одной и той же дозе оказывается различным для разных видов излучения. Поскольку именно поглощение энергии — первопричина любого радиационно-индуцированного эффекта, то и его выход  $\eta$  зависит от этого распределения. Отсюда ясно, что относительная биологическая эффективность должна различаться для разных видов излучения.

Если в формулу  $\eta = F(Q_i)$  в качестве  $Q_i$  подставить микродозиметрические параметры, описывающие микрораспределение поглощенной энергии, то получим функциональную зависимость выхода эффекта от этих параметров. Такая зависимость определяет микродозиметрическую модель радиационного действия. Она более адек-



Связь удельной поглощенной энергии  $Z$  с величиной микрообъема  $V$  (слева) и дозой  $D$  при фиксированном объеме (справа). Поглощенная энергия — это случайная величина и с определенной вероятностью может принимать различные значения (отмечены точками). Среднее значение удельной энергии (цветная линия) приближается к значению дозы  $D$  (цветной пунктир) при уменьшении размеров облучаемого объема, однако при этом возрастает и разброс значений величины  $Z$ , или, как принято говорить, увеличиваются ее флуктуации. Эти флуктуации в объемах заданных размеров оказываются тем выше, чем меньше доза  $D$ . С увеличением же дозы значения удельной энергии все меньше отличаются от значений  $D$ .

ватна процессам преобразования энергии излучения в веществе и универсальнее, чем обычная зависимость «доза — эффект».

Зная связь между микродозиметрическими параметрами и дозой излучения, удается выразить выход эффекта через эти параметры. Важно, что эти параметры имеют ясный физический смысл (моменты случайной величины  $Z$ ) и могут быть найдены независимым путем, а не выводятся из наилучшего совпадения теории с экспериментом, как это часто делается при составлении эмпирических формул. В этом и состоит содержательность микродозиметрических моделей.

Существуют убедительные примеры количественного микродозиметрического анализа, объясняющего некоторые радиобиологические закономерности. Например, микродозиметрия объясняет не только сам факт зависимости ОБЭ от вида излучения, но и характер этой зависимости. В микродозиметрических моделях можно рассчитать зависимость ОБЭ от дозы и показать, что она описывается приведенной выше кривой.

Нельзя не упомянуть и о другой возможности применения микродозиметрического анализа. Речь идет об изменчивости наблюдаемого эффекта. Допустим, что изучаются хромосомные aberrации, вызванные излучением. Облучая совокупность многих одинаковых клеток и определяя число aberrаций в каждой из них, нетрудно установить, что это число оказывается различным для разных клеток, т. е. экспе-

риментально найти распределение клеток по числу aberrаций. Но само по себе это несколько не приближает нас к ответу на вопрос: почему число aberrаций в клетках неодинаково? Настоящий ответ на этот вопрос требует учета двух обстоятельств. Первое из них связано с природной биологической изменчивостью, а второе — с флуктуациями удельной поглощенной энергии. Наблюдаемое в эксперименте различие числа aberrаций, характеризующееся величиной дисперсии, имеет, таким образом, две составляющие: природную (обусловленную биологической изменчивостью) и физическую (обусловленную случайным характером поглощения энергии излучения). В микродозиметрии установлена аналитическая связь между этими тремя величинами дисперсии: наблюдаемой, природной и физической. Это позволяет провести микродозиметрический дисперсионный анализ, в результате которого удается выделить обе составляющие дисперсии наблюдаемого в эксперименте радиационно-индуцированного эффекта.

Такой подход был применен, например, при анализе результатов эксперимента по облучению бактериофага адронами высоких энергий, проведенного в Институте биологической физики АН СССР. Результаты этого эксперимента оказались не совсем обычными. В частности, наблюдались выбросы значений относительной биологической эффективности, в которых величина ОБЭ более чем на порядок превышала ожидаемое значение. Микродозиме-

метрический анализ дисперсии эффекта в этом случае дал обоснование виду распределения выживаемости фагов и непротиворечивое объяснение аномально высоким значениям ОБЭ.

По-видимому, не до конца еще раскрыты возможности микродозиметрии для оптимального планирования режимов облучения в лучевой терапии. В этой области обращают на себя внимание две важные оптимизационные задачи: обеспечить максимальный выход эффекта при целенаправленном облучении, который сопровождался бы минимальным поражением здоровых тканей, и добиться максимального выхода при минимальной поглощенной дозе. В первой из них представляется заманчивым использовать так называемый пик Брэгга — всплеск локальной потери энергии, наблюдаемый в конце пробега тяжелой заряженной частицы, скажем протона. Распределение таких всплесков сильно влияет на микрораспределение поглощенной энергии и, тем самым, на выход эффекта, для предсказания которого, стало быть, требуются данные микродозиметрии. Основные трудности, возникающие в связи со второй задачей, сводятся к следующему. При облучении подлежащие поражению клетки поглощают при заданной дозе неодинаковое количество энергии: часть из них получает энергию, значительно большую необходимой, а другая часть — слишком мало энергии, чтобы быть поврежденными. Как говорится, «где-то густо, а где-то пусто», так что энергия распределена между клетками не оптимально. Мы пока не в состоянии «перекачивать» поглощенную энергию из одной клетки в другую. Однако, зная, как рассредоточена поглощенная энергия, можно выбрать такие условия облучения, которые в конкретных ситуациях оказались бы оптимальными. Это типичная задача микродозиметрии.

Приведенные примеры далеко не исчерпывают все возможности применения микродозиметрии даже в одной области науки — радиобиологии. Кроме того, в последнее время микродозиметрический подход все чаще используют и для исследований радиационно-индуцированных эффектов в твердых телах с гетерогенной структурой. Так, при облучении сверхпроводящих композитов, состоящих из тонких (диаметром до 10 мкм) нитей, наблюдаются локальные нарушения сверхпроводимости. Известно, что при нагреве до критической температуры сверхпроводимость исчезает. Но упомянутые нарушения сверхпроводимости возникают при значительно

меньших дозах, когда критическая температура не достигается. Лишь используя микродозиметрический подход и учитывая флуктуации поглощенной энергии на отдельных участках нитей, удалось понять это явление и выработать критерий стабильности таких материалов при облучении.

До сих пор речь шла о микродозиметрии стационарной, иными словами, предполагалось, что как сами микрообъемы, так и характеристики излучения не меняются со временем. Поле излучения сделать стационарным и однородным — в нашей власти. Что же касается самих чувствительных структур, то здесь все гораздо сложнее, особенно в живых системах. Ведь у субклеточных структур и клеток чувствительность к облучению может меняться во времени. Если это интерпретировать как изменение объема чувствительной структуры, то возникает задача микродозиметрического анализа в нестационарных условиях. Кое-что в этом направлении уже сделано. Далее предстоит исследовать полученные микродозиметрические функции распределения в нестационарных радиационных полях, что, в свою очередь, сулит новые возможности изучения и применения радиационно-индуцированных эффектов.

\*

Со времени Первого Всесоюзного совещания, упомянутого в начале статьи, прошло всего 16 лет. Недавно состоялось уже пятое такое совещание по микродозиметрии и ее прикладным аспектам, материалы которого показывают, что рожденная из потребностей радиобиологии микродозиметрия имеет гораздо более широкие приложения. Границы ее применимости определяются величинами флуктуаций поглощенной энергии в чувствительных структурах, ответственных за развитие того или иного радиационно-индуцированного эффекта. Природа объекта не является решающей при определении целесообразности его микродозиметрического исследования. Важно лишь наличие дискретных чувствительных структур и флуктуаций их возбуждения.

Специфика объектов исследования, вполне четко очерченные границы применимости, разработанные экспериментальные и расчетно-теоретические методы и, наконец, свой понятийный аппарат — все это выделяет микродозиметрию в самостоятельный раздел современной физики и позволяет говорить о ее стремительном развитии и многообещающих перспективах.



# ПОЛЯРЫ

И. Л. Андронов



Иван Леонидович Андронов, кандидат физико-математических наук, ассистент кафедры астрономии Одесского государственного университета им. И. И. Мечникова. В 1980 г. окончил астрономическое отделение физического факультета этого университета. Область научных интересов — изучение магнитных полей в тесных двойных звездных системах.

Одно из важнейших направлений современной астрофизики — изучение строения и эволюции тесных двойных систем (ТДС). Интерес к ним особенно возрос в последнее время в связи с развитием рентгеновской астрономии. С помощью специализированных космических аппаратов обнаружено множество источников рентгеновского излучения, поразивших астрофизиков обилием экзотических свойств. Среди них особое место занимают звезды типа AM Геркулеса: ультракороткопериодические двойные звездные системы, состоящие из маломассивной звезды-спутника и компактной звезды — белого карлика с сильным магнитным полем.

Лавина исследований началась в 1976 г., когда С. Тапия (США) обнаружил, что оптическое излучение звезды AM Геркулеса сильно поляризовано. Но совершенно ошеломляющим для астрофизиков было открытие В. Кшеминского (ПНР) и К. Серковского (США), которые зарегистрировали у звезды AN Большой Медведицы еще в три раза большую круговую поляризацию (достигающую 35 %). Ни у одной из известных к тому времени звезд не было подобных аномалий, и эти объекты выделили в особую группу «поляров», подчеркнув названием их характерную особенность. Открытия посыпались одно за другим. Для объяснения наблюдаемых свойств необходимо было предположить, что основной источник излучения в таких объектах — горячая плазма, находящаяся в сильном магнитном поле (около  $10^8$  Гс). По-видимому, вещество оболочки спутника захватывается гравитационным полем белого карлика и постепенно перетекает на эту компактную звезду. Такой процесс, называемый в астрофизике аккрецией, наблюдается у многих ТДС. Однако в полярах происходит уникальное явление — одна звезда (спутник) оказывается внутри зоны действия магнитного поля второй звезды, которое и управляет процессом аккреции. Это приводит к появлению ряда интересных эффектов, которые мы и рассмотрим.

## СТАНДАРТНАЯ МОДЕЛЬ

Интенсивные фотометрические и спектральные наблюдения в широком диапазоне длин волн — от рентгеновского до инфракрасного — позволили уже к 1977 г. сформулировать основные положения, касающиеся природы звезд типа AM Геркулеса. Во-первых, было обнаружено, что поток излучения от этих объектов для всех наблюдаемых длин волн изменяется с тем же трехчасовым периодом, что и поляризация и лучевые скорости. Поскольку кривые изменения этих величин оказались смещенными друг относительно друга, был сделан вывод, что источники излучения в разных диапазонах, не будучи тождественными, в целом сохраняют свое взаимное расположение. Во-вторых, эмиссионные линии в спектре излучения полярных свидетельствуют о существовании в объекте разреженной плазмы. Рентгеновское излучение связано с мощным горячим источником, каким может быть плазма, перетекающая на белый карлик. А обеспечить приток плазмы способна звезда-спутник<sup>1</sup>. Эти и другие аргументы и привели к появлению стандартной модели магнитной тесной двойной системы (МТДС).

В обычных ТДС звезда-спутник теряет вещество через окрестности особой точки, называемой внутренней точкой Лагранжа. Обладая значительным удельным моментом импульса, плазма в таких системах образует аккреционный диск и постепенно перетекает на компактную звезду<sup>2</sup>. Однако в полярных сильное магнитное поле не допускает образования диска, поскольку плазма движется вдоль силовых линий. Магнитное поле играет роль своеобразного тормоза, который не только не позволяет белому карлику вращаться слишком быстро, но и приводит к почти полной синхронизации его орбитального и вращательного движений.

Вещество, выпадающее на компактную звезду, разгоняется до скоростей несколько тысяч километров в секунду и сталкивается с уже замедлившейся плазмой, что приводит к образованию ударной вол-

ны. Возникает жесткое рентгеновское излучение, которое и было обнаружено с американского спутника «OSO-8». После прохождения ударной волны плазма продолжает излучать, но уже в мягком рентгеновском, ультрафиолетовом и видимом диапазонах. Это излучение доминирует в системе, на его фоне излучение самих звезд можно выделять лишь с большим трудом. И только когда аккреция почти прекращается, становится возможным исследование звезд, образующих систему.

## «МАГНИТНЫЙ КЛАПАН» И «КАЧАЮЩИЙСЯ ДИПОЛЬ»

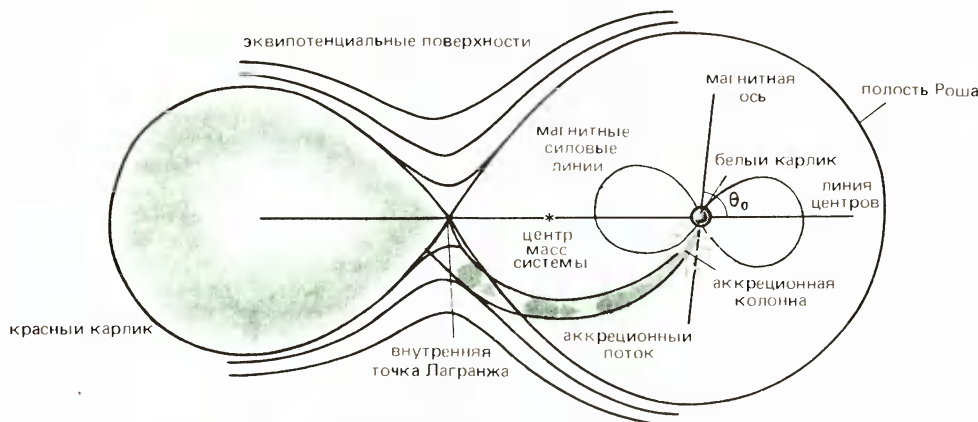
В магнитных ТДС происходит уникальное для двойных систем явление — магнитное поле белого карлика модулирует скорость истечения вещества из оболочки спутника.

Как известно, равновесная форма твердых тел определяется эквипотенциальными поверхностями. Для одиночной звезды они имеют форму сфер, а в двойных системах (в которых нужно учитывать также притяжение второй звезды и центробежную силу, обусловленную относительным движением) обладают несколько более сложной формой. На линии между центрами масс звезд существует точка Лагранжа (всего их пять в орбитальной плоскости), в которой силы притяжения к обоим компонентам и центробежная сила уравниваются. Эквипотенциальная поверхность, проходящая через эту точку, называется поверхностью, или полостью, Роша. Если размеры звезд малы по сравнению с размером полости Роша, взаимное влияние звезд сводится к деформации. Если же одна из них почти заполняет свою полость Роша, вещество ее оболочки перетекает в окрестности внутренней точки Лагранжа к компактной звезде. В системах типа AM Геркулеса спутником является карликовая звезда спектрального класса M с массой 0,1—0,5 массы Солнца. Эти звезды имеют сравнительно низкую эффективную температуру, равную 2500—4500 К (напомним, что температура Солнца составляет 5800 К). Во внешних слоях таких объектов образуются мощные конвективные потоки, переносящие энергию из внутренних областей. Оболочка как бы кипит, отдельные сгустки вещества поднимаются вверх, затем остывают, сжимаются и падают обратно.

Чтобы плазма со спутника могла проникнуть в полость Роша главной звезды,

<sup>1</sup> Впервые идея о том, что аккреция плазмы из оболочки спутника на вырожденную звезду в двойной системе может привести к образованию мощного рентгеновского источника, была высказана Я. Б. Зельдовичем и И. Д. Новиковым в 1966 г.

<sup>2</sup> «Классическая» модель аккреционных дисков была разработана Н. И. Шакурой и Р. А. Сюняевым и получила дальнейшее развитие в ряде работ отечественных и зарубежных специалистов.



Модель магнитной тесной двойной системы. Маломассивная звезда-спутник (красный карлик массой  $0,1—0,5 M_{\odot}$ ) и белый карлик ( $0,6—1,2 M_{\odot}$ ) находятся на расстоянии около одного солнечного радиуса друг от друга. Вещество, истекающее из оболочки спутника, движется вдоль магнитных силовых линий белого карлика и выпадает вблизи его магнитного полюса. На некоторой высоте над поверхностью белого карлика образуется фронт ударной волны, разделяющий сравнительно холодный ( $10^4$  К) аккреционный поток и горячую ( $10^6—10^8$  К) аккреционную колонну. Показана эволюция отдельного сгустка аккрецирующего вещества из бесформенного облака в быстро движущийся плазменный шнур — «спагетти».  $\theta_0$  — угол между магнитной осью и линией центров системы.

необходимо преодолеть некоторый потенциальный барьер, высота которого зависит от масс компонентов, расстояния между ними и ориентации магнитного поля. Осуществить это можно лишь при достаточной скорости. Часть вещества проникает через переходную зону, а более медленная опускается обратно. Естественно, вещество течет не только через саму точку Лагранжа, но и в ее окрестности (специальнообразный туннель). Расчеты показали, что размер туннеля зависит от многих параметров системы, но в конечном итоге определяется распределением «кипящего» вещества по скоростям и изменением потенциала вблизи точки Лагранжа. В двойных системах с орбитальными периодами, меньшими 3—4 ч, через туннель, радиус которого составляет 2—4 % от расстояния между звездами, проходит до 99 % перетекающей плазмы.

Скорость аккреции максимальна, когда угол  $\theta_0$  между магнитной осью и линией центров системы равен нулю, и резко уменьшается при увеличении этого угла. Когда  $\theta_0 = 90^\circ$ , магнитное поле препятствует истечению вещества — «магнитный клапан» закрыт полностью. В этом случае аккреция возможна лишь за счет «прокапывания» плазмы внутрь магнитосферы белого карлика из-за возникновения плазменных неустойчивостей<sup>3</sup>.

Момент сил, приложенных к белому карлику, равен нулю, когда величина  $\theta_0$  примерно равна  $0^\circ$  или  $90^\circ$ . Равновесно только второе положение, вблизи которого могут возникать существенно нелинейные колебания ориентации магнитной оси диполя. Поскольку магнитное поле, перпендикулярное линии центров, препятствует истечению плазмы в окрестности внутренней точки Лагранжа, а вещество должно перетекать с одной звезды на другую, то диполь не может оставаться продолжительное время в положении равновесия. Поэтому обязательно должны возникать автоколебания ориентации магнитной оси, при которых вещество оболочки спутника перетекает на белый карлик отдельными порциями во время благоприятного положения «магнитного клапана». Наблюдательным тестом модели такого «качающегося диполя» может служить цикличность орбитальных кривых изменения различных физических величин — поляризации, лучевых скоростей, блеска в различных диапазонах — от рентгеновского до инфракрасного.

<sup>3</sup> Подробнее об этом см.: Липунов В. М. Магнитосфера рентгеновских пульсаров // Природа. 1980. № 10. С. 52—61.

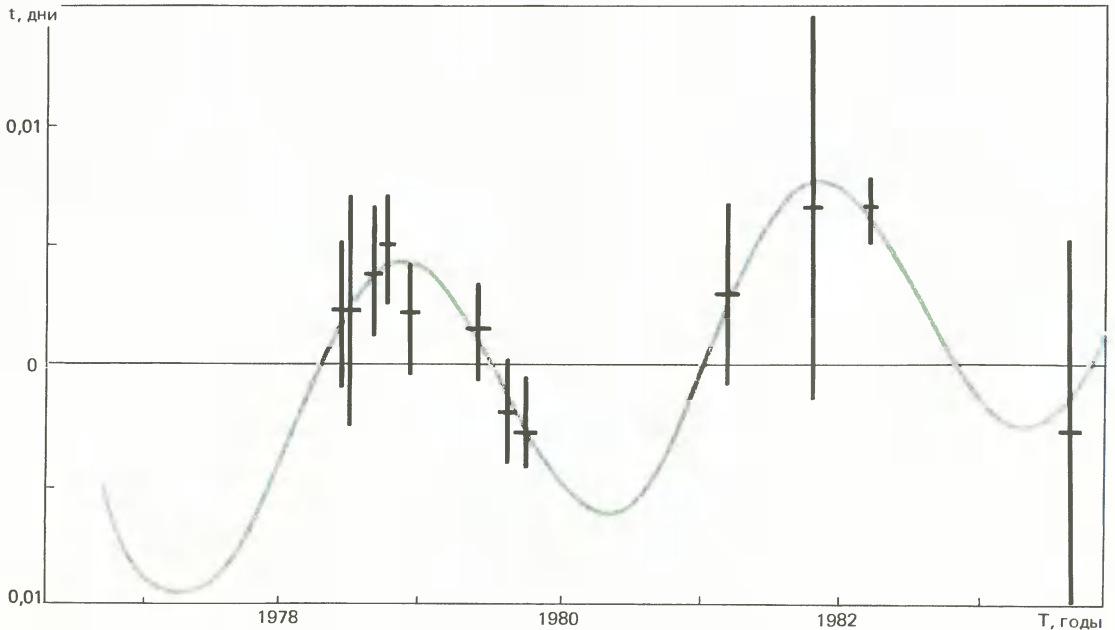
### ЧТО ПОКАЗЫВАЮТ НАБЛЮДЕНИЯ?

Этот вопрос — основной при обсуждении любых теоретических моделей. Например, согласно модели «качающегося диполя», кривые зависимости характеристик излучения от фазы орбитального движения должны изменяться с фазой колебаний ориентации магнитной оси белого карлика. Аналогично должна меняться и светимость системы, пропорциональная скорости аккреции.

Теория предсказывает, что продолжительность цикла таких колебаний составляет 1—10 лет. Поэтому необходимо исследовать изменение блеска полярных звезд на протяжении как можно большего интервала времени. И тут неоценимую информацию могут дать «патрульные пластинки» служб неба различных обсерваторий. В самом деле, фотографируя любую область неба, астрономы заносят в архив изображения не одной, а нескольких десятков или даже сотен переменных звезд. А если регулярно фотографировать много областей, то впоследствии можно восстановить кривые блеска большинства известных звезд. По-

тому и работают, начиная с конца прошлого века, службы неба в Гарварде (США), Зоннеберге (ГДР) и Москве. По инициативе В. П. Цесевича (1907—1983) в Одессе создан семикамерный астрограф — семь жестко скрепленных телескопов, фотографирующих различные участки звездного неба; на более чем 60 тыс. фотопластинок, полученных с его помощью, зафиксировано более двух третей Северного полушария небесной сферы. По этим архивным материалам и удалось исследовать изменение блеска полярных звезд в предыдущие десятилетия. Р. Гудец (ЧССР) и Л. Мейнунгер (ГДР) по материалам Зоннебергской фототеки показали, что AM Геркулеса находится большую часть времени в двух основных состояниях — ярком «активном» и слабом «неактивном»; они различаются по светимости примерно в 10 раз. Дополнительные данные, полученные в Гарварде и Одессе, показали, что изменения светимости происходят не строго периодически, а циклически, причем продолжительность цикла может меняться в весьма широких пределах — от 130 до 1000 сут.

С 1978 г. в Одесском университете ведутся регулярные фотографические наб-



Отклонение наблюдаемых моментов  $t$  минимумов блеска системы AM Геркулеса (точки) от теоретически предсказанных (сплошная кривая). Обнаруженная трехлетняя циклическость может быть объяснена колебаниями ориентации магнитной оси диполя с амплитудой около  $17^\circ$ . Всего для определения параметров синусоиды использовалось 102 момента минимумов. Большой разброс экспериментальных данных определяется в основном переменностью формы кривой блеска системы, что связано с нестационарностью аккреционного потока.



людения AM Геркулеса и ряда других аналогичных объектов. Как выяснилось в ходе выполнения этой наблюдательной программы, разделение состояний на «активное» и «неактивное» недостаточно. Поляры часто находятся в промежуточном по светимости состоянии, во время которого увеличивается амплитуда изменения блеска и поток излучения сильно флуктуирует. Переход из активного состояния в неактивное примерно в полтора раза продолжительнее, чем обратный, и занимает несколько десятков дней. В рамках модели «качающегося диполя» это можно объяснить тем, что во время неактивного состояния в оболочке спутника накапливается избыток вещества, который интенсивнее перетекает на белый карлик, как только открывается «магнитный клапан». Неоднородность аккреционного потока может объяснить наблюдаемую сильную переменность формы кривых блеска — не только от ночи к ночи, но и от цикла к циклу. Даже в течение одной ночи амплитуда изменения блеска может меняться от максимальной ( $\sim 1^m$ ) до минимальной ( $\sim 0,2^m$ ). Что же касается отсутствия строгой периодичности в медленных изменениях светимости, то оно может быть связано с нестационарностью характеристик оболочки спутника.

Впрочем, можно попытаться объяснить изменения светимости и с помощью других эффектов. А изменяется ли вообще ориентация магнитной оси системы? Было определено более сотни моментов минимумов блеска AM Геркулеса, которые показали, что фаза минимумов меняется с циклом 1100 сут. Именно так и должно быть в рамках модели «качающегося диполя». Но выполняется ли второе предсказание теории — существует ли корреляция между фазой минимума и светимостью? В самом деле, с увеличением  $\theta_0$  минимумы блеска должны наступать раньше, чем им положено в соответствии с фазой орбитального движения. Но при этом (если  $\theta_0 < 90^\circ$ ) «магнитный клапан» должен закрываться, а светимость — падать. Именно такую зависимость получили В. П. Смыков и Л. И. Шакун для AM Геркулеса и С. Ю. Шугаров — для AN Большой Медведицы. Трудно объяснить подобную корреляцию, не прибегая к модели «качающегося диполя».

Конечно, обнаружение эффекта у двух систем не дает оснований распространять его на объекты всего класса. Но пока, к сожалению, наблюдения других полярных не позволяют дать статистически значимый ответ.

## ПОДОБЕН ЛИ СПУТНИК ЛУНЕ?

Вращение спутника в ТДС почти синхронно с орбитальным движением. Это объясняется тем, что неоднородность гравитационного поля в системе приводит к появлению приливов. При вращении объекта перемещение приливной волны сопровождается диссипацией вращательной энергии за счет трения, и спутник остается повернутым к главной звезде одной стороной, как Луна к Земле. Подобный механизм объясняет и то, почему орбиты тесных двойных систем становятся круговыми.

Однако при аккреции переносится не только масса, но и момент импульса. Кроме того, действие силы Кориолиса, связанной с вращением системы, приводит к вращению конвективной оболочки относительно внутренних слоев спутника. Поэтому не только постепенно изменяется период, но и возникает небольшая асинхронность вращательного и орбитального движений спутника. Если оболочка неоднородна, скорость аккреции будет меняться в зависимости от того, какой стороной спутник обращен к белому карлику. По мнению ряда авторов, такая ситуация наблюдается у звезд типа SU Большой Медведицы — ближайших по своей структуре «соседей» полярных среди катаклизмических переменных<sup>1</sup>.

Асинхронность искажает зависимость момента сил и скорости аккреции от угла  $\theta_0$ , поэтому положение равновесия магнитной оси белого карлика несколько смещается. В этом случае после прохождения положения равновесия не обязательно должно происходить аккреция на второй полюс белого карлика, как следует из модели, не учитывающей асинхронность.

Аккреция одновременно на оба полюса действительно изредка наблюдается у некоторых полярных (например, у VV Кормы). В системе AM Геркулеса подобные «переключения» не обнаружены, что может свидетельствовать о несколько большем отклонении положения равновесия от случая, когда  $\theta_0 = 90^\circ$ . Интересно, что в равновесном положении «магнитный клапан» может «протекать». Иными словами, аккреция может происходить и при

<sup>1</sup> Подробнее об эволюции карликовых ТДС и катаклизмических переменных звездах см.: Масевич А. Г., Тутуков А. В., Юнгельсон Л. Р. Гравитационное излучение и эволюция карликовых двойных звезд // Природа. 1981. № 5. С. 68—76.

отсутствии изменений в ориентации магнитной оси, хотя колебания увеличивают пропускную способность «магнитного клапана».

### «МАГНИТНЫЕ БЕЛЫЕ КАРЛИКИ ЕДЯТ СПАГЕТТИ»

Что же происходит со сгустками вещества, которым, несмотря на всю сложность структуры переходной зоны, все же удалось проникнуть через потенциальный барьер в полость Роша белого карлика? Оценки показывают, что газовое давление здесь мало по сравнению с магнитным. Поэтому плазма движется вдоль силовых линий, несколько искажая их. Клочковая структура аккреционного потока приводит к тому, что излучение не будет постоянным, как у стационарных звезд, а сильно флуктуирует. Спектральные наблюдения, проведенные на 6-метровом телескопе Специальной астрофизической обсерватории АН СССР Н. Ф. Войханской и А. Н. Буренковым, показали, что с увеличением светимости системы профили спектральных линий сглаживаются; связано это с тем, что количество сгустков увеличивается и аккреционный поток становится более однородным, сглаживая отдельные флуктуации. Этот же эффект объясняет и отмеченную выше нестабильность формы кривой блеска в промежуточном по светимости состоянии системы.

Поскольку силовые линии магнитного поля сгущаются по мере приближения к компактной звезде, толщина движущегося сгустка плазмы уменьшается. Неоднородность гравитационного поля и газовое давление приводят к вытягиванию сгустка вдоль траектории движения. К белому карлику приходит уже не бесформенное облако, а плазменный шнур, длина которого примерно в 10 тыс. раз превышает толщину. Таким образом, по образному выражению американского астрофизика Р. Панека, «магнитные белые карлики едят спагетти».

### ИСКЛЮЧЕНИЕ ИЛИ ПРАВИЛО?

Для спектров полярных характерны яркие эмиссионные линии водорода и гелия и более слабые — других элементов. Эти линии имеют сложную структуру, но в первом приближении их можно разделить на широкую и узкую составляющие. Как и другие характеристики излучения, профили линий меняются с фазой орбитального движе-

ния. Сам по себе этот факт вряд ли вызвал бы удивление, если бы не одно обстоятельство — амплитуды и фазы изменения лучевых скоростей обеих составляющих существенно различаются. В частности, у АМ Геркулеса кривые лучевых скоростей, определенных по узким и широким компонентам, сдвинуты по фазе на  $135^\circ$ , а по амплитуде различаются почти в три раза. Это свидетельствует о том, что широкая компонента (амплитуда лучевой скорости равна 285 км/с) связана с быстро движущимся горячим веществом вблизи белого карлика, в то время как узкая (116 км/с) — следствие переизлучения рентгеновского и ультрафиолетового потоков сравнительно холодным веществом.

Любопытно, что кривые лучевых скоростей, определенные по линиям поглощения натрия (образующимся в оболочке спутника) и по узким компонентам эмиссионных линий, почти не различаются по фазе, но их амплитуды различаются существенно. Связано это с тем, что эмиссионные линии образуются ближе к центру масс системы, чем линии поглощения<sup>5</sup>.

При закрытом «магнитном клапане» аккреция прекращается, и соответственно исчезают широкие компоненты линий, связанные с быстро движущимся веществом. Эмиссионные линии становятся уже и тогда, когда быстро движущаяся вблизи белого карлика плазма затмевается диском компактной звезды, либо когда ось аккреционной колонны перпендикулярна лучу зрения (поскольку в этом случае классический эффект Доплера не наблюдается).

Эти и другие эффекты характерны не только для звезды АМ Геркулеса, но и для других систем этого типа. Несмотря на некоторые различия, все они обладают рядом характерных особенностей (поляризационных, спектральных и фотометрических), по совокупности которых и определяется принадлежность этих объектов к МТДС. В результате же интерес к поляркам оказался настолько большим, что подозревать в принадлежности к этому классу стали объекты с достаточно разнообразными характеристиками. И если известный американский физик Дж. Уилер назвал черные дыры «козлами отпущения 70-х годов», то с 1976 г. этот эпитет можно применять к звездам типа АМ Геркулеса.

<sup>5</sup> Процесс переизлучения жесткого потока от компактной звезды более холодной плазмой подробно рассмотрен в работах М. М. Баско и Р. А. Сюняева; см., напр.: Basko M. M., Sunyaev R. A. // *Astrophys. Space Sci.* 1973. Vol. 23. P. 71—116.

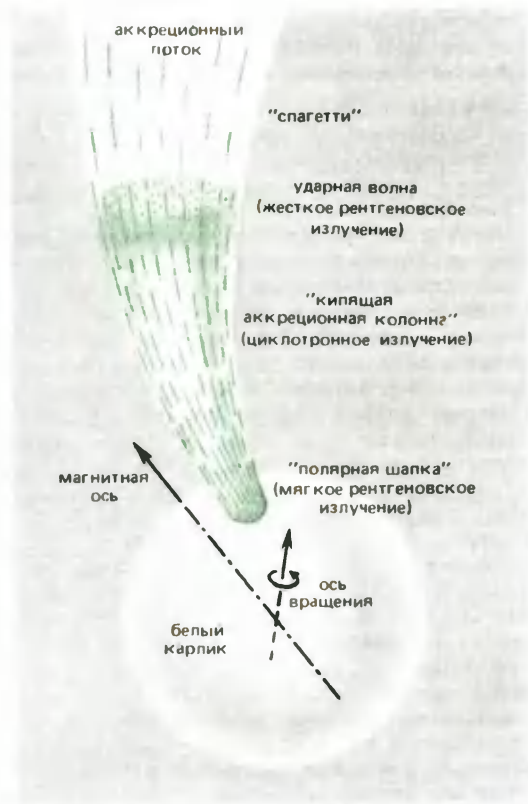
## АККРЕЦИОННАЯ КОЛОННА

Как уже отмечалось, вблизи магнитного полюса белого карлика падающая со скоростью в несколько тысяч километров в секунду плазма сталкивается с уже замедлившейся плазмой, в результате чего образуется ударная волна. Аккреционная колонна между ее фронтом и поверхностью компактной звезды представляет собой основной источник излучения спектра в диапазоне от рентгеновских до ближних инфракрасных длин волн. Поскольку двойная система вращается, условия видимости колонны изменяются, а с ними — и все наблюдаемые характеристики излучения.

Так как аккреционная колонна находится в сильном магнитном поле, ее излучение в оптическом и инфракрасном диапазонах сильно поляризовано. В спектре иногда наблюдаются линии (как поглощения, так и излучения) на частотах, кратных циклотронной частоте. Их существование для звезд с сильными магнитными полями было предсказано в 1974 г. Ю. Н. Гнединым и Р. А. Сюняевым. Детально излучение плазмы в сильных магнитных полях исследовалось как в нашей стране (В. В. Железняков, Г. Г. Павлов, И. Г. Митрофанов и их коллеги), так и за рубежом (Г. Чангугам и др.).

В реальной аккреционной колонне при удалении от оси плотность плазмы убывает не скачком, а более плавно, хотя и достаточно быстро. Эффективный радиус колонны зависит от ее оптической толщины (которая, в свою очередь, — функция плотности плазмы на оси колонны), закона ее изменения, температуры, магнитного поля, частоты излучения и угла между осью колонны и направлением на наблюдателя. Поэтому при наблюдениях на разных длинах волн видимая толщина колонны не будет постоянной. Это приводит к существенному искажению теоретических спектральных характеристик излучения по сравнению с рассчитанными в рамках модели однородной колонны.

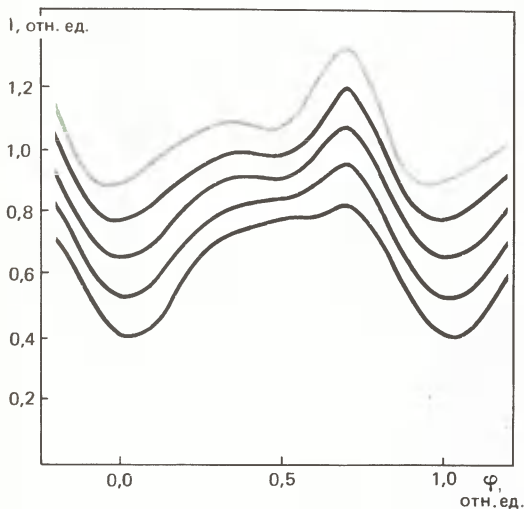
Рентгеновское излучение, на которое магнитное поле почти не влияет, в основном уходит из системы, но часть его поглощается и переизлучается как аккрецирующей плазмой, так и белым карликом и холодным спутником. Поверхность белого карлика нагревается примерно до 300 тыс. К и излучает в мягком рентгеновском и ультрафиолетовом диапазонах. В его «полярной шапке» у основания аккреционной



Аккреционная колонна под поверхностью белого карлика. Достигая фронта ударной волны, ступки падающей плазмы («спагетти») разогреваются, образуются «кипящая» аккреционная колонна. Кинетическая энергия ступок частично переходит в жесткое рентгеновское излучение. Во время дальнейшего падения плазма излучает сильно поляризованный поток в оптическом и ближнем инфракрасном диапазонах. В «полярной шапке» вблизи поверхности белого карлика вещество окончательно тормозится и излучает в мягком рентгеновском диапазоне длин волн. Полная мощность излучения колонны сравнима со светимостью Солнца [ $4 \cdot 10^{26}$  Вт], причем мягкий рентгеновский поток в несколько раз больше, чем поток в других диапазонах.

колонны могут даже протекать термоядерные реакции, что весьма существенно скажется на структуре излучающей области.

Еще на один принципиально важный вопрос — проблему стока — обратил внимание ленинградский астрофизик В. Н. Федоренко. В самом деле, вещество из основания аккреционной колонны должно постепенно растекаться по поверхности белого карлика. В противном случае колонна будет подобна стакану, сравнительно быстро наполняющемуся падающим извне веществом. С одной стороны, маг-



Зависимость потока излучения от системы АМ Геркулеса I от фазы орбитального движения ( $\phi$ ) в «активном» (цвета кривая) и «промежуточных» состояниях. При повышенной светимости перед минимумом наблюдается горб, характерный для карликовых новых звезд.

нитное поле препятствует движению плазмы перпендикулярно силовым линиям, а с другой — в случае «растекания» — оно весьма сильно исказится, а вместе с ним изменится и структура аккреционной колонны.

На отсутствие резкой границы между полярами и некоторыми другими типами переменных звезд указывает еще одно обстоятельство. Оказалось, что спектры рентгеновского излучения АМ Геркулеса в максимуме светимости и карликовой новой SS Лебеда в минимуме подобны. Это связано с тем, что, поскольку магнитное поле на поверхности SS Лебеда значительно меньше, чем у поляров, и составляет примерно  $10^6$  Гс, аккреционная колонна образуется и в этой системе, но только при уменьшении скорости перетекания вещества. С увеличением темпа аккреции колонна исчезает, и внутренние части аккреционного диска приближаются к поверхности белого карлика. Тормозное излучение в жестком рентгеновском диапазоне поглощается и переизлучается падающим веществом и поэтому не выходит за пределы системы.

Дискуссии вызывает и вопрос о величине напряженности магнитного поля в полярах. Предварительные оценки ( $2 \cdot 10^8$  Гс) сейчас подвергаются сомнению;

предполагается, что это значение следует уменьшить примерно в 10 раз, приблизив, таким образом, поляры к другим катаклизмическим переменным, которые отличаются от поляров лишь отсутствием сильного магнитного поля. Возможно, значение  $2 \cdot 10^7$  Гс относится не к самому белому карлику, а к некоторой области над его поверхностью, однако этот вопрос требует дополнительного исследования.

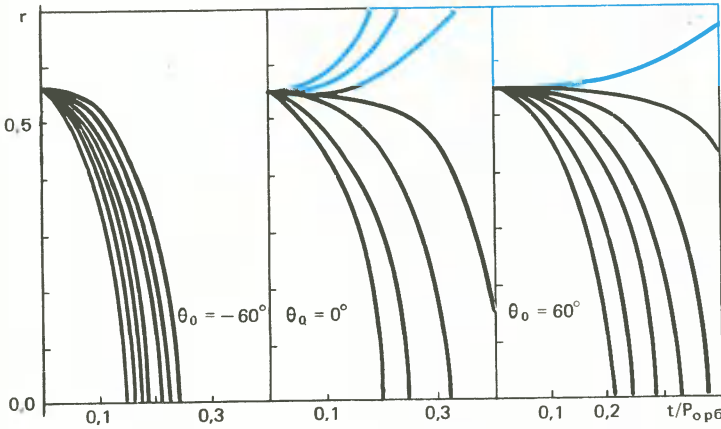
В заключение отметим, что в настоящее время достаточно сложно вести расчет даже двумерной модели аккреционной колонны, и тем не менее следующий этап — численное моделирование четырехмерных (три пространственных измерения и одно временное) аккреционных колонн. Эта задача, как и многие другие, еще ждет своего решения.

### «ПРОПЕЛЛЕРЫ» В МАГНИТНЫХ ТЕСНЫХ ДВОЙНЫХ СИСТЕМАХ

Согласно стандартной модели, магнитная ось белого карлика занимает фиксированное положение относительно звезды-спутника. Но что произойдет, если белый карлик будет вращаться достаточно быстро? В этом случае возникнут силы, стремящиеся затормозить его вращение. Так, переменное магнитное поле создает в оболочке спутника индукционные токи Фуко, при затухании которых выделяется тепло. В результате белый карлик теряет энергию вращения, что и ведет, как отмечалось, к синхронизации его орбитального и вращательного движений. П. Джосс, Дж. Катц и С. Раппапорт (США), впервые предложившие этот механизм в 1979 г., получили характерное время синхронизации  $10^8$ — $10^{10}$  лет. Это очень большая величина даже по астрономическим масштабам времени. Однако в их модели не учитывалась аккреция, которая, как известно, играет главную роль в эволюции тесных двойных систем.

В случае асинхронности орбитального и вращательного движений белого карлика возникает еще одна (кроме упоминавшихся трех) сила, направленная от звезды с сильным магнитным полем (белого карлика). Вещество, перетекающее со спутника на белый карлик, разгоняется до границы магнитосферы (поверхности, отделяющей область, в которой магнитные силы, действующие на плазму, превосходят гидродинамические, от остальной части





Изменение расстояния  $r$  (в долях расстояния между компонентами системы) между сгустком вещества и белым карликом в зависимости от времени  $t$  (в долях орбитального периода  $P_{\text{orb}}$ ) для различных начальных значений угла  $\theta_0$  и скорости истечения вещества (увеличивающейся справа налево). Если величина скорости истечения превышает некоторую граничную, плазма выпадает на белый карлик (и сходящиеся кривые), если нет — плазма улетает за пределы системы (цветные кривые). При  $\theta_0 < 0$  на белый карлик попадает больше вещества, чем при равных по абсолютной величине положительных значениях  $\theta_0$ , что приводит к появлению дополнительного механизма синхронизации орбитального и вращательного движений белого карлика.

пространства), затем теряет связь с силовыми линиями и покидает систему.

Выброс вещества из системы быстро вращающимся магнитным полем, предсказанный А. Ф. Илларионовым и Р. А. Сюняевым для нейтронных звезд в массивных рентгеновских двойных системах и названный ими стадией «пропеллера», приводит к замедлению вращения компактной звезды. Синхронизации способствует и различие условий истечения вещества в зависимости от начальной ориентации магнитной оси. Наши оценки показывают, что синхронизация должна произойти примерно за  $10^3$  лет. В течение этого времени рентгеновское и оптическое излучения практически отсутствуют, поскольку вещество не будет падать на белый карлик. Такая система представляет собой радиопульсар с полной мощностью излучения  $10^{26}$  Вт, несмотря на ряд отличий от систем с нейтронными звездами. На конечных стадиях синхронизации плазма будет проникать на белый карлик циклически, отдельными порциями, приводя к вспышкам рентгеновского и оптического излучения. В дальнейшем белый карлик будет повернут к спутнику практически одной стороной. Начнется аккреция на него вещества, источник как бы вспыхнет. Стадия «пропеллера» перейдет в стадию «качающегося диполя».

Подобная ситуация невозможна в системах с нейтронными звездами, поскольку они образуются в результате эволюции массивных тесных двойных систем: расстояние между компонентами в них слишком велико, чтобы магнитное поле одной звезды эффективно управляло движением плазмы вблизи другой. Даже среди наблю-

даемых тесных двойных систем, содержащих белый карлик, всего лишь 5 % являются синхронными. По-видимому, поляров с орбитальными периодами, превышающими 4 ч, не существует; известно только два долгопериодических поляра — сама АМ Геркулеса и QQ Лисички. Орбитальные периоды остальных заключены в интервале от 1,3 до 2 ч. Немagnetные тесные двойные системы с такими периодами несколько отличаются от других карликовых новых: они относятся к подтипу SU Большой Медведицы, характеризуясь не только обычными вспышками (во время которых светимость возрастает в несколько десятков или сотен раз в течение нескольких дней), но и «сверхвспышками», в 2—4 раза более мощными и продолжительными. Было бы интересно сравнить короткопериодические и долгопериодические поляры, чтобы найти возможные различия между этими группами.

В последние годы были открыты так называемые промежуточные поляры. Как и в звездах типа АМ Геркулеса, в них входят заполняющий полость Роша спутник и белый карлик с сильным магнитным полем, который, в отличие от классических поляров, вращается достаточно быстро. Наличие рентгеновского излучения в таких системах свидетельствует об аккреции вещества на компактную звезду, что, казалось бы, противоречит приведенным выше результатам для асинхронных магнитных тесных двойных систем. Однако в промежуточных полярах радиус магнитосферы меньше расстояния между звездами, поэтому в них и образуется аккреционный диск, из которого плазма «выпадает» в окрестностях магнитных полю-

сов белого карлика, ускоряя его вращение. Таким образом, асинхронные магнитные тесные двойные системы являются предшественниками полярных, в то время как промежуточные поляры в своем развитии, по-видимому, не проходят стадии классических полярных из-за отсутствия достаточно сильного магнитного поля. Поэтому так важны поиски асинхронных МТДС.

---

## НЕРЕШЕННЫЕ ПРОБЛЕМЫ

---

Подведем итоги: что известно на сегодняшний день о полярах? Прежде всего, этот класс тесных двойных звездных систем отличается огромной (до 35 %) поляризацией излучения. Пожалуй, это их основная черта. Кроме того, для полярных характерны мощное рентгеновское излучение и очень большие магнитные поля. Звезда-спутник находится внутри магнитного поля белого карлика, который и управляет процессом аккреции вещества. Таким образом, перед нами особый класс тесных двойных систем, обнаруженный сравнительно недавно и место которого в общей схеме эволюции звезд еще не определено.

Как видно, стандартная модель полярных и ее модификации не в состоянии справиться с объяснением всех сюрпризов, преподносимых этой экзотической группой «населения» нашей Галактики. Необходимо дальнейшие интенсивные исследования, которые в настоящее время и ведутся астрофизиками разных стран. С этой целью на Всесоюзном совещании, проходившем в феврале 1982 г. в Москве, ряд полярных был включен в общесоюзную Программу координированных рентгеновских, оптических и радионаблюдений. Кроме исследований с помощью наземных оптических и радиотелескопов, наблюдения проводятся на орбитальной пилотируемой космической станции «Салют-7» и рентгеновской станции «Астрон». Изучаются также поляры в рамках рабочей группы «Рентгеновские двойные системы» Проблемной комиссии многостороннего сотрудничества академий наук социалистических стран «Физика и эволюция звезд».

Каковы же основные направления исследования этих звезд?

Во-первых, необходимо построить модели аккреционной колонны. Чтобы установить распределение плотности, температуры и скорости плазмы, требуется

решить самосогласованную трехмерную нестационарную магнитогидродинамическую задачу с учетом переноса излучения. Трудности здесь огромные, и в ближайшие годы, по-видимому, будут сделаны лишь первые модельные приближения.

Во-вторых, нужно разработать методы, позволяющие определять элементы орбиты системы, включая параметры, характеризующие ориентацию колонны относительно белого карлика и ориентацию осей самого белого карлика относительно звезды-спутника. Причем необходимо стремиться к построению самосогласованной модели, описывающей изменения потока, поляризации и профилей спектральных линий в разных диапазонах длин волн.

В-третьих, должны проводиться регулярные наблюдения объектов типа AM Геркулеса, которые помогли бы выяснить вопрос о характере вращения «почти синхронного» белого карлика и подтвердить (или опровергнуть) модель «качающегося диполя». Сам факт изменения ориентации оси аккреционной колонны уже не вызывает сомнений, но детали этого процесса пока неизвестны и требуют дальнейшего исследования. В идеале необходимо построить модель, связывающую изменение ориентации и структуры колонны с процессами, происходящими на другом конце аккреционного потока.

И, наконец, в-четвертых, нужно обобщить модели отдельных объектов, исследовать генетическую связь между ними и определить их место в эволюционном сценарии Вселенной.

Таковы основные направления исследования полярных в ближайшие годы. Проблем здесь много, значительно больше, чем может показаться, исходя из количества отведенных для их перечисления строк. Закончившееся первое десятилетие знакомства с магнитными тесными двойными системами позволило собрать наблюдательный материал и сформулировать основные положения. Теперь мы подходим к новому этапу — этапу синтеза теории и наблюдений.

# РАСТЕНИЯ-ПАРАЗИТЫ

Э.С. ТЕРЕХИН

**П**аразитизм — одно из немногих явлений в мире растений, которое, бесспорно, имеет вторичное эволюционное происхождение. Это очень важное обстоятельство, позволяющее использовать растения-паразиты как хорошую модель для изучения ряда аспектов эволюции. Растительный паразитизм — это новый для автотрофных организмов, чужеродный способ питания, который постепенно перерастает и в новый образ жизни, включающий не только питание, но и размножение, и расселение, и все другие виды жизнедеятельности.

Особенный интерес представляют растения-паразиты, относящиеся к отделу цветковых, или покрытосеменных. Строение и облик многих из них, например представителей семейств заразиховых (*Orobanchaceae*), баланофоровых (*Balanophoraceae*), раффлезиевых (*Rafflesiaceae*), сильно отличаются от обычных автотрофных растений. У высокоспециализированных цветковых паразитов нет листьев и хлорофилла, а корни им заменяют присоски, так называемые гаустории. Некоторые наиболее приспособленные к паразитизму виды по своему внешнему облику настолько напоминают грибы, что еще 150—200 лет назад ботаники относили такие растения к грибам. Так, в частности, цветковое растение цинноморий (*Synporium*) за внешний облик и окраску, близкую к цвету венозной крови, называли «мальтийским грибом» и использовали для лечения крови (по известному гомеопатическому принципу: лечить подобное подобным).

В качестве модельных объектов цветковые растения-паразиты, принадлежащие к наиболее высоко организованной группе растительных организмов, интересны еще и тем, что вся их среда обитания сводится, по существу, к растению-хозяину, на котором они паразитируют. Следовательно, от-



Эдуард Семенович Терехин, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Ботанического института им. В. Л. Комарова АН СССР. В 1957 г. окончил биолого-почвенный факультет Ленинградского государственного университета им. А. А. Жданова. С 1959 г. работает в Биологическом институте АН СССР. Занимается проблемами эволюции онтогенеза семенных растений. Монографии: *Паразитные цветковые растения. Эволюция онтогенеза и образ жизни*. Л., 1977; *Семейство Orobanchaceae. Онтогенез и филогенез* (в соавторстве с З. И. Никитичевой). Л., 1981.

падают многие «неизвестные», всегда присутствующие при изучении автотрофных растений. Наблюдая за растениями-паразитами, исследователь может взять под контроль почти все стороны их жизнедеятельности и развития.

И еще одно. Чужеродные покрытосеменные растения находятся сегодня на самых разных стадиях эволюции: одни из них уже очень давно перешли к паразитному существованию, другие — относительно недавно. Интересная особенность растительного паразитизма состоит в том, что родственные виды из одного и того же

таксона (рода, семейства) переходят к чужеродности независимо друг от друга: и в разное время, и в разных местах, и, видимо, несколькими различными путями. Об этом можно судить по современным результатам их эволюции.

Так, например, у представителей одного рода стрига (*Striga*) из семейства норичниковых (*Scrophulariaceae*) можно видеть почти весь спектр эволюционных приспособлений к паразитизму: от видов с так называемым факультативным, случайным, паразитизмом до совершенных, бесхлорофильных облигатных (обязательных) растений-паразитов. Способ чужеродного питания у них, в общем, сходен и различается лишь степенью приспособленности к нему. Ясно, что такие таксоны — бесценный материал для исследователя, так как мы видим в этом случае перед собой эксперимент, поставленный самой природой. Кстати, некоторые представители рода стрига, будучи злостными сорняками-вредителями основных продовольственных культур, доставляют много неприятностей жителям Африки, Индии и некоторых других тропических и субтропических регионов.

Итак, паразитизм — один из способов чужеродности растений, при котором одно растение питается за счет другого, буквально вытягивая из своего хозяина все соки. Растение-паразит получает, таким образом, часть или все свое питание от растения-хозяина, утрачивая постепенно способность к фотосинтезу — основному источнику жизни всех зеленых растений. На начальных стадиях паразитного существования растения берут у своих хозяев лишь воду и с ней — минеральное питание, и только в процессе длительной эволюции у таких растений развивается способность к гетеротрофному питанию, т. е. к потреблению органических веществ (сахаров и др.).

Эта особенность растений-паразитов позволила известному физиологу С. П. Костычеву сформулировать гипотезу, согласно которой автотрофные цветковые растения переходят к паразитизму в результате конкуренции за воду. Это случается в условиях неудовлетворительного для растений водного режима. Не исключено, однако, что у некоторых растений, например из семейства повиликовых (*Cuscutaceae*), переход к чужеродности был связан с развитием так называемого лианного образа жизни. Скорее всего, решающим в эволюционном становлении паразитизма было сочетание разных сложных комплексов экологических факторов и не только экологических, но и генетических, физиологиче-

ских, биохимических. Любопытная особенность: если заразиковые внедряют гаустории в корни своих растений-хозяев, то гаустории повиликовых пронизывают стебли хозяина. В любом случае паразитизм, по-видимому, возникает вначале стихийно (такие примеры известны у кактусов), и лишь когда такой способ существования становится единственно возможным для выживания того или иного вида, случайный паразитизм подхватывается естественным отбором и превращается в закономерное явление.

В современном мире цветковых растений в той или иной степени чужеродный образ жизни приобрели представители около 30 семейств, включающих примерно 1 тыс. родов и около 30 тыс. видов. Среди них и растения-паразиты, и хищные растения (например, росянка), и некоторые таксоны микотрофных (т. е. нуждающихся в симбиозе с грибами) цветковых (орхидные и др.). Собственно паразитные растения представлены 14 семействами цветковых растений. Много это или мало, но чужеродные растения составляют около 5 % всего видового состава цветковых.

Среди паразитных растений есть как редкие виды, требующие строжайшей охраны, так и широко распространенные, причиняющие порой огромный ущерб сельскому и лесному хозяйству. Таким образом, растительный паразитизм, как можно видеть, не только научная проблема, но и практическая.

Ботаники изучают растения-паразиты уже более 100 лет. Но, во-первых, ботаников, посвятивших себя этой теме, очень немного, а, во-вторых, природа скупко делится своими тайнами. Сам я занимаюсь этой группой растений вот уже четверть века, и порой невольно приходит на память: как мало пройдено дорог...

Моим учителем в Ленинградском университете был известный ботаник-эволюционист К. М. Завадский. С его легкой руки я пристрастился к изучению эволюции индивидуального развития организма (онтогенеза), выбрав, уже самостоятельно, группу чужеродных цветковых растений. Этот выбор далеко не случаен.

Растения-паразиты встречаются с довольно жесткой закономерностью, не во всем еще и сегодня ясной. В сущности, почти все чужеродные растения, о которых идет речь, относятся к классу двудольных отдела покрытосеменных, тогда как однодольные растения тяготеют к иной группе симбиозов — сосуществованию с низшими грибами. Об этой последней группе чужеродных растений нужен отдель-





**Куст омелы на березе.**



Цистанхе из сем. заразиховых,  
произрастающая в песках.



Прорастающая омела.



Начальный этап развития омелы: семена омелы в экскрементах птицы.

ный разговор. Среди голосеменных известен лишь один вид паразитных растений, обитающий в Австралии и открытый совсем недавно. В других группах высших растений паразитизм, как будто, не встречается.

Одни таксоны цветковых паразитируют на представителях двудольных же растений, другие — на однодольных, третьи, например повилика (*Cuscuta*), — почти всеядные. Повилика может паразитировать на мхах и даже на водорослях (такие виды можно наблюдать в Средиземном море у берегов Африки), но на голосеменных растениях повилика, по-видимому, не встречается. Зато омела белая (*Viscum album*) из семейства ремнецветниковых (*Loranthaceae*) паразитирует и на цветковых, и на голосеменных растениях, предпочитая при этом, однако, хозяев из мира древесных растений. Напротив, заразиха (*Orobanchae*) паразитирует в основном на корнях трав, хотя порой не избегает и лесных пород. Отчасти это связано со способом паразитизма. Иногда ботаники делят цветковые паразиты на две группы: «корневые» и «стеблевые». «Корневые» растения-паразиты, присасывающиеся к корням растений-хозяев, предпочитают в качестве пи-

тающего субстрата травянистые растения; «стеблевые» — напротив выбирают для своего обитания древесные формы. Есть, однако, и исключения.

Изучение круга растений-хозяев того или иного паразита очень интересно само по себе, поскольку большинство паразитных цветковых тяготеет к тем или иным таксонам хозяев. При этом, в пределах «освоенного» таксона, например рода или семейства, паразиты относительно легко переходят с одного хозяина на другой. В то же время переход на иные неродственные виды растений-хозяев происходит значительно труднее и потому встречается реже.

Исследуя закономерности эволюции чужеядных покрытосеменных, мы обнаружили, что законы приспособительной, адаптивной, эволюции онтогенеза этих растений существенно отличаются от тех, которые были открыты у животных организмов известными зоологами-эволюционистами (А. Н. Северцовым, И. И. Шмальгаузенем и др.). Обычно считают, что паразитизм приводит к упрощению способа существования и организации чужеядных существ — к редукции тех или иных структур. Изучая онтогенез цветковых паразитов, мы установили справедливость этой точки зрения<sup>1</sup>. Вместе с тем мы увидели, что у этих растений упрощаются или совсем исчезают лишь некоторые органы и структуры, тогда как другие, напротив, явно усложняются. Мы уже говорили о потере листьев и корней у паразитных растений. Оказалось, что редукция той или иной структуры начинается всегда с конечных стадий ее развития и затем постепенно распространяется на ее все более ранние стадии. Например, в случаях далеко зашедшей адаптации к паразитизму зародыши чужеядных растений в зрелом семени представлены всего несколькими клетками и, естественно, лишены всех органов, присущих зародышам автотрофных растений: у них нет семядолей, корня, верхушки побега и т. д. Такие зародыши утрачивают и самую способность к развитию этих органов. Развитие проростков растений — особая, интереснейшая глава в эволюции их онтогенеза. Характерно, что редукция идет как бы в противоположном онтогенезу направлении. Еще великий эмбриолог К. Бэр заметил, что в процессе индивидуального развития сначала образуются

<sup>1</sup> Терехин Э. С. Паразитные цветковые растения. Эволюция онтогенеза и образ жизни. Л., 1977.



наиболее общие для того или иного типа организмов структуры, а затем, постепенно, все более частные, характерные для данной конкретной их группы и, наконец, для вида. Напротив, в ходе редукции сначала упрощаются и исчезают частные, конкретные адаптивные структуры, затем, когда процесс захватывает более ранние стадии развития,— все более общие структуры.

Но, как мы уже сказали, в эволюции онтогенеза цветковых паразитов редукция сопровождается и усложнением организации чужеродных растений. Паразитные растения часто имеют очень мелкие, редуцированные, пылевидные семена, но производят их в огромном количестве: до 100—200 тыс. семян на одно растение, иногда до 70 тыс. семян на один плод.

Чем же вызваны такие удивительные особенности этих растений? Объясняется этот феномен довольно просто. Паразитным растениям необходимо производить много семян, поскольку их питающий субстрат, т. е. растения-хозяева, распределены в природе рассеянно, и встреча паразита с подходящим растением-хозяином, происходит в высшей степени редко<sup>2</sup>.

Но потребность в многочисленности семян требует развития структурной основы для их производства — как бы сверхразвитие плацентарной ткани и, одновременно, ее усовершенствование. Вот здесь и вскрывается взаимосвязь адаптивных упрощений и усложнений, появляющихся у одного растения в процессе онтогенеза. Тем не менее редукция структур семени паразитных растений не могла бы состояться, если бы не целый ряд приспособлений, возникших у семян и проростков: это и длительная жизнеспособность семян в ожидании подходящего корня растения-хозяина, и донорзависимое прорастание, т. е. химическая стимуляция прорастания, осуществляемая определенными корневыми выделениями соответствующего растения-хозяина. Например, семена заразиховых трогаются в рост, пролежав в почве обычно длительный срок в ожидании встречи с корнем хозяина и только под влиянием корневых выделений растения-хозяина. Таким сложным образом сочетается у заразиховых и других паразитных растений случайное и закономерное.

Паразитные цветковые растения в некоторых отношениях и самая курьезная

группа. Например, именно среди паразитных растений встречаются и самые крупные цветки (у раффлезии Арнольда) и самые мелкие (у циномория).

Так, цветки раффлезии Арнольда достигают одного метра в диаметре (ни один другой вид растений не имеет столь крупных цветков). Огромные цветки раффлезии Арнольда опыляются мухами, питающимися падалью, и потому лопасти ее околоцветника напоминают большие куски протухшего мяса, с соответствующим запахом, цветом и даже фактурой. Механизм опыления изучен недостаточно. В цветке развиваются многие тысячи очень мелких семян. Раффлезия Арнольда паразитирует на корнях лианы из рода *Cissus*, которая обычно растет вдоль звериных троп. И вполне рационально, что семена ее распространяются вместе с частями созревших мясистых плодов. Когда на плоды случайно наступают идущие мимо животные, например слоны, части липких плодов вместе с семенами разносятся вдоль троп. Скорее всего, в дальнейшем распространении семян активно участвуют и муравьи. (Да, такие антиподы по величине — слоны и муравьи!)

Еще одно удивительное свойство этого растения: оно, в сущности, представлено лишь одним цветком; все вегетативное тело раффлезии редуцировано и состоит из нескольких тяжей клеток, растущих в теле хозяина. Этот вид раффлезии встречается очень редко на некоторых островах Индонезии (Суматра, Борнео). Тропические леса в тех местах энергично вырубаются, и этому уникальному виду грозит, по-видимому, полное уничтожение, а мы знаем о нем еще очень немного.

Но, может быть, более интересные приспособления к паразитизму встречаются у некоторых видов рода *Pilostyles* (*Pilostyles*) из того же семейства раффлезиевых и у некоторых видов семейства ремнецветниковых. У этих растений, паразитирующих на ветвях деревьев или кустарников, было открыто явление так называемого изофазного паразитизма<sup>3</sup>. В таких случаях гаустории паразитного растения располагаются в тканях верхушки побега растения-хозяина и растут синхронно с ней. Как только у вершины побега появляется новый лист, тут же над ним появляется цветок паразита.

<sup>2</sup> Salisbury E. V. The reproductive capacity of plants. L., 1942.

<sup>3</sup> Kuijt V. The biology of parasitic flowering plants. Univ. of California Press, 1969.





Фелипея из сем. заразиховых, паразитирующая на корнях луговой растительности.

Цветущий циноморий, или мальтийский гриб.



Бутоны цитинуса красного — единственного представителя сем. раффлезиевых, обитающего в нашей стране.



Заразиха поникшая на полях томатов.



Заразиха поникшая на корнях подсолнечника.



Повилика на репейнике.



Заразиха среди луговой растительности.

В знаменитой Пицундской сосновой роще еще можно увидеть единственного представителя семейства раффлезиевых, обитающих в нашей стране. Этот цитинус красный (*Cytinus ruber*). Увы, несмотря на некоторые охранные меры, роща вытаптывается, и мы, возможно, скоро лишимся этого уникального для нашей страны вида.

В мире растений, в нашей стране и за рубежом, имеются и другие не менее интересные по своему облику и приспособлениям паразитные растения. Это и уже упоминавшийся цинноморий, который часто встречается на о. Мальта в Средиземном море, а у нас — на оз. Иссык-Куль и вдоль р. Или. Это и редкие, с интереснейшей биологией растения из семейства заразиховых: пучкоцвет (*Phacellanthus*), обитающий лишь на Дальнем Востоке, и маннагеттая (*Mannagettaea*), найденная в Восточных Саянах только в 1953 г., и огромного (до 1 м) роста цистанхе (*Cistanche*) в песчаных пустынях Средней Азии.

В целом, паразитные растения, как мы попытались показать, представляют собой благодатное поле для исследователя, и многие важные общебиологические закономерности ждут здесь своего энтузиаста.

Некоторые представители группы паразитных растений имеют весьма существенное экономическое значение. Особенности их биологии определяют тот урон, который они приносят сельскому и лесному хозяйству как в нашей стране, так и за рубежом. Обычно наибольший ущерб связан с длительным монокультурным земледелием. Но начнем мы свой рассказ о некоторых представителях этой группы растений с омелы белой, паразитирующей на многих видах древесных растений в наших южных лесах.

Плоды омелы белой (*Viscum album*) лишены семян. Дело в том, что структуры, обеспечивающие развитие нового поколения омелы (зародышевый мешок и др.), образуются в тканях основания завязи. Естественно, что и зародыш нового растения, и питающая его ткань эндосперма также развиваются у омелы непосредственно в тканях плода, а не в обособленных семяпочках. Так что омела — это как бы растение с плодами, но без семян. С чем связано такое развитие? Омела, поселившаяся в ветвях и стволах деревьев, полностью оторвалась от почвы. Ягодообразные плоды ее охотно склеивают птицы, но не могут их полностью переварить в своем желудке из-за клейкого слоя. Более того, после пребывания в утробе птиц у плодов

омелы клейкий слой обнажается, и в таком виде вместе с экскрементами плоды попадают на ветви деревьев, где и прорастают. Вместо зародышевого корня у проростков омелы имеется своеобразный гаусториальный орган, который растет изгибаясь в сторону поверхности, на которой сидит плод. Через кору гаустории проникают в ткани ветви растения-хозяина. Впоследствии клеточные нити гаустории омелы разрастаются по всему дереву, что часто приводит к его иссушению и гибели. В Краснодарском крае мне довелось видеть леса, в которых едва ли не каждое дерево имело несколько «шевелюр» омелы. Интересно, что вид омела белая распадается на три, как их называют, физиологические расы: одна из них паразитирует только на хвойных деревьях, две другие на лиственных, но из разных таксонов. Первоначально образование этих рас омелы было связано, по-видимому, с различиями в повадках птиц, питающихся ее плодами.

Не менее интересна повилика (*Cuscuta*), многие виды которой — злостные сорняки. Повилика, хотя и относится к паразитным растениям, по некоторым своим повадкам напоминает хищные растения. Проросток повилики, укрепившись основанием среди комочков почвы (корня у него нет), начинает быстро расти за счет питательных веществ эндосперма семени, описывая при этом своим тонким стеблем все более широкие круги над почвой. Натолкнувшись на стебель какого-либо растения, повилика быстро обвивает его одной-двумя спиралями, пронизывает гаусториями и начинает паразитировать. Разрастаясь и ветвясь, стебли повилики опутывают многие соседние растения и как бы лежат сеткой на их кроне. Но вот что интересно: если проросток повилики наткнется во время роста на сухой прошлогодний стебель, проросток использует его как опору и продолжает поиски живого хозяина. И еще одна замечательная особенность повилики: даже полусантиметровый кусочек ее тонкого стебля способен образовать новое растение. Таковы лишь некоторые, наиболее общие сведения о жизни повилики. Но, наверно, и их достаточно, чтобы понять, насколько хорошо приспособлена повилика к чужезядности.

Бороться с повиликой трудно, а ущерб, который она наносит сельскому хозяйству, весьма велик; в районах ее массового обитания урожаи некоторых культур часто существенно снижаются. Так, в зависимости от степени засоренности



поля повиликой урожай корней сахарной свеклы снижается на 30—50 %, их сахаристость уменьшается на 1—2,3 %<sup>4</sup>. Примесь повилики в сене снижает его качество, а иногда ведет и к отравлению животных. В борьбе с повиликой применяют разные способы, но наиболее эффективный и экономичный из них — выжигание прямо на поле ее семян, проростков и самих растений.

Не меньше вреда культурным растениям причиняют и сорные виды заразиховых. Однако стратегия и тактика адаптации к чужездности у заразиховых иная. В отличие от повилики и омелы, заразиховые паразитируют на корнях растений-хозяев, и для них характерно, как мы уже отмечали, донорзависимое прорастание. Получив химический сигнал от корня хозяина, проросток заразики растет в направлении к нему, прикрепляется и, посредством гаустории, внедряется, проникая в проводящую систему растения-хозяина.

В месте внедрения проростка заразики в корень хозяина образуется особый орган, называемый клубеньком, в котором и закладывается репродуктивный побег растения-паразита. Иногда образуется несколько таких побегов. Развиваясь, заразики отнимает от растения-хозяина питательные вещества в больших количествах. Возможные потери от сорных заразиховых можно проиллюстрировать наглядными примерами: в 1960 г. овощи в Крыму занимали 12,2 % обрабатываемой площади, а помидоры 30,4 % этой площади под овощами; в том же году И. Г. Бейлин наблюдал массовое или полное поражение томатов, моркови и табака заразихой ветвистой в ряде хозяйств Симферопольского и Бахчисарайского районов. Трудно представить, пишет Бейлин, как велики убытки, которые причиняет заразики овощному хозяйству Крыма<sup>5</sup>. В Астраханской области на некоторых полях бахчевых культур в 1986 г. на одно растение арбуза приходилось до 100 цветonoсов заразики. Список этих печальных примеров можно было бы и продолжить.

Особенно большой урон наносит заразики поникшая (*Orobanche cernua*) полям подсолнечника, а сейчас, как выяснилось, и томатов. Подсолнечник занимает в нашей

стране площадь около 4 млн га. Оказалось, что прекрасные сорта подсолнечника, выведенные В. С. Пустовойтом и другими советскими селекционерами, поначалу устойчивые к заразики, со временем утратили эту устойчивость. Дело в том, что время от времени в том или ином районе выращивания подсолнечника появляются новые, более агрессивные биологические расы заразики, преодолевающие устойчивость нового сорта. Так заразики отвечает на рукотворную эволюцию. Несмотря на это, селекция — основное направление борьбы с сорными паразитными растениями.

В заключение хочется еще раз отметить, что обширная группа растений-паразитов изучена еще очень слабо. Даже в известной книге В. Гранта «Видообразование у растений» (1984) не нашлось для них и строки. Между тем, в силу особенностей своей биологии и «контрастного» положения в мире автотрофных растений, цветковые паразиты предоставляют нам богатейший материал для разработки проблем микроэволюции. Изучение генетических, экологических, эмбриологических и других аспектов этих проблем могут дать и уже дают интересные материалы не только для развития теоретических концепций, но и для разработки необходимых мероприятий в борьбе со злостными вредителями культурных растений. Народнохозяйственное значение подобных мероприятий преувеличивать не приходится.

<sup>4</sup> Фисюнов А. В. Сорняки-паразиты и борьба с ними. М., 1977. С. 71.

<sup>5</sup> Бейлин И. Г. Борьба с повилками и заразики. М., 1967.



# ВУЛКАНЫ и геодинамика



Извержение вулкана Толбачик.

Академик АН АзербССР  
Ш. Ф. Мехтиев

Э. Н. Халилов,  
кандидат  
геолого-минералогических наук  
ВНИИ геофизических методов  
разведки  
Министерства геологии СССР,  
Южное отделение  
Баку

**Д**ОЛГОЕ ВРЕМЯ считали, что у некоторых типов вулканов, существующих на нашей планете, например маленьких грязевых и гигантских магматических, выбрасывающих с огромных глубин раскаленную магму, нет генетического родства. Однако, изучая в течение ряда лет самые разные вулканы, районы их распространения, периоды, когда они извергаются, мы пришли к выводу, что «работа» всех вулканов связана с единым глобальным геодинамическим процессом — перемещением огромных литосферных плит.

При анализе распространения вулканов мира выяснилось, что они (как, впрочем, и районы, где происходят землетрясения) чаще всего располагаются на границах литосферных плит — в узких зонах тектонической активизации.

Существует несколько типов границ. Один из них — в зонах субдукции, где литосферная плита погружается в верхнюю мантию. Эти зоны, для которых характерны глубинные (глубокофокусные) землетрясения, получили еще одно название — зон Заварицкого — Беньофа. Они обнаружены во многих областях Земли — в южноамериканских

Андах, на о-вах Тонга, Новых Гебридах, в Японском море, Индонезии, на Антильских о-вах и т. д. Здесь часто встречаются крупные магматические вулканы, корни которых проникают в недра Земли на десятки километров.

Второй тип границ между плитами — зоны спрединга, где дно океана раздвигается и образуется узкая протяженная впадина (рифт), в которой возникает новая кора. Для этих зон (это преимущественно срединно-океанические хребты на дне океана) также характерны магматические вулканы и более неглубокие (мелкофокусные) источники землетрясения.

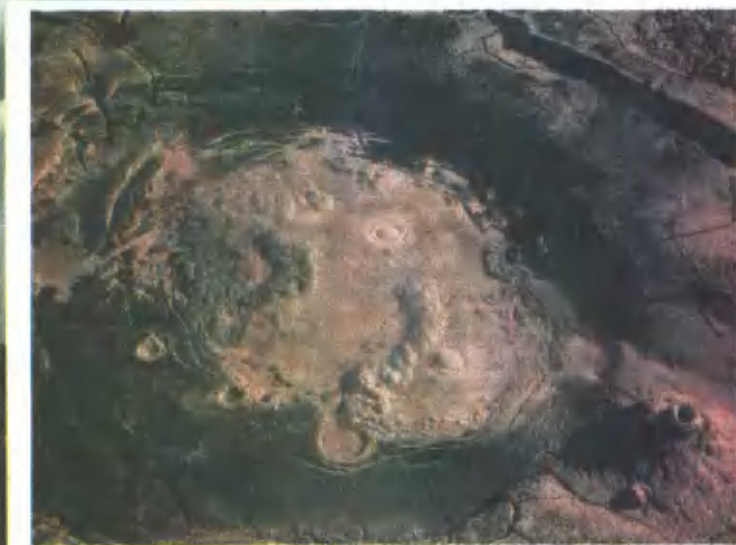
Необходимо отметить, что имеется еще два типа магматических вулканов — океанические внутриплитовые (их количество невелико) и континентальные рифтовые вулканы — в рифтовых зонах на континентах, представляющих собой зачатки зарождающегося океана.

Сравнительно редкое природное явление — грязевые вулканы, корни которых располагаются на глубине 3—8 км. Продукт их извержения — сопочная грязь (брекчия). На первый взгляд может показаться, что они совершенно безобидны и не причиняют вреда человеку. Но это не совсем так.

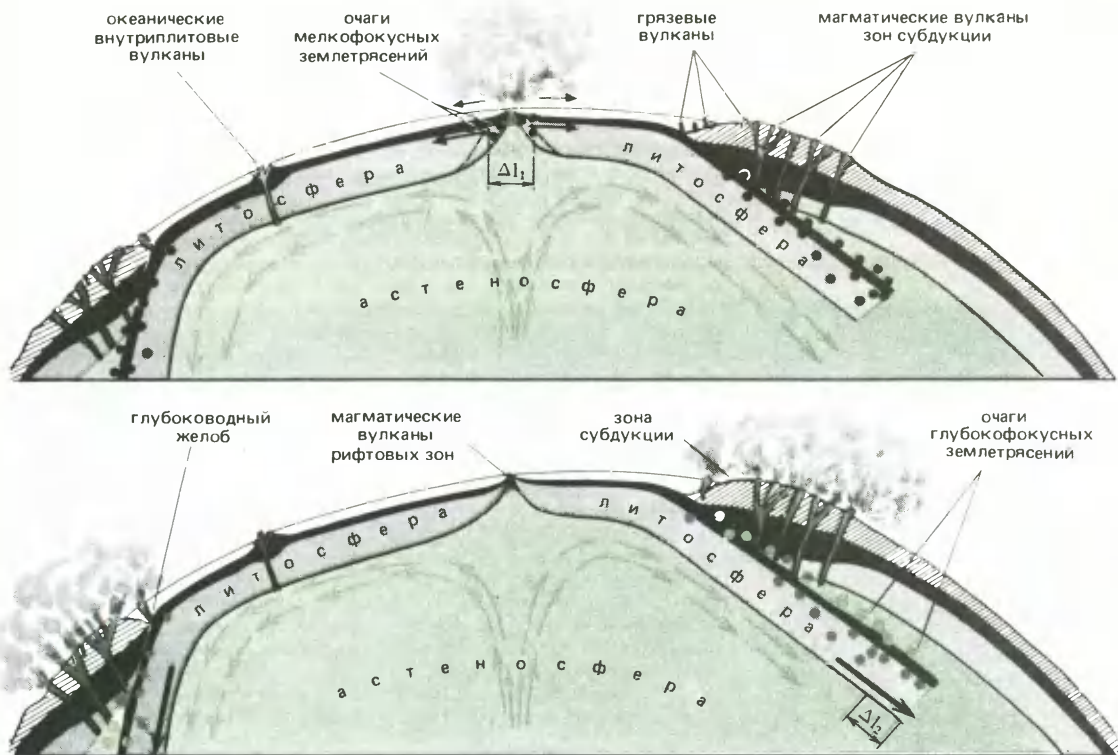
Извержение грязевого вулкана часто начинается мощным взрывом, сопровождающимся выбросом газа, нефти, воды, обломков пород и излиянием брекчии. Газ почти мгновенно воспламеняется от искр, образующихся при соударении пород, при этом высота пламени может достигать 1 км. Известны случаи, когда извержения грязевых вулканов приводили к человеческим жертвам. Примечательно, что в Азербайджане и прилегающих к нему регионах расположено около половины всех грязевых вулканов мира (около 400).

Проведенный нами анализ пространственного расположения грязевых вулканов мира показал, что все они приурочены к зонам Заварицкого — Беньофа. Таким образом, грязевые вулканы, так же как магматические, тесно связаны с процессами субдукции.

Исследования геофизиков



Грязевой котел.



**Модель пульсации Земли. Вверху** — цикл расширения Земли за счет усиления спрединга и замедления субдукции [ $\Delta l_1$  — расстояние, на которое разойдутся плиты в процессе субдукции]. Для этого цикла характерна активизация вулканизма в рифтовой зоне. **Внизу** — цикл сжатия Земли за счет усиления субдукции [ $\Delta l_2$  — длина погружившегося в мантию участка литосферной плиты]. В этот период извергаются вулканы в зонах субдукции — магматические и грязевые.

показали, что литосфера всех рифтовых зон (зон спрединга) растягивается, а зон субдукции — сжимается. Согласно основным положениям теории тектоники литосферных плит, процесс спрединга на Земле одновременно компенсируется процессом субдукции, при этом подсчитано, что если на гребнях срединно-океанических хребтов ежегодно образуется около  $2,6 \text{ км}^2$  новой поверхности, то в островных дугах и молодых поясах исчезает поверхность такой же площади.

Проведенные исследования периодичности активизации вулканов заставили нас несколько изменить взгляд на предположение об одновременности процессов спрединга и субдукции. Нами были проанализированы извержения магматических вулканов зон субдукции, рифтовых зон и грязевых вулканов

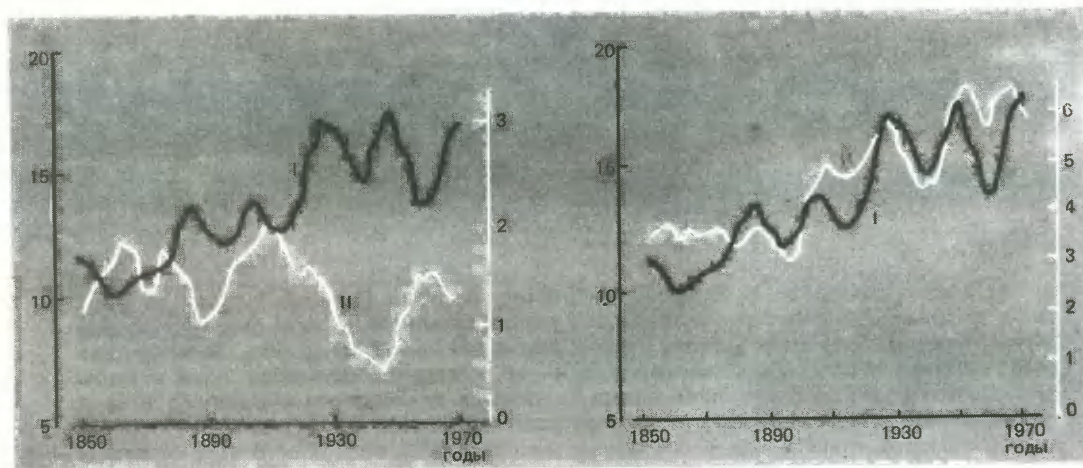
мира. Надо отметить, что океанические и континентальные рифтовые вулканы рассматривались как единый тип — рифтовые вулканы, так как в обоих случаях происходит растяжение литосферы.

В каталогах вулканов мира содержатся сведения о 1000 действующих вулканов. Чтобы максимально сократить влияние возможных потерь информации, были отобраны данные об извержениях за относительно короткий промежуток времени (с 1850 по 1977 г.), тогда как в использованном нами каталоге И. И. Гущенко (1979 г.) приведены данные об извержениях вулканов с 1500 г. до н. э. по настоящее время.

Сначала были составлены графики активизации вулканов зон субдукции и рифтовых зон. Их сравнение показало, что циклы активизации вулканов этих

двух типов не совпадают во времени, а в ряде случаев попадают в «противофазу». Вулканы рифтовых зон обнаруживают 4 крупных цикла активизации, а вулканы зон субдукции за тот же промежуток времени — 6 крупных циклов (последний еще не закончился). Максимум предпоследнего цикла активизации вулканов зон субдукции (1940—1961 гг.) совпадает с периодом минимальной активности вулканов рифтовых зон, а максимум цикла активизации последних (1945—1970 гг.) — с периодом минимальной активности вулканов зон субдукции. Максимум активности вулканов зон субдукции (1884 г.) соответствует периоду спада активности вулканов рифтовых зон, а с 1970 г. наблюдается повышение активности вулканов зон субдукции и понижение активности вулканов рифтовых зон.





Число извержений вулканов зон субдукции (II) и рифтовых зон (I). Циклы их активизации не совпадают, а в ряде случаев попадают в «противофазу».

Число извержений вулканов зон субдукции (II) и грязевых вулканов (I). Все циклы активизации обоих типов вулканов совпадают по времени.

В то же время все без исключения циклы активизации грязевых вулканов и вулканов зон субдукции совпали во времени, что свидетельствует о единстве факторов, влияющих на их активизацию.

Таким образом, периоды растяжения не совпадают во времени с периодами сжатия Земли, а в ряде случаев циклы растяжения сменяются циклами сжатия. В периоды растяжения повышается активность вулканов рифтовых зон, а в периоды сжатия — вулканов зон субдукции и грязевых вулканов. При этом расширение Земли происходит за счет процесса спрединга, в то время как сжатие — за счет процесса субдукции.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о возможном периодическом изменении радиуса Земли. Такие предположения (пульсационные гипотезы) высказывались многими учеными, при этом также выделялись эпохи сжатия и растяжения. Одной из первых, наиболее обоснованных, оказалась пульсационная гипотеза американского ученого В. Бухера; она получила развитие в трудах советских геологов М. А. Усова и В. А. Обручева.

Пульсационный характер развития Земли отмечали также американцы Д. Холл, Б. Хейзен, Д. Джули и советские геологи

М. М. Тетяев, В. М. Вукановский, а в последние годы Е. Е. Милановский и П. Н. Кропоткин.

Изменения радиуса Земли с соответствующим увеличением или уменьшением плотности приводят к изменению момента инерции Земли, что вызывает вариации угловой скорости ее вращения.

Нами были сопоставлены активность вулканов рифтовых зон, характеризующая усиление процесса расширения Земли, и изменения угловой скорости вращения Земли. Результаты сопоставления позволили обнаружить, что повышению активности вулканов рифтовых зон соответствует замедление вращения Земли, и наоборот. Вариации скорости вращения Земли в результате незначительных изменений ее радиуса вполне допустимы. Так, по данным Н. И. Парийского, изменения радиуса Земли на 5—10 см могут привести к наблюдаемым вариациям скорости вращения Земли. К такому же выводу приходят П. Н. Кропоткин и Ю. А. Трапезников (1963 г.) на основе изучения корреляции между изменениями скорости вращения Земли и суммарной энергии землетрясений.

С чередованием эпох сжатия и растяжения, по мнению В. Е. Хаина, связаны и эвстатические колебания уровня Миро-

вого океана, проявляющиеся в виде мировых трансгрессий и регрессий.

По всей видимости, рассматриваемые нами пульсации Земли также должны влиять на изменение уровня воды в Мировом океане. При сопоставлении изменения уровня Мирового океана и извержений вулканов рифтовых зон оказалось, что повышению их активности соответствует понижение уровня Мирового океана.

Таким образом, результаты проведенных нами исследований показали, что грязевые вулканы, которые до сих пор считались лишь локальным проявлением тектонической активности отдельных регионов, на самом деле тесно связаны с глобальными геодинамическими процессами нашей планеты, происходящими в зонах субдукции и влияющими на активизацию магматических вулканов этих зон. Оказалось также, что процессы сжатия и расширения Земли происходят не одновременно. Это в свою очередь, возможно, приводит к периодическим изменениям радиуса Земли, оказывающим влияние на момент инерции и, как следствие, на изменение угловой скорости ее вращения. Обоснование механизма пульсаций Земли требует дальнейшего тщательного изучения.



М. Б. Дюргеров

# 50 ДНЕЙ

24 февраля 1986 г. дизель-электроход «Капитан Готский» забрал на борт весь сезонный состав базы Дружная-1, расположенной на шельфовом леднике Фильхнера. В мороз и метель судно покинуло море Уэдделла, начинающее схватываться льдом. На 77-м градусе ю. ш. наступила полярная зима и ночь. С верхней палубы судна была видна заносимая снегом, обезлюдевшая база и остающийся зимовать на ветру красный флаг на высокой мачте в центре поселка.

Мы прощались с ледником Фильхнера на целый год. Кто-то строил планы будущей работы на базе. Но им не суждено было сбыться. Через 4 месяца, в разгар антарктической полярной ночи, ледяной мыс шельфового ледника, далеко вдающийся в море Уэдделла, распался на три айсберга, каждый длиной от 30 до 80 км. На одном из айсбергов поплыла в море Уэдделла и база Дружная-1.



Расположение шельфовых ледников в Антарктиде. Наиболее крупные из них — ледники Росса, Фильхнера — Ронне, Ларсена, Эймери — занимают мелководья и шельфовые зоны морей Росса, Уэдделла, Содружества. Общая площадь шельфовых ледников несколько больше 1,5 млн км<sup>2</sup>, что составляет 11% площади Антарктиды. Протяженность береговой линии, занятой шельфовыми ледниками, составляет 45% от общей длины антарктических берегов.

# На айсберге

## ВЕЛИКИЕ ЛЕДЯНЫЕ БАРЬЕРЫ АНТАРКТИДЫ

Почти 800 тыс. айсбергов плавают в водах Южного океана. По подсчетам ленинградского океанолога А. А. Лебедева, их объем составляет 9,3 тыс. км<sup>3</sup>. Среди айсбергов есть настоящие ледяные горы, возвышающиеся над поверхностью моря на сотню метров, и купола пониже, расчлененные сетью глубоких трещин. Такие айсберги отрываются от ледяных потоков, спускающихся с возвышенностей прямо в океан. Но самые большие айсберги — столовые, огромные плавающие острова размером иногда с небольшое государство, необозримы с судна. Их зачастую можно принять за ледяной берег Антарктиды, что и случалось неоднократно за полтора века ее исследований. Столовые айсберги откалываются от шельфовых ледников, т. е. тех ледников, что лежат на шельфе океана.

45 % длины береговой линии Антарктиды образовано шельфовыми ледниками. Эти, в основном находящиеся на плаву, ледяные плиты, прикрепленные внутренними частями к ледниковому покрову материка, выполняют роль своеобразных плотин, удерживающих ледниковый покров Западной, а возможно, и Восточной Антарктиды от разрушения, которое несомненно привело бы к глобальным последствиям: к изменению уровня океана и, как следствие, изменению климата Земли.

Среди основных видов ледниковых образований в Антарктиде (материковый покров, выводные и горные ледники) шельфовые ледники наиболее подвижны. Именно через них происходит разгрузка преобладающей массы льда, до 80 % всего расхода льда Антарктиды. При этом площадь шельфовых ледников составляет только 11 % общей площади материка.

Если обычные ледяные берега Антарктиды меняют свои очертания едва заметно, то ледяные барьеры шельфовых ледников отступают и наступают на деся-










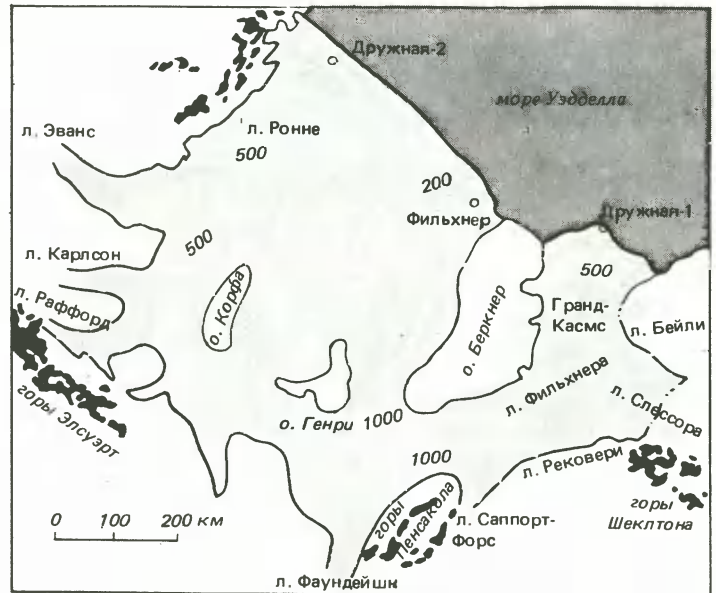
Марк Борисович Дюржеров, кандидат географических наук, заведующий лабораторией гляциологических прогнозов Института географии АН СССР. Занимается проблемами горных и покровных ледников. Участник нескольких антарктических экспедиций. Во время 31-й Советской антарктической экспедиции (1986) руководил работами группы гляциологов Института географии на базе Дружная-1. Неоднократно печатался в «Природе».

ки километров, причем не одновременно в разных районах Антарктиды. Откол айсбергов от шельфовых ледников происходит неравномерно; часто в течение десятилетий ледяной барьер продвигается к северу, в открытое море и не порождает крупных айсбергов. Затем, без всяких внешних признаков, неожиданно, происходит разрушение огромной площади и образование сразу нескольких крупных и сотен мелких айсбергов. При этом в океан поступает масса льда, значительно превышающая среднюю многолетнюю величину. И это тоже влияет на ледовитость и соленость вод Южного океана и отражается на уровне воды Мирового океана.

Возможно, существует определенная периодичность в наступлении и разрушении ледяных барьеров шельфовых ледников, обусловленная их взаимодействием

Шельфовый ледник Фильхнера — Ронне в море Уэдделла (1985 г.). Он состоит из двух ледников — ледника Ронне и ледника Фильхнера, различающихся размерами и динамикой. Шельфовые ледники питают многочисленные выводные ледники.

-  Горы и выходы коренных пород
-  Шельфовые ледники
-  Станции
-  Выводные ледники
-  Ледяные острова
-  500 Толщина льда, м
-  Разломы и трещины



с океаном и атмосферой. Особенно сильно подвержены воздействию океана и атмосферы далеко продвинувшиеся, находящиеся на плаву и сравнительно тонкие (200—300 м) части шельфовых ледников. Гляциолог Л. М. Саватюгин доказал, что одна из причин откола гигантских айсбергов связана с возникновением в атмосфере крупных барических волн в области взаимодействия антарктического антициклона над ледниковым покровом площадью почти 14 млн км<sup>2</sup> с областью пониженного атмосферного давления над прибрежными морями Южного океана.

Кроме, так сказать, внутренних научных проблем шельфовых ледников существуют и внешние. Как известно, именно с шельфовыми зонами океана связаны крупные месторождения нефти и газа, которые уже активно разрабатываются в морях Северного полушария. А в Антарктиде эти месторождения еще предстоит разведать. Сделать это нелегко опять-таки из-за непредсказуемой пока динамики шельфовых ледников.

Столовые айсберги, откалывающиеся от шельфовых ледников, представляют собою самые удобные их «образцы» с точки зрения транспортировки в засушливые районы Земли. Проблема использования айсбергов для водоснабжения и орошения засушливых районов еще недавно обсуждалась только в научной литературе и

рассматривалась как экзотическая задача будущего. Возрастающее опустынивание многих районов Земли, губительные засухи последних лет в Северной Африке придали научной проблеме использования айсбергов острую жизненную необходимость. Видимо, реализация существующих технических проектов транспортировки айсбергов или воды, полученной в результате их таяния, все же осуществится в ближайшие десятилетия.

Таким образом, круг научных и практических задач изучения шельфовых ледников достаточно широк. Именно поэтому центр тяжести научных исследований в Антарктиде в последние годы заметно смещается в их сторону. Уже созданы международные проекты изучения шельфовых ледников Росса и Фильхнера — Ронне. В обоих принимает участие Советская антарктическая экспедиция.

В 40-х годах прошлого века, когда англичане под руководством Дж. Росса пытались пробиться к югу в поисках последнего неоткрытого материка, им на протяжении тысячи километров постоянно преграждала путь отвесная стена ледника высотой 30—40 м. В то время Росс не имел возможности ни высадиться, ни заглянуть за линию барьера, а потому и не оценил масштабы сделанного им открытия. Получивший его имя ледник оказался самым крупным на Земле шельфовым лед-

ником. Он имеет площадь 538 тыс. км<sup>2</sup>, т. е. размеры Франции.

Чуть меньше шельфовый ледник Фильхнера — Ронне, расположенный по другую сторону Западной Антарктиды в море Уэдделла. И здесь с моря можно видеть только отвесный ледяной барьер протяженностью почти в тысячу километров, а за ним к югу тянется плоская белая равнина, местами пересеченная гигантскими трещинами. Все это типичные черты шельфовых ледников Антарктиды.

## РОЖДЕНИЕ АЙСБЕРГОВ

Февраль 1986 года. Ил-14 летит над шельфовым ледником Ронне. Слабо волнистая и бесконечная белизна без единого ориентира скользит по правому борту. Из левого иллюминатора открывается вид на просторы моря Уэдделла и редкие айсберги, идущие с запада на восток в прибрежном течении. Сейчас море почти свободно от ледяных полей, что редко бывает в этом чрезвычайно ледовитом районе Южного океана. Именно из-за повышенной ледовитости он наименее исследован до сих пор.

Скорость на малой высоте полета ощущается только, когда, заглядывая вниз, видишь проносщуюся под фюзеляжем стену ледяного барьера. Сквозь прозрачную воду видно, как уходит она в темную глубину. Там находится семь восьмых толщины шельфового ледника. Высота барьера 20 м, а под водой — 140 м.

Впереди показался ледяной остров Беркнер — самый крупный среди ледяных островов в Антарктиде. Его размеры 375×150 км, а высота достигает 1000 м и скрыта в тумане и облаках. Подобные ледяные острова располагаются в теле шельфовых ледников. Они как бы зажаты среди обтекающих их масс льда, находящихся на плаву.

Возможно, что ледяные острова остались с тех времен, когда шельфовые ледники были значительно толще, чем в настоящее время, т. е. в период максимума развития последнего оледенения — 10—15 тыс. лет назад. После сокращения оледенения части шельфовых ледников, находящиеся на плаву, стали значительно тоньше и сократились в размерах. Те части, которые сидят на мели, мало изменились по высоте и теперь образовали возвышения среди плоских просторов шельфовых ледников — ледяные острова.

Есть и другая точка зрения на образование ледяных островов. Когда гигантский айсберг садится на мель, один его край приподнимается. При толщине айсберга 400—500 м и более такое поднятие может составить несколько сот метров. Вокруг айсберга образуются поля сплоченного морского льда, и в результате накопления снега на его поверхности лед утолщается и постепенно превращается в шельфовый ледник. За столетия поверхность айсберга принимает форму купола в результате растекания льда. Из-за большой высоты поверхности над таким островом-айсбергом формируется особый микроклимат: постоянная облачность и повышенное количество атмосферных осадков. Благодаря этому остров может еще вырасти в высоту.

Ледяные острова есть в каждом шельфовом леднике, и они играют роль «якорей», удерживающих их от разрушения.

По другую, восточную, сторону о. Беркнера начинается шельфовый ледник Фильхнера. Он меньше, чем шельфовый ледник Ронне, и, как показали исследования, имеет совершенно отличную от него динамику и режим.

На границе острова и ледника Фильхнера поверхность льда смята в складки. Ледяные блоки стоят вертикально и громоздятся друг на друга, подобно поставленным вертикально костяшкам домино. Не представляю, каким это все сопровождается грохотом — звук не доносится в кабину самолета, но кажущееся беззвучие происходящего под нами еще более усиливает впечатление. Эта адская кухня зарождения айсбергов совершенно не похожа на спокойное «отчаливание» огромных столовых айсбергов от шельфового ледника, которое приходилось видеть раньше.

Стоящие вертикально блоки льда достигают высоты 50-этажного дома. Блоки сползают откуда-то сверху, с высоты скрытых в тумане склонов о. Беркнер. Блоки ворочаются, дробят друг другу края, перемалывают морской лед в крошево и ныряют в глубину моря. Невдалеке видны вынырнувшие, омытые морской водой, совсем «свеженькие» айсберги с яркими голубыми краями, еще не оплавленными солнцем и морской водой. Течение подхватывает айсберги и несет их в сторону Антарктического п-ова, к проливу Дрейка. Правда, все это небольшие, игрушечные айсберги. А как рождаются гиганты?

Через 30 минут полета над гладью ледника показали далекие черные точки.



**Антарктическое судно проходит вдоль ледникового барьера шельфового ледника.**



**Небольшой столовый айсберг, недавно отколовшийся от шельфового ледника.**





Сплошные айсберги преградили судам антарктического флота подходы к обсерватории Мирный. Вертолетами проводится замена отзимовавшего состава.

Заливы шельфового ледника, из которых течения выносят паковый лед.



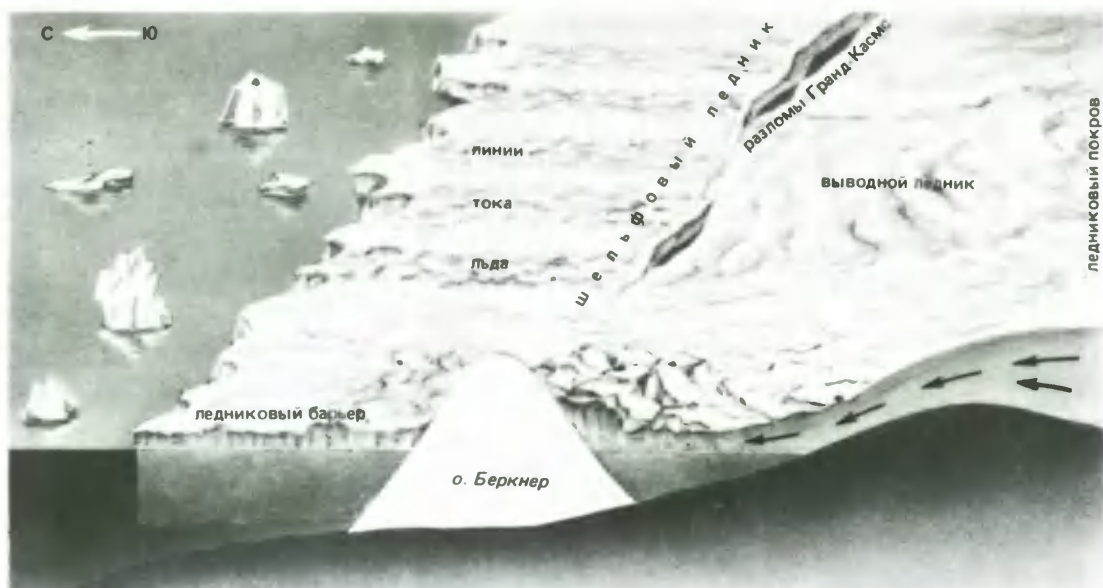


Схема строения и движения шельфового ледника Фильхнера. В самой узкой части тело ледника испытывает сильное боковое сжатие. К северу ширина русла возрастает, и ледник расплывается в водах моря Уэдделла. В результате такой смены сжатия растяжением образуются гигантские разломы Гранд-Касмс. По их внешнему краю, отстоящему на 100—120 км от линии барьера, раз в несколько десятков лет происходит откол гигантских айсбергов.

И вот стали различимы несколько десятков домиков, образующих аккуратные улицы; большое черное пятно — это тысячи бочек с горючим, составленные рядами прямо на снегу, укатанная полоса снежного аэродрома, мачта с красным флагом в центре поселка и рядом кают-компания, едва видная из-под снега, многочисленные дорожки, тропинки линии передач. База Дружная-1 — единственный населенный пункт на шельфовом леднике Фильхнера, да и тот временный. Только два летних месяца идут здесь работы. Они закончатся через пару недель, и станция замрет до следующего антарктического лета. Так продолжается десять лет.

Ил-14 ложится на крыло и делает широкий заход над морем Уэдделла, над плывущими на запад айсбергами и белыми просторами шельфового ледника Фильхнера.

## СТРАНИЧКИ ИСТОРИИ

В 1912 г. немецкая экспедиция В. Фильхнера первой подошла к ледяному барьеру в море Уэдделла. В той части, где барьер низкий, удалось высадить экспе-

дицию. Но приступить к научным наблюдениям помешал неожиданный откол крупного айсберга. Экспедиция срочно покинула район работ.

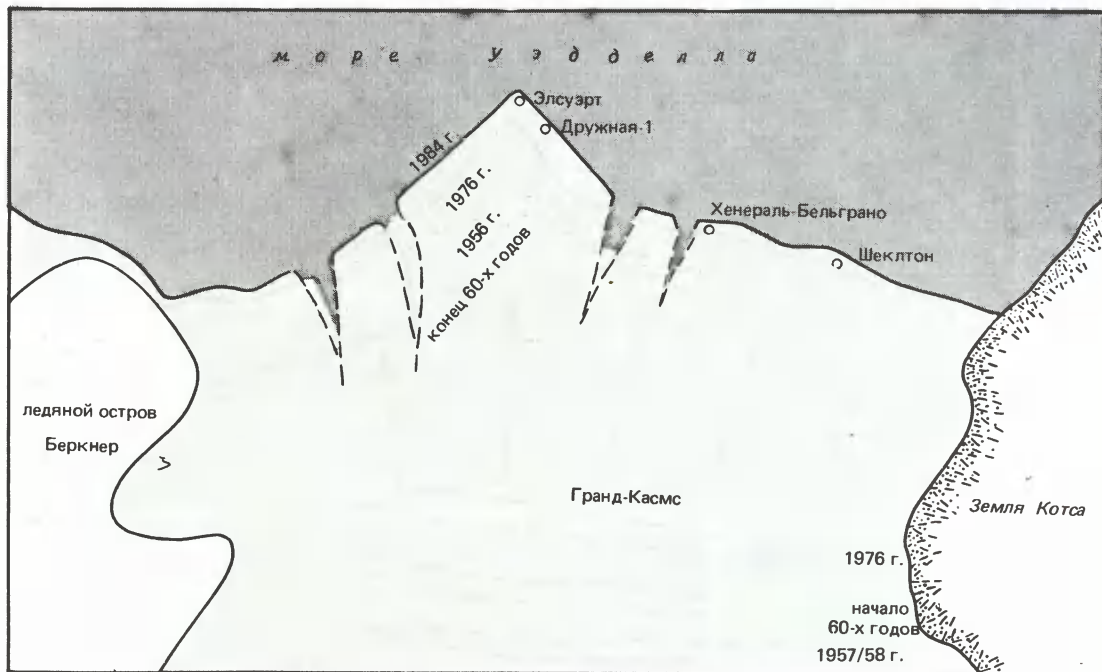
В 1947 г. американская экспедиция под руководством Ф. Ронне подошла к тому месту, где должен был, согласно данным Фильхнера, находиться ледяной барьер. Но его граница оказалась почти на 110 км южнее, и Ронне решил, что Фильхнер ошибся и принял за шельфовый ледник крупный айсберг. Так, спустя 35 лет был вновь открыт шельфовый ледник, который с тех пор носит название Фильхнера — Ронне.

К 80-м годам ледяной барьер продвинулся к северу почти до того места, где его отметил в 1912 г. Фильхнер. Значит, скорее всего в период между 1912 и 1947 гг. произошло крупное разрушение шельфового ледника, начало которого помешало Фильхнеру провести исследования.

В период с 1947 по 1986 г. только один раз (в 1961 г.) от наступающего ледяного барьера шельфового ледника откололся крупный айсберг размером 25×80 км.

...Под низко летящим самолетом промелькнули торчащие из под снега мачты — бывшая аргентинская станция Хене-





Изменение положения краевой части ледника Фильхнера и разломов Гранд-Касмс со временем (по данным В. Г. Захарова).

раль-Бельграно. Она работала с 1955 по 1980 г., и за прошедшие шесть лет после ее закрытия строения оказались погребенными под слоями накапливающегося снега (до 70 см/год). Аргентинским гляциологам удалось впервые измерить скорость движения ледника Фильхнера не только у линии барьера, но и во внутренних частях. В краевой части она достигала 1,8—2 км/год. Быстро раскрывающиеся в глубине ледника трещины послужили аргентинской экспедиции предостережением о скором отколе гигантских айсбергов, и станция была закрыта.

Буквально в десяти километрах от базы Дружная-1 из-под снега торчит еще несколько мачт — также захороненные под слоем снега строения станции Элсуэрт. С 1957 по 1959 г. здесь проводила исследования экспедиция США, а затем, до 1962 г., экспедиция Аргентины. Тогда, в 1957 г., в скважине была впервые на леднике Фильхнера измерена температура до глубины 57 м. Результат оказался неожиданным, не сопоставимым со всеми прежними измерениями на других шельфовых ледниках.

И вот почти через 30 лет вблизи давно ушедшей под снег станции Элсуэрт, снова ведется бурение шельфового ледника.

### НЕОБЫЧНЫЙ ШЕЛЬФОВЫЙ ЛЕДНИК

Вся база в последние дни с азартом следит за продвижением бурового снаряда в толщу ледника. Геофизиков больше всего волнует, какой здесь окажется толщина льда, оправдается ли их прогноз, сделанный по данным радиолокационного зондирования с самолета, т. е. 300 м.

Буровики ориентировались на эту величину и упорно продвигались в глубь толщи ледника. Скоро снаряд должен войти в морскую воду, а затем можно будет сделать попытку углубиться в дно океана и взять первую пробу грунта из-под шельфового ледника.

Гляциологов интересовало продолжающееся понижение температуры по мере углубления скважины. По всем прогнозам и измерениям на других шельфовых ледниках Антарктиды должно было





**Самолет экспедиции ФРГ на  
снежном аэродроме базы  
Дружная-1.**



**Выгрузка вертолета с судна  
на многолетний припайный  
лед у края ледникового  
барьера шельфового лед-  
ника.**



**Далеко продвинулся на се-  
вер в море Узделла ледя-  
ной мыс шельфового ледни-  
ка Фильхнера.**



**Район базы Дружняя-1. Глубокий шурф гляциологов надежно защищает от ветра стенка из снежных кирпичей.**



**Куполообразный айсберг, отколовшийся от выводного ледника.**



**За десять лет снег и ветер занесли кают-компанию на базе Дружняя-1.**

начаться ее повышение с глубины 15—20 м. Но вот пройдено 150 м, а температура продолжает медленно понижаться. По-видимому, это связано с необычно быстрым движением холодных масс льда из центральных районов ледникового покрова Антарктиды.

Выводные ледники Бейли, Слессора и Рековери, каждый шириной более 30 км, как могучие реки льда, спускаются с высокого плато Восточной Антарктиды. Они впадают в море Уэдделла. Выводной ледник Саппорт-Форс течет с высоких гор Пенсаколы (Западная Антарктида). Эти выводные ледники, по расчетам английского гляциолога Дж. Макинтайра, собирают лед с бассейна площадью 1,72 млн км<sup>2</sup>. Объем ежегодно приносимой с этой площади массы льда составляет 118 км<sup>3</sup>. Ровно столько же поступает и в тело шельфового ледника Ронне с выводными ледниками и ледяными потоками Фаундейшн, Эванс, Карлсон и Ратфорд. Однако площадь ледника Ронне по крайней мере в два с половиной раза больше, чем площадь ледника Фильхнера. Кроме того, со склонов Западной Антарктиды приходит более «теплый» лед, чем со склонов Восточной Антарктиды. Это отражается и в кривых распределения температуры по глубине. Равенство поступающей массы льда при большом различии в площадях двух ледников определяет значительно большую скорость движения ледяного барьера шельфового ледника Фильхнера, более быстрый оборот его массы путем периодического откола крупных масс льда, в сравнении с шельфовым ледником Ронне. И распределение температуры в толще этих шельфовых ледников может служить своеобразным показателем различия их динамики, в какой-то степени прогнозным признаком более быстрых «холодных» и более «теплых» — медленных шельфовых ледников.

Таким образом, от площади ледосборных бассейнов, их расположения, массы выносимого льда и скорости движения выводных ледников, их взаимного расположения при впадении в шельфовый ледник, его размеров и формы вмещающего русла зависит режим шельфового ледника. (Слишком много параметров, по большей части еще неизвестных, для создания в настоящее время физико-математической модели. При этом нужно еще учесть взаимодействие нижней поверхности ледника с ложем и реологические свойства самого ледника.)

При впадении в море любого вывод-

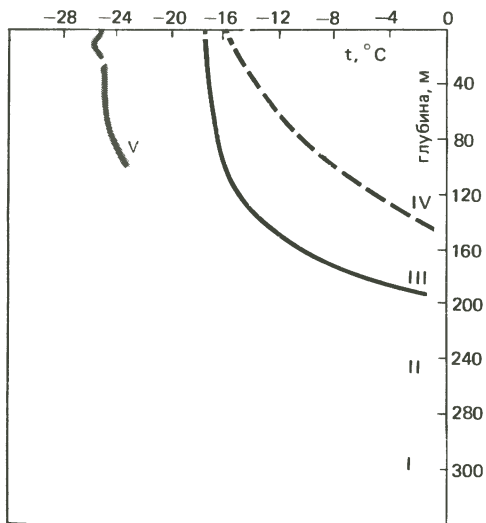
ного ледника его тело расплывается и образует широкую лопасть. Несколько таких воедино слившихся лопастей образуют шельфовые ледники. Вблизи границы материка, где толщина льда достигает 1,5 км, шельфовый ледник движется по дну моря. Во внешних частях, где море становится глубже, а ледник тоньше в результате его растекания и таяния снизу, тело шельфового ледника находится по большей части на плаву, а местами прикрепляется к ледяным островам, типа о. Беркнер.

Шельфовые ледники получают питание не только благодаря впадению в них выводных ледников, но и за счет накопления на поверхности слоев снега, выпадающих атмосферных осадков. Аккумуляция снега отепляет шельфовый ледник сверху, поскольку температура выпадающих осадков значительно выше, чем температура привнесенного льда из внутренних более холодных и высоких районов Антарктиды. Шельфовый ледник отепляется также снизу, за счет тепла морской воды, температура которой не ниже  $-2^{\circ}\text{C}$  (при средней солености). Таким образом, чем дальше находится шельфовый ледник в контакте с морской водой и чем больше на его поверхности откладывается атмосферных осадков, снега, тем больше отепляется его толща и, в конце концов, распределение температуры приобретает «нормальный» вид: наиболее низкая температура у поверхности и постепенно, практически линейно она повышается к нижней границе шельфового ледника, к уровню морской воды.

И вот измерения температуры в скважине на станции Элсуэрт в 1957 г. показали, что до глубины 57 м (такова была глубина скважины) температура не повышается, а понижается, примерно с  $-22^{\circ}\text{C}$  у поверхности до  $-26^{\circ}\text{C}$  на глубине 57 м. А у нас, в скважине на Дружной-1, на глубине 160 м температура уже опустилась до  $-29^{\circ}\text{C}$ .

После впадения выводных ледников Саппорт-Форс, Рековери и Слессора в шельфовый ледник его тело сжимается между о. Беркнер, с запада, и склоном ледникового покрова Восточной Антарктиды; тело ледника как бы не вмещается в отведенное ему русло шириной чуть более 200 км. На этом участке шельфовый ледник Фильхнера испытывает сильное боковое сжатие, и на его поверхности образуются продольные волны, видимые на космических снимках как чередо-





Распределение температуры по глубине на шельфовых ледниках: Фильхнера, база Дружная-1, по данным автора [I]; Росса [II]; Модхейм [III]; Лазарев [IV], по данным И. А. Зотикова; Ронне [V], по данным экспедиции ФРГ. Обычно в толще шельфовых ледников, на которых производились измерения, температура с глубиной повышается. Это связано с прогревом ледника сверху из атмосферы и снизу, за счет поступления тепла из океана. Исключение составляет ледник Фильхнера, где прогрев сверху почти не заметен, а прогрев снизу охватывает менее половины всей толщи ледника [310 м на базе Дружная-1].

вание белых и серых полос, тянущихся до самого барьера.

Еще одна и гораздо более известная особенность шельфового ледника Фильхнера состоит в том, что примерно в 100—110 км от края барьера находится зона трещин, а правильнее сказать, гигантские разломы Гранд-Касмс протяженностью более 100 км и шириной до 15 км.

Проанализировав результаты работ аргентинской экспедиции на шельфовом леднике Фильхнера и данные космических снимков, московский гляциолог В. Г. Захаров пришел к выводу, что разломы Гранд-Касмс постоянно изменяют свои очертания и продвигаются вместе с движением шельфового ледника в сторону открытого моря. Видимо, при отколе крупных айсбергов южная граница откола проходит по внешнему, северному краю разломов Гранд-Касмс, а их внутренний край становится новым берегом и новым барьером шельфового ледника.

Гигантские разломы Гранд-Касмс, продольные волны на поверхности, необычное распределение температуры в толще — таковы характерные особенности шельфового ледника Фильхнера. Они определили повышенный интерес к нему гляциологов и геофизиков и участие наших специалистов в Международном проекте по изучению ледников Ронне и Фильхнера.

Координаторы этого проекта, гляциологи Института полярных исследований им. Альфреда Вегенера (ФРГ), работают на шельфовом леднике Ронне. Там построена база «Фильхнер», к западу от о. Беркнер и в 30 км в глубь ледника от линии барьера.

Поскольку на шельфовом леднике Фильхнер ко времени организации проекта уже несколько лет работали советские геофизики и геологи на Дружной-1, именно здесь нам предстояло сосредоточить работы по международной гляциологической программе. Такое разделение территории исследований условно, поскольку, согласно Договору об Антарктиде, непреложно исполняющемуся уже 30 лет, ни одной стране не возбраняется проводить исследования там, где она сочтет нужным. Для этого достаточно вступить в Международный научный совет антарктических исследований и оповестить его участников и руководство о своих планах.

## НА ДРУЖНОЙ-1

Итак, составлена программа многолетних гляциологических работ на шельфовом леднике Фильхнера, в которой предусмотрено несколько направлений и этапов исследования. Первый — организовать работы, заложить пункты многолетних и периодически повторяющихся наблюдений за аккумуляцией снега, его температурой в скважинах, за продвижением линии ледяного барьера, т. е. подготовить «фронт работ» в будущих экспедициях. Этим мы и должны заняться в летний сезон 1986 г.

В первых числах января 1986 г. небольшая группа гляциологов приступила к организации наблюдений. Тогда мы еще не подозревали, что работаем практически на айсберге.

В нашем распоряжении 50 дней, в которые надо все начать с нуля: установить снегомерные полигоны в районе базы, выкопать глубокие шурфы и провести в них детальные измерения температуры,



плотности снега, отобрать многочисленные пробы снега на изотопные анализы для последующих датировок. В 15-метровых скважинах измерена температура. Она на такой глубине постоянна в течение года и равна средней многолетней температуре воздуха в этом районе ( $-24,5^{\circ}\text{C}$  на Дружной-1). Так, по одному измерению в скважине можно определить среднюю многолетнюю характеристику, для чего при обычных метеорологических измерениях надо несколько лет.

В 300 м от основных построек Дружной-1 стоит буровая вышка. Здесь группа из Ленинградского горного института все подготовила для проходки скважины через толщу шельфового ледника. Задача буровиков пройти его насквозь и углубиться в донные осадки, чтобы выяснить их состав и перспективы на нефтегазонасыщенность. При этом все надо сделать обычным буровым оборудованием, которое не применяется для бурения льда, с чем и были связаны главные трудности.

С утра до ночи гудит буровая. В километре, за линией ледяного барьера, проходят в чистой воде один за другим столовые айсберги. Стоит солнечная погода. Небольшой морозец,  $3-7^{\circ}\text{C}$ . К Дружной-1 подходят небольшими группками пингвины Адели. Но нам сейчас не до антарктических красот. Времени мало. Срок завершения всех работ установлен: в 20-х числах февраля море Уэдделла схватывается льдом, на  $77^{\circ}$  ю. ш. приходит зима, и подошедшее судно должно забрать людей и покинуть высокие широты. До этого надо успеть выполнить все научные программы и законсервировать оборудование станции на предстоящую долгую зиму.

Буровики к ночи вынимают из скважины колонну штанг, а гляциологи опускают на забой (на дно) скважины термометр в тяжелой металлической оправе. Устье скважины плотно томпонируется, чтобы не допустить притока воздуха из атмосферы в скважину. В течение ночи термометр охлаждается до температуры льда на дне скважины, и рано утром, до начала бурения, столбик ртути регистрирует эту температуру.

В начале февраля на отметке 310 м буровой снаряд проткнул ледник и ушел в морскую воду. За день до этого скважину залили незамерзающей жидкостью, давление столба этой жидкости должно было уравновесить давление столба морской воды, вытесненной ледником. Это совершенно необходимо для предотвращения заполнения скважины морской во-

дой. И все было вроде сделано верно, но вода, тем не менее, хлынула в скважину и почти мгновенно замерзла в ней. Буровики едва успели выдернуть на поверхность колонну штанг. Видимо, часть жидкости просочилась, ушла через ледяные стенки скважины в толщу ледника по каким-то небольшим трещинкам, и не получилось ожидаемой компенсации давления. Так и не удалось войти на этот раз в донные слои океана и взять пробу грунта из-под шельфового ледника.

Но температуру в толще ледника до глубины 280 м измерить удалось. По сравнению с данными измерений на станции Элсуэрт в 1957 г. гляциологи получили несравненно более полную информацию. Температурная эпюра свидетельствует об огромном запасе холода в толще ледника.

Сопоставляем факты:

у самого края шельфового ледника в его толще сохраняется необычно большой запас холода;

мыс, на котором расположена база Дружная-1, так далеко продвинулся в сторону моря Уэдделла, что дальнейшее его продвижение за пределы шельфовой зоны моря, в океанские глубины, неизбежно приведет к скорому разрушению;

в сотне километров от базы в глубине ледника расширяется разлом Гранд-Касмс.

Утром сразу после завтрака на снежную укатанную полосу аэродрома сел приземистый самолет «Дорнье», принадлежащий Институту полярных исследований им. Альфреда Вегенера, оборудованный специальной аппаратурой для аэрофотосъемки. Из самолета вышли гляциолог Х. Конен, руководитель работ на базе «Фильхнер», и геодезист Е. Сиверс. Пока самолет заправлялся, наши коллеги рассказали, что гигантская трещина Гранд-Касмс, над которой они только что летали, достигла длины более 150 км и рассекла поперек тело шельфового ледника. От борта до борта протянулся глубокий провал, и только отдельные тоненькие мостики соединяют внутреннюю часть ледника с мысом, на котором мы находимся.

Так, в начале февраля 1986 г. Гранд-Касмс почти отрезал выступающий в море мыс от тела ледника — мы оказались на айсберге.

Однако нельзя было сказать определенно о времени, когда мыс окончательно превратится в айсберг. В таком прикрепленном состоянии он может просуществовать еще год-два. А для точного прогноза

нужны измерения скорости движения ледника самих разломов Гранд-Касмс. На это не было времени. Оставалось ровно две недели для завершения работы, сборов и погрузки на судно. Но оставалась надежда, что мыс вместе с Дружной-1 продержится еще хотя бы год на прежнем месте. Надежда не оправдалась. В июне месяце мыс отошел от шельфового ледника Фильхнера и распался на три айсберга, каждый по площади больше Москвы в два раза.

На одном из айсбергов поплыла в море Уэдделла база Дружная-1 со всем оборудованием: 58 домиков, аэродром, радиоцентр, дизельная электростанция, кают-компания, баня... — все что нужно для жизни и работы — готовая дрейфующая станция в Южном океане, научный полигон, о котором мечтают специалисты океанологи, геологи и геофизики, биологи и метеорологи. А на месте отколовшегося мыса формируется новый берег, и ледяной барьер начинает вновь продвигаться в море Уэдделла.

Теперь мы знаем, как будут развиваться события в ближайшие 40—50 лет. В природе многое повторяется. Снова начнет наступать ледяной барьер шельфового ледника Фильхнер с холодным ядром в толще. Начнет расти и расширяться разлом Гранд-Касмс в тылу продвигающе-

гося ледника, и как только барьер достигнет определенного положения (1912 или 1986 гг.), надо ждать следующего откола гигантских столовых айсбергов. И еще мы узнали, что среди разнообразия типов айсбергов есть и такие, у которых внутри заключено ядро с необычно холодным льдом. Если средняя продолжительность жизни айсбергов в Южном океане составляет 6—8 лет, то «холодные» айсберги могут жить в морской воде, не разрушаясь, значительно дольше. При транспортировке айсбергов из Антарктиды в засушливые районы Земли надо отдавать предпочтение именно таким «холодным» экземплярам. Но надо еще научиться распознавать их среди тысяч «теплых».

Три огромных айсберга отошли от шельфового ледника, но их толщина превышает глубину океана по направлению дрейфа. Поэтому, вполне возможно, так по крайней мере считает начальник Советской антарктической экспедиции Е. С. Короткевич, что айсберги надолго сядут на мель в море Уэдделла, невдалеке от шельфового ледника Фильхнера. Не образуют ли они новые ледяные острова, подобные о. Беркнер, к которым постепенно приблизится наступающий барьер шельфового ледника? Что будет в ближайшие годы в море Уэдделла?

## НОВЫЕ КНИГИ

### Медицина. География

**А. В. Чаклин.** ГЕОГРАФИЯ ЗДОРОВЬЯ. М.: Знание, 1986. 149 с. Ц. 50 к.

Для тех, кто всерьез озабочен проблемой — как добиться для себя и своих близких здорового образа жизни и долголетия — представляет несомненный интерес новая книга лауреата Государственной премии СССР, доктора медицинских наук А. В. Чаклина, много лет проработавшего во Всемирной организации здравоохранения. Автор стремится показать те ру-

бежи, к которым подошла современная наука, рассматривающая географию здоровья и болезней, а также заглянуть в будущее этой науки.

В книге обсуждаются различные подходы к пониманию сущности здоровья и болезни, значение опаснейших факторов заболеваний — мутагенов и канцерогенов, влияние природных ритмов на самочувствие и ход болезней, роль различных географических факторов (климата, высоты над уровнем моря, вулканизма, содержания микроэлементов в воде и др.) в возникновении различных заболеваний,

а также возможности адаптации к неблагоприятным условиям жизни.

Читателя заинтересуют статистические данные, говорящие о частоте тех или иных заболеваний в различных географических зонах, количестве аллергенов, загрязненности воды и воздуха в странах мира. Автор уделит внимание проблемам питания и отдыха, социального законодательства, способствующего оздоровлению среды. Книга написана ярко, в ней много истории, много выразительных цитат. Рассчитана на самый широкий круг читателей.

К 70-ЛЕТИЮ ВЕЛИКОГО ОКТЯБРЯ

# ПРИРОДА И ПРОБЛЕМЫ ГЕТЕРОЗИСА

В. А. СТРУНИКОВ

Коконы гетерозисного потомства (в и з у) тутового шелкопряда, полученные от скрещивания партеногенетических родителей. Число таких коконов от одной родительской пары достигает 500. Увеличено в 1,7 раза.





Владимир Александрович Струнников, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией цитогенетики развития и регуляции пола Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, руководитель генетических исследований на тутовом шелкопряде в Среднеазиатском научно-исследовательском институте шелководства и в Ташкентском государственном университете. Лауреат Государственной премии СССР (1981), награжден золотой медалью им. И. И. Мечникова АН СССР (1981). Президент Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н. И. Вавилова. Неоднократно публиковался в «Природе».

**Г**етерозис — свойство гибридов первого поколения превосходить по жизнеспособности, плодовитости и другим признакам лучшего из своих родителей — в природе редок. Однако это свойство широко используется в сельском хозяйстве: за счет гетерозиса удается быстро повысить (на 20—30 % за одно поколение) урожай культурных растений. Тем не менее и сейчас, через 200 лет после открытия гетерозиса петербургским академиком И. Г. Кельрейтером, это явление все еще представляет собой, как пишет известный генетик Х. Хатт, одну из самых больших загадок генетики. Действительно, проявление гетерозиса исключительно многообразно, оно затрагивает многие признаки и вызывает массу вопросов, на которые трудно дать однозначные ответы.

Следствием этого явилось отсутствие крайне необходимых для практики эффективных методов селекции родительских форм на способность давать в гибридах мощный гетерозис. Вместо целенаправленного отбора на гетерозис селекционеры вынуждены выводить десятки тысяч линий, испытывать их ценность непосредственно в гибридах и только после этого, можно сказать египетского труда, выбирать для практики всего лишь несколько лучших линий.

## ТРИ ГИПОТЕЗЫ

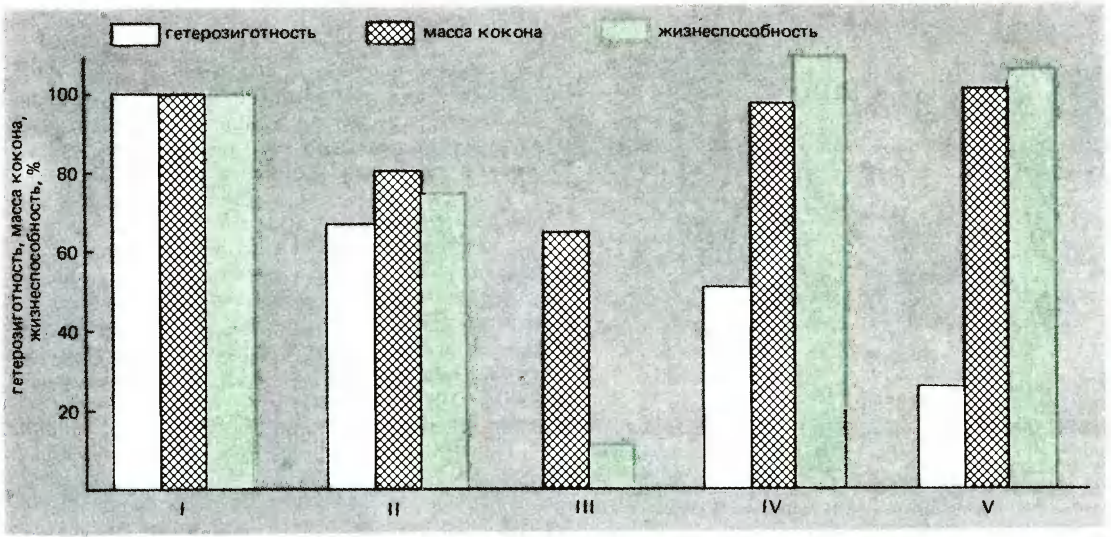
В XIX в. основной причиной гетерозиса считалась неродственность родителей. Однако происходящие при этом биологические процессы тогда не были вскрыты. И лишь в первые десятилетия нашего века, когда началось бурное развитие генетики, была сделана попытка объяснить возникновение гетерозиса. Генетики усмотрели в слиянии наследственной информации двух неродственных родителей три генетических причины (а следовательно, возникли три гипотезы), каждая из которых, как они полагали, могла привести к гетерозису в потомстве.

По первой гипотезе гетерозис объяснялся погашением леталей и полулеталей (вредных и неблагоприятных генов) в гибридах. Различные популяции видов с перекрестным оплодотворением содержат большое число рецессивных леталей и полулеталей в скрытом (гетерозиготном) состоянии. При родственном размножении в каждой популяции часть вредных генов переходит в гомозиготное состояние, и особи с такими генами гибнут или оказываются ослабленными. При гибридизации двух неродственных популяций, имеющих, как правило, несходные, или неаллельные, вредные гены, возникают гибридные потомки, у которых действие каждого вредного гена погашено его нормальным аллелем, унаследованным от другого родителя. Как раз это и считалось причиной повышенной жизнеспособности гибридов.

По второй гипотезе проявление гетерозиса объяснялось сверхдоминантностью. Гибриды в большей мере, чем родители, гетерозиготны не только по вредным генам, но и по нормальным, а гетерозиготность вообще всех генов (Aa, Bb, Cc и т. д.) считалась более благоприятствующей мощному развитию, или гетерозису, чем гомозиготность по каждому из несходных аллелей одной пары генов (AA и aa). Эта гипотеза получила название гипотезы сверхдоминантности.

Наконец, существовала еще одна гипотеза — гипотеза доминантности. Считалось, что родительские формы имеют полностью доминантные гены, т. е. действие гетерозиготы Aa не уступает действию гомозиготы, состоящей из двух доминантных аллелей AA. Один родитель может быть гомозиготен по одной паре таких генов (AA), а другой — по его менее благоприятному рецессивному аллелю (aa); но у второго родителя, напротив, доми-





Гетерозиготность, масса кокона и жизнеспособность тутового шелкопряда из партеноклона-29 (I) и его генотипических вариантов (II—V). В вариантах II и III масса кокона и жизнеспособность тем меньше, чем ниже степень гетерозиготности. Однако в вариантах IV и V такой зависимости нет: при значительно более низкой гетерозиготности (в сравнении с партеноклоном) в обоих вариантах масса кокона сохранилась на уровне контрольного партеноклона, а жизнеспособность даже увеличилась.

нантна другая пара аллелей (BB), в то время как у первого она рецессивна (bb). Тогда за счет скрещивания гибрид получает от каждого родителя по одному доминантному аллелю от каждой пары (AaBb), а так как и один и другой полностью доминантны, их совместное действие будет вдвое сильнее, чем действие одного гена у каждого родителя в отдельности.

Ни какая-либо из этих гипотез, ни их совокупность не раскрыли полностью природы гетерозиса, хотя постулируемые в них причины этого явления реальны.

На основании своих почти двадцатилетних опытов на тутовом шелкопряде мы пришли к заключению, что в проявлении гетерозиса играет роль еще один, четвертый, фактор — наследуемость от одного или от обоих родителей комплексов скоординированных в своем действии неаллельных генов, обуславливающих жизнеспособность. Эти комплексы генов формируются у родительских форм в ответ на неблагоприятные генотипические или внешние условия. Чем они хуже, тем мощнее компенсационный комплекс и тем выше уровень гетерозиса у полученных от них гибридов. Во взаимоотношении генов ком-

плекса не выявляется полного доминирования (в отличие от гипотезы доминантности), эффект двух аллелей просто суммируется (аддитивное взаимодействие). Свое обоснование гетерозиса мы назвали гипотезой компенсационных комплексов.

Чтобы понять суть генетических событий, приводящих к гетерозису, нужно было вычлнить роль каждого фактора. Методически — это крайне трудная задача. Идеальным подходом к ее решению было бы получение от самки, проявившей мощный гетерозис, нескольких типов генотипически разного потомства. При этом нужно, чтобы оно возникло только на основе одной материнской наследственной информации, т. е. без участия отца. Необходимо также добиться, чтобы потомки четко различались уровнем гетерозиготности, частотой погашенных летелей и полулетелей и частотой полезных генов. Сопоставив генотипы разного потомства с различными уровнями гетерозиса, мы могли бы понять его природу. Нам удалось осуществить такой казавшийся фантастическим план лишь после того, как были разработаны несколько искусственных способов размножения тутового шелкопряда.

Вначале мы занялись изучением природы адаптивного, или приспособительного, гетерозиса, который проявляется, главным образом, повышенной жизнеспособ-

<sup>1</sup> Струнников В. А. // Журн. общ. биологии. 1974. Т. 35. № 5. С. 666—677.

ностью<sup>2</sup>. Поскольку адаптивные признаки очень изменчивы, каждый опыт ставился многократно, пока его результаты не получали статистически подтверждаемую достоверность.

### АДАПТИВНЫЙ ГЕТЕРОЗИС

В качестве исходного материала для изучения этого типа гетерозиса был взят женский партеногенетический клон № 29 (партеноклон-29), полученный девственным размножением гибридной самки, проявившей мощный гетерозис. Отличительная особенность женских партеноклонов — полная генетическая тождественность всех особей. Следовательно, потомство от любой из них тоже генетически одинаково, полностью сохраняется и гетерозиготность по многим генам, унаследованная особями клона от гибридной самки. Размножая их разными способами, мы получили 5 генотипических вариантов шелкопрядов.

**Первым (контрольным) вариантом** служило очередное партеногенетическое поколение партеноклона. Его гетерозиготность (обозначим ее только для одной пары аллелей —  $Aa$ ) была принята за 100 %, и относительно этого уровня вычислялась гетерозиготность других генотипических вариантов.

**Второй вариант** был получен следующим образом: вначале диплоидных особей партеноклона превратили в тетраплоидные, т. е. все хромосомы удвоили ( $Aa \rightarrow AAaa$ ), а затем тетраплоидный клон вновь превратили в диплоидное партеногенетическое потомство. В результате таких манипуляций исходная пара аллелей  $Aa$  превратилась в три разные пары аллелей —  $1AA:4Aa:1aa$ .

Как видно, в потомстве произошло расщепление по этому признаку, и уровень гетерозиготности снизился со 100 % (таким он был у партеноклона) до 66,7 %.

**Третий вариант** был получен из партеноклона посредством мейотического партеногенеза, при котором возникают только самцы, гомозиготные по всем без исключения генам. Иначе говоря, аллельная пара  $Aa$  у одной половины потомства превратилась в  $AA$ , а у другой — в  $aa$ , и, таким образом, уровень гетерозиготности стал равен нулю.

Итак, мы получили три генотипических варианта шелкопрядов с уровнями

гетерозиготности: 100, 66,7 и 0 %. Если принять среднюю массу кокона и жизнеспособность партеноклона за 100 %, у второго варианта эти показатели были равны соответственно 80 и 77 %, а у третьего — больше 60 и 10 %. Мы получили классическое подтверждение полной зависимости массы одного кокона и жизнеспособности от степени гетерозиготности. На этом можно было бы поставить точку, заключив, что гетерозис действительно определяется высокой гетерозиготностью гибридного потомства. Но следующий генотипический вариант коренным образом изменил наши представления о причинах гетерозиса.

Этот **четвертый вариант** мы получили довольно сложным путем. Вначале от партеноклона получили партеногенетическое потомство двух типов: самок того же генотипа, что и у матери, и полностью гомозиготных партеногенетических самцов (т. е. третий вариант). И самцов, и самок одновременно выкормили и, вырастив до бабочек, скрестили их. По существу это скрещивание было более родственным, чем скрещивание обычных братьев и сестер, так как самки и самцы в наших опытах произошли только от матери, без участия отца. Этот способ размножения в генетическом отношении можно приравнять к самооплодотворению, как известно, наиболее сильно снижающему жизнеспособность. Затем была проведена серия так называемых возвратных скрещиваний, при которых самок каждого нового поколения каждый раз скрещивали с партеногенетическими самцами, получаемыми от партеноклона. Несмотря на сверхродственный характер возвратных скрещиваний, потомки по массе кокона оказались на уровне исходного партеноклона, а по жизнеспособности даже превзошли его!

Прежде чем начать анализ столь поразивших нас результатов, которые выходили за пределы всех возможных представлений, обратим внимание на своеобразные генетические события, которые происходят в процессе возвратных скрещиваний. Исходная гетерозигота  $Aa$  партеноклона, состоящая из двух адаптивно одинаковых аллелей, дает два разных по жизнеспособности класса самцов  $AA$  и  $aa$ . Потомство от скрещивания их с исходными самками партеноклона ( $Aa$ ) имеет генотипы  $1AA:2Aa:1aa$ . Простой расчет показывает, что в следующих поколениях от возвратного скрещивания это соотношение генотипов будет неизменно повторяться, т. е. гетерозиготность будет сохраняться на уровне 50 %. Если же аллель  $A$  окажется

<sup>2</sup> Струнников В. А. // Генетика. 1986. Т. 22. № 2. С. 229—243.

более полезен для потомства, чем аллель  $a$ , т. е. эти аллели будут иметь разную адаптивную ценность, в поколениях станут накапливаться благоприятные гены в гомозиготном состоянии ( $AA$ ) и убывать менее полезные ( $aa$ ) из-за гибели несущих их самцов. Благодаря этому общее число гетерозиготных пар нейтральных и адаптивно полезных аллелей у потомства от возвратных скрещиваний должно быть ниже 50 %.

Необычная динамика изменчивости генотипов этих поколений побудила нас увеличить число возвратных скрещиваний до пятнадцати. Затраченные годы оказались не напрасными: начиная с седьмого поколения, жизнеспособность потомства всегда была выше, чем жизнеспособность исходного партеноклона.

Мощный адаптивный гетерозис при низкой гетерозиготности! Это казалось маловероятным, и мы сочли нужным продлить опыты.

В пятом варианте потомков от партеноклона гетерозиготность была снижена с 50 до 25 %. Для этого отдельно выкармливали 8 семей от 14-го возвратного скрещивания и затем в каждой семье скрестили братьев с сестрами. Как раз этот способ близкородственного скрещивания (инбридинг) приводит в каждом новом поколении к двукратному уменьшению числа гетерозиготных пар генов по сравнению с предыдущим поколением. Несмотря на еще большее, чем в четвертом варианте, снижение гетерозиготности, жизнеспособность и масса коконов восьми полученных инбредных линий в среднем оказалась по-прежнему на уровне исходного партеноклона.

Это неожиданное явление в двух последних генотипических вариантах оказалось тем кончиком нити, ухватившись за который, мы начали распутывать сложный клубок — природу гетерозиса.

Отсутствие положительной корреляции между уровнями гетерозиготности и жизнеспособности прежде всего пробило неустранимую брешь в гипотезе сверхдоминантности, гласящей об адаптивном преимуществе гетерозиготы  $Aa$  над гомозиготами  $AA$  и  $aa$ . Это очень важно, так как гипотеза сверхдоминантности, хотя и подвергалась критике, но на ее основе все же строились и строятся многие принципиальные и далеко идущие генетические концепции популяционного направления.

Правда, зависимость жизнеспособности от гетерозиготности отдельных, весьма редких, аллелей (моноготерозис) отмечалась рядом исследователей, но, судя по

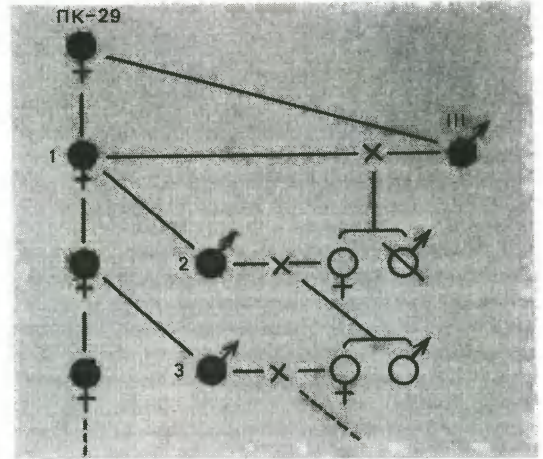
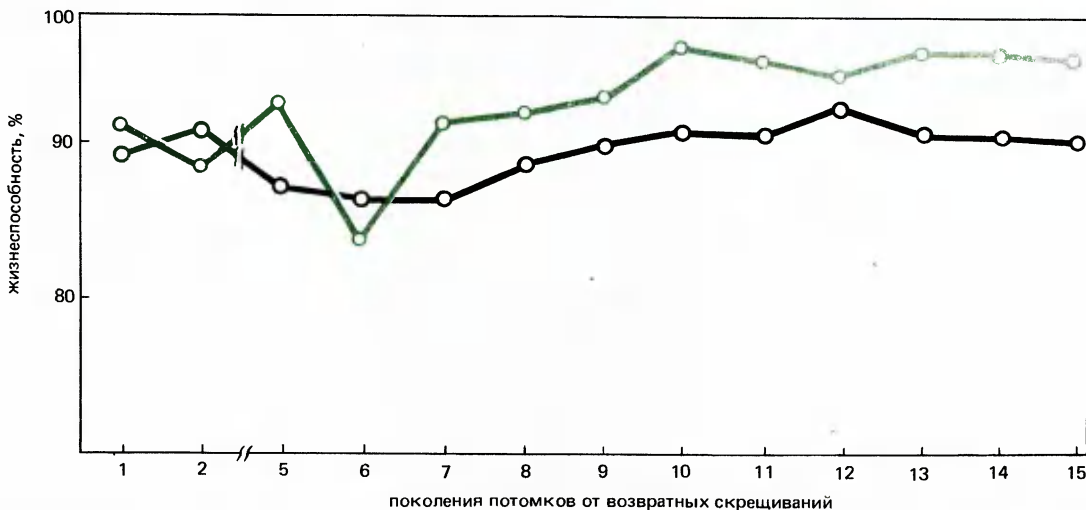


Схема получения генотипического варианта IV. В первом скрещивании родителями были самка из партеноклона-29 и самец третьего генотипического варианта. В дальнейшем самки из каждого нового поколения скрещивали с самцами этого варианта. За счет такого сверхродственного скрещивания возникли шелкопряды с низкой степенью гетерозиготности, но с высоким гетерозисом. Темными символами обозначены партеногенетические особи, светлыми — обычные.

многим нашим опытам, такая связь не представляет всеобъемлющей закономерности. Вероятно, как и в описываемом нами опыте с тремя первыми вариантами партеноклона, связь жизнеспособности с гетерозиготностью вообще всех генов иллюзорна. Данные по возвратным скрещиваниям свидетельствуют, что в повышении жизнеспособности основное значение имеет гетерозиготность не всех генов, а только рецессивных леталей и полулеталей. Действительно, их гетерозиготное состояние повышает жизнеспособность, что часто ошибочно принимается за действие гетерозиготности вообще. Напротив, гомозиготность по адаптивно ценным аллелям только полезна для проявления высокой жизнеспособности (об этом — немного позже).

Переходя к установлению доли действия следующего фактора гетерозиса — погашения леталей и полулеталей, — следует отметить, что относительная частота их погашения, несомненно, определяет уровень жизнеспособности. Так, у инбредных линий, полученных от популяции с большим грузом леталей и полулеталей, этот уровень снижается, а у гибридов, наоборот, повышается. Однако наши опыты показы-





**Жизнеспособность особей партеноклона-29 и четвертого генотипического варианта (ц в е т н а я к р и в а я). За счет гомозиготности полезных генов в геноме шелкопрядов четвертого варианта их жизнеспособность стала выше жизнеспособности контрольных шелкопрядов.**

вают, что погашение вредных генов все же не является решающим в гетерозисе. Дело в том, что полностью гомозиготные самцы всегда оказываются также гомозиготными по некоторому числу слабых рецессивных полулеталей. Вследствие этого они, как правило, выглядят ослабленными. При возвратном скрещивании самцов, содержащих, например, один полулеталь, и исходных самок партеноклона, как показывают простые расчеты, половина потомства будет гомозиготна по этому же полулеталю. Следовательно, поколения от возвратных скрещиваний неизбежно несут определенное число непогашенных полулеталей, которые были у партеноклона в гетерозиготном, т. е. в погашенном, состоянии. Несмотря на это, жизнеспособность поколений от возвратных скрещиваний оказалась выше, чем у исходного партеноклона.

Мощь гетерозиса в этих поколениях нельзя объяснить и с позиций гипотезы доминантности в ее строгом виде. Это доказывает следующий расчет. Даже в том случае, если бы в генотипе партеноклона были полностью доминантные гены, то в поколениях от возвратных скрещиваний число равносильных по действию гетерозиготных (Aa) и гомозиготных пар (AA) должно быть всегда меньше, чем у исходного партеноклона. Это объясняется тем, что

в таких поколениях неизбежно появляются, как мы только что показали, слабые полулеталя в гомозиготном состоянии (aa), в то время как у партеноклона все они гетерозиготны (Aa).

Итак, в поколениях от возвратных скрещиваний уровень действия всех трех ранее известных факторов гетерозиса оказался гораздо ниже, чем у исходного партеноклона. Казалось бы, жизнеспособность и средняя масса коконов тоже должны быть ниже, чем у партеноклона, но в действительности этого не было. Поскольку основное различие партеноклона и потомков от возвратных скрещиваний — гомозиготное состояние большого числа благоприятных генов, этим как раз и можно объяснить проявившееся превосходство. Эффект благоприятного действия адаптивно значимых генов именно в гомозиготном состоянии свидетельствует, что эти гены полностью не доминируют над своими аллелями с менее выраженным действием, а эффект каждого из них суммируется подобно эффекту многих генов, контролирующих количественные признаки.

Как следует из большого числа наших опытов, объединенные в комплексы неаллельные гены жизнеспособности действуют в высшей степени скоординированно, увеличение числа «сильных» генов жиз-



неспособности в этих комплексах повышает эффект действия не в арифметической, а в геометрической прогрессии.

Если заключение о большой роли в гетерозисе аддитивно и скоординированно действующих благоприятных генов реально, это открывает новые подходы к пониманию генетической основы комбинационной способности, т. е. генетической способности родителей давать гетерозис различной силы при гибридизации. Познание ее генетической природы имеет исключительное значение, так как позволит искусственно создавать родительские формы, дающие мощный гетерозис в потомстве.

Судя по нашим результатам, ценность комбинационной способности должна определяться мощностью компенсационного комплекса генов, т. е. количеством, силой действия и скоординированностью благоприятных генов, а также их гомозиготностью. Только в этом случае гибриды унаследуют от каждого исходного родителя достаточное количество благоприятных генов для проявления гетерозиса.

Все это хорошо подтверждено опытами. В одном из них партеноклон и два генотипических варианта с различной степенью гетерозиготности (50 % и 0 %) были скрещены с промышленной породой «японская-115» (Я-115). У потомков мощность гетерозиса (масса одного кокона и жизнеспособность) была тем выше, чем ниже степень гетерозиготности. Самый низкий гетерозис проявился у гибрида от партеноклона, гетерозиготность которого принята за 100 %; несколько больший — у гибрида от одного из потомков, полученных при возвратных скрещиваниях (гетерозиготность 50 %), а наиболее высокий — в потомстве от внешне крайне невзрачных полностью гомозиготных партеногенетических самцов. Урожай последних гибридов превысил урожай гибридного потомства от партеноклона и Я-115 на 7 %.

Результаты сложного опыта, который мы не будем здесь описывать, отослав заинтересовавшегося читателя к нашей публикации<sup>3</sup>, четко показали, что высокая комбинационная способность обусловлена гомозиготностью партеногенетических самцов по большинству благоприятных генов. Это происходит за счет жесткого отбора: только 0,5 % зачатых партеногенетических самцов с лучшими наборами благоприят-

ных генов развились до плодовых бабочек. Однако, несмотря на такой жесткий отбор, одновременно с благоприятными генами в гомозиготное состояние переходит все же и часть полулеталей и снижает в значительной мере действие благоприятных генов. В межпородном гибриде фактически все полулеталей погашаются, и тогда в нем полностью проявляется эффект всех без исключения благоприятных генов, полученных в одной дозе от полностью гомозиготного самца. В самом партеноклоне хотя и проявляется мощный гетерозис, однако он не передается гибриднему потомству, потому что у него многие благоприятные гены становятся гетерозиготными. Таким образом, после рекомбинации наследственного материала во время мейоза только половина половых клеток получит лучший аллель.

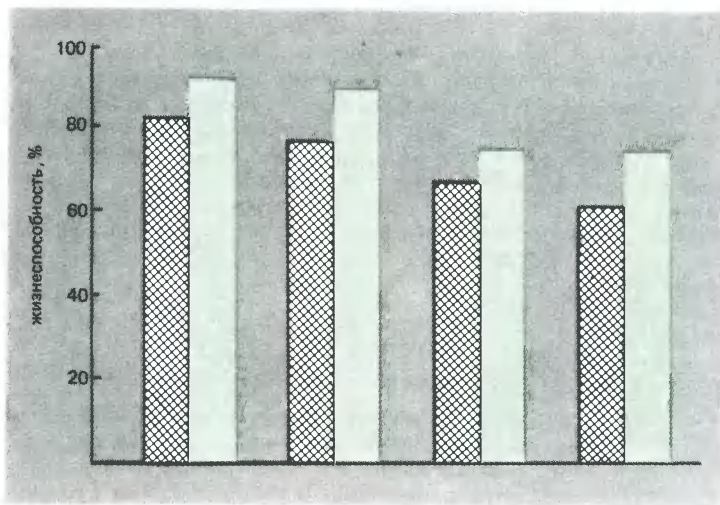
Это доказано на двух типах генетически различающихся триплоидов шелкопряда. Чтобы получить первый тип триплоидов, партеноклон вначале был превращен в тетраплоид ( $Aa \rightarrow AAaa$ ), который и был скрещен с самцами Я-115. Тетраплоидные ядра образовали диплоидные пронуклеусы трех генотипов —  $1AA : 4Aa : 1aa$ . С каждым из них слился гаплоидный мужской пронуклеус, дав, таким образом, триплоид. Если аллели  $Aa$  адаптивно неравноценны ( $A$  лучше  $a$ ), триплоиды, полученные от женских гамет  $aa$ , должны быть хуже, чем от  $AA$  и  $Aa$ .

Второй тип триплоидов был получен посредством сильного прогрева диплоидных яиц партеноклона, только что осемененных сперматозоидами Я-115. В таких яйцах блокируется редукционное деление женского ядра и образуется диплоидный пронуклеус материнского генотипа ( $Aa$ ). С диплоидным пронуклеусом сливается гаплоидное ядро, и возникает также триплоидная зигота, в которую целиком попадает диплоидный набор хромосом партеноклона, обеспечивающий ему высокий гетерозис. Благодаря этому триплоидные гибриды с нередуцированным материнским ядром оказались более гетерозисными, чем триплоидные гибриды с редуцированным ядром: по массе одного кокона они превосходили первый тип триплоидов на 14 %, а по жизнеспособности — на 15 %.

Полученные данные приводят к нескольким парадоксальным заключениям.

1. Генетической основой комбинационной способности является комплекс благоприятных генов у родителей. Но если при внутривидовых скрещиваниях его действие зависит от частоты погашения

<sup>3</sup> Струнников В. А. // Доклады АН СССР. 1976. Т. 227. № 6. С. 1457—1460.



Жизнеспособность триплоидных гибридов шелкопряда мейотического (заштриховано) и амейотического (показано красным цветом) типа. Приведены результаты четырех опытов. У гибридов амейотического типа жизнеспособность в среднем на 15 % выше жизнеспособности мейотического типа.

полуплетелей, то при межпородной гибридизации гетерозис целиком зависит только от генетической силы комбинационной способности: в этом случае полуплетели полностью гасятся, так как они, как правило, различны, или неаллельны, у двух генетически разных пород.

2. Компенсационный комплекс генов, лежащий в основе комбинационной способности, часто не проявляется из-за полуплетелей у родителей, но дает мощный гетерозис у гибридов первого поколения. И напротив, если этот комплекс дает мощный гетерозис у гибридов, его комбинационная ценность теряется, когда гибрид используется в качестве родительской формы при дальнейшей гибридизации.

Мощный и гомозиготный компенсационный комплекс генов, надо полагать, обеспечивает высокий гетерозис при скрещиваниях со многими формами (общая комбинационная способность), поскольку этот комплекс передается гибриду, хотя и в одной дозе генов, но в скоординированном состоянии. Объединив хорошие комплексы двух дополняющих друг друга неродственных пород, можно, как показали опыты, еще больше усилить гетерозис (специфическая комбинационная способность).

#### ГЕТЕРОЗИС ПО КОЛИЧЕСТВЕННЫМ ПРИЗНАКАМ

Итак, мы выяснили причины адаптивного, или приспособительного, гетерозиса, проявляющегося главным образом в значительном повышении жизнеспособности. Но

ведь гетерозис также проявляется и по ряду количественных признаков, которые бывают неадаптивными и тогда ведут себя по-иному. Если жизнеспособность в конечном итоге определяется соотношением действия благоприятных и неблагоприятных генов и поэтому существенный перевес первых над вторыми достигается при гибридизации, то такого генетического механизма нет в обеспечении количественных признаков. Их уровни чаще всего определяются как результат простого сложения эффектов действия каждого из аллелей (аддитивное взаимодействие). Вот почему при благоприятном сочетании генов количественных признаков в гибридах второго поколения возникает часть особей с более высокими показателями этих признаков, чем у гибридов первого поколения. Благодаря аддитивному взаимодействию генов у потомков, происходящих от родителей, резко различающихся по какому-то признаку, его показатель соответствует среднему показателю признака двух родителей, если их скрещивание не привело к возникновению гетерозиса у потомков. Напротив, у высокогетерозисных гибридов значение количественных признаков выше их среднего показателя у родителей. Чем адаптивнее признак (количественные признаки могут быть и адаптивными), тем в большей мере снижается его показатель у инбредного потомства и тем больше он повышается у гибридов.

Долгое время объяснить это явление с позиций нашей гипотезы гетерозиса не удавалось. Большую ясность в эту проблему внесли наши опыты по изучению моди-

фикационной изменчивости количественных признаков у тутового шелкопряда. Поскольку опыты велись на популяциях с генетически одинаковыми особями в каждой из них, нам удалось выяснить, что формирование каждого организма и его органов не выполняется в строгом соответствии с генотипом, или «чертежами», заложенными в наследственном аппарате зиготы. Эти отступления, или ошибки, у генетически одинаковых особей одной популяции, обитающей в максимально выравненной среде, носят вероятностный, или чисто случайный, характер. Поэтому каждая такая популяция представляет собой мозаику из особей с неодинаковым проявлением признаков, независимым ни от генотипа, ни от внешних условий. В целом по каждой популяции, состоящей из генетически идентичных особей, частота отступлений от генотипа находится в обратной зависимости от жизнеспособности.

В свою очередь, жизнеспособность зависит от внешних условий, способа размножения и генотипа популяции. Наиболее высокая жизнеспособность свойственна гибридам с мощным адаптивным гетерозисом. Именно у таких гибридов благодаря достаточно полной реализации генотипа уменьшается индивидуальная изменчивость и одновременно, что особенно важно, повышаются средние показатели количественных признаков во всей гибридной популяции. Напротив, у инбредных линий за счет более частых отклонений от «наследственных чертежей» значительно повышается индивидуальная изменчивость и снижается среднее значение таких признаков.

Таким образом, в основе гетерозиса по количественным признакам мы не обнаружили прямых генетических механизмов, основанных на контролируемых эти признаки генах, как это имеет место при адаптивном гетерозисе. Более того, мощь гетерозиса по количественным признакам зависит от мощности адаптивного гетерозиса. Следовательно, мощное развитие количественных признаков при гибридизации (гетерозис) и подавление их при близкородственном скрещивании (инбридинге) — явления одного порядка. Только гетерозис — это следствие пониженной модификационной изменчивости, а инбредная депрессия — повышенной. Поскольку ошибки в формообразовательном процессе, как показали опыты, в большей мере сказываются на признаках приспособительного характера, как раз по ним и проявляется сильная депрессия при инбридинге и мощный гетерозис при гибридизации.

Описанные закономерности гетерозиса по количественным признакам проявляются в основном при внутривидовой гибридизации. При отдаленной гибридизации в генотипе гибридного организма могут объединиться несовпадающие гены двух родителей, и тогда совместное действие этих генов приведет к чрезмерному развитию некоторых количественных признаков. Это явление и такого рода гетерозис называют гигантизмом.

---

## СЕЛЕКЦИЯ НА ГЕТЕРОЗИС

---

Вычленив причины повышения показателей количественных признаков при гибридизации из генетического процесса, обуславливающего гетерозис, мы существенно упростили трактовку этого явления.

Прежде всего, мы пришли к простому заключению: гетерозис не представляет собой какого-то особого в генетическом или каком-то другом отношении события, но является лишь высшей ступенью жизнеспособности, в принципе ничем не отличающейся от всех ее остальных ступеней, в том числе и самой низшей, той, которая проявляется при близкородственном размножении. Все индивидуумы уникальны по генотипам, определяющим жизнеспособность, степень проявления которой зависит от соотношения благоприятных и неблагоприятных (летальных и полублетальных) генов. Если бы это соотношение в популяциях можно было бы выразить показателями, оно, вероятно, выглядело бы как нормальная кривая распределения со средним значением, которое поддерживается из поколения в поколение на определенном уровне. У инбредных линий оно отклоняется в сторону неблагоприятных генов, перешедших в гомозиготное состояние, а у гибридов — в пользу благоприятных.

Но такое рассуждение слишком абстрактно, поскольку преимущество благоприятного действия над неблагоприятным можно объяснить гетерозиготностью адаптивно нейтральных генов (по гипотезе сверхдоминантности) и наличием у гибридов большего, чем у родителей, числа полностью доминантных генов. Но наши опыты показали, что именно эти факторы не являются причиной гетерозиса. Несомненно, гетерозис проявляется тогда, когда у гибридов гасятся фактически все рецессивные летали и полублетали. Однако одного этого мало, чтобы проявился мощный гетерозис. Если бы только погашением полублеталей объяснялся гетерозис, факти-



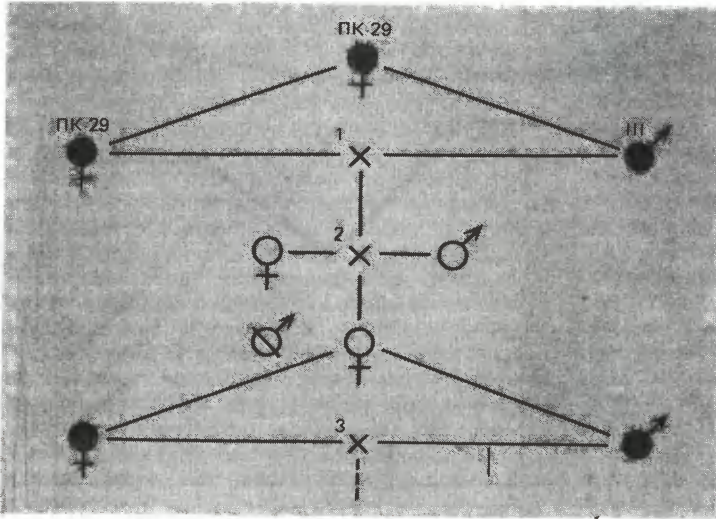


Схема генетических скрещиваний для выведения линии с наибольшим числом погашенных неблагоприятных генов. В первом скрещивании родительская пара — партеногенетическая самка [ПК-29] и самец третьего генотипического варианта — происходят из партеноклона; во втором скрещивании родители — это брат и сестра из потомства от первого скрещивания, в третьем скрещивании родители снова партеногенетические, но происходят не от партеноклона, а от самки второго поколения. В схеме скрещивание партеногенетических родителей перемежается скрещиванием братьев и сестер, в результате из генома удаляется большинство вредных генов. Темными символами обозначены партеногенетические особи, светлыми — обычные.

чески все гибриды от скрещивания генетически неродственных форм должны были бы обладать им. А этого нет. Гетерозис возможен лишь в том случае, если гибриды унаследуют от одного или обоих родителей достаточное число благоприятных генов с высокой экспрессивностью и скоординированностью действия. За счет такого действия их совокупность и можно рассматривать в качестве единых комплексов. Появление таких комплексов у особей видов, размножающихся половым путем, — вероятностное и редкое явление. Вот поэтому так редки родители с выдающейся комбинационной способностью, поэтому же редок в природе мощный гетерозис. Следовательно, он не может играть той роли в повышении жизнеспособности, какую он играет по воле человека, скрещивающего родительские формы с уже известной и стабильной комбинационной способностью.

Таким образом, инбредная депрессия и гетерозис всего лишь крайние варианты жизнеспособности одного и того же вариационного ряда, возникшего в ходе внутрипопуляционных генетических процессов. Гибридизация лишь приводит к максимальному превышению действия благоприятных генов над неблагоприятными. А поскольку вредные гены гасятся при всех неродственных скрещиваниях, причины гетерозиса у гибридов сводятся к качеству и количеству унаследованных ими аддитивно действующих благоприятных генов.

Насколько же верна наша столь неслучайная гипотеза становления гетерозиса? Как известно, истинность любого на-

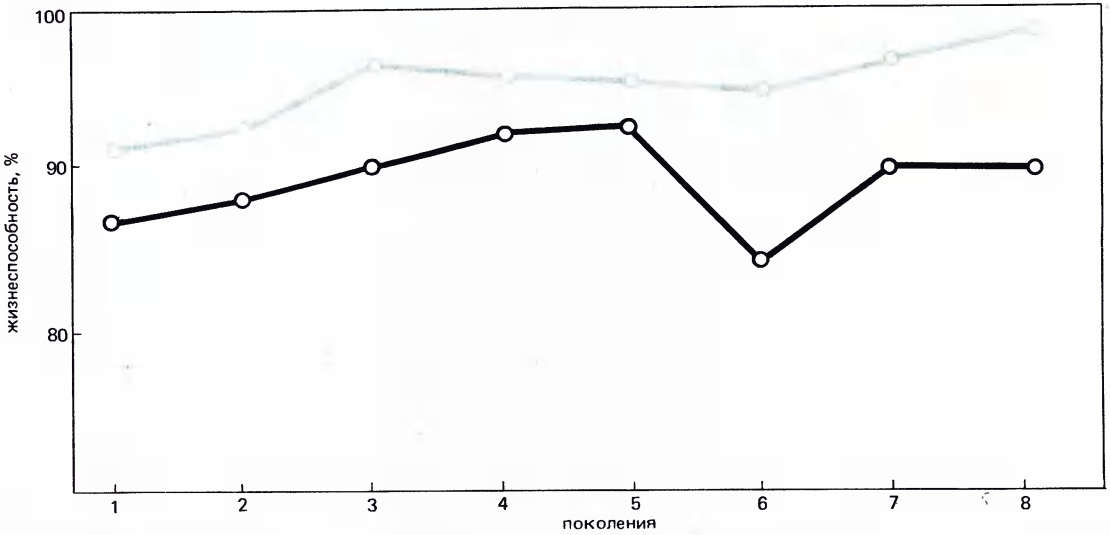
учного вывода лучше всего оценивается по его плодотворности или возможному вкладу не только в теорию, но и в практику.

Одна из самых важных проблем гетерозиса — создание по воле селекционера родительских форм, дающих при гибридизации мощный гетерозис в потомстве. Такого рода селекции до сих пор не было. Исходные формы с нужной комбинационной способностью пока не создают, а выбирают из десятков тысяч неблагоприятных линий. Это огромная и кропотливая работа.

Как же подойти к решению этой проблемы, исходя из наших представлений о природе гетерозиса и комбинационной способности?

Раздумывая об этом, мы пришли, казалось бы, к совершенно абсурдному выводу: гетерозис можно получить не только без гибридизации, но даже при размножении, в генетическом отношении соответствующем самооплодотворению, которое у тутового шелкопряда обычно приводит к гибели и депрессии большинства потомков. Чтобы осуществить этот план, необходимо, во-первых, удалить из генотипа самооплодотворяющейся линии фактически все летали и полулетали и, во-вторых, перевести большинство благоприятных генов в гомозиготное состояние. Такие операции еще недавно посчитали бы чистойшей фантазией. Однако, комбинируя искусственные способы размножения, мы осуществили проверку высказанной идеи.

Вернемся немного назад. При возвратных скрещиваниях партеногенетиче-



Жизнеспособность поколений шелкопрядов от опытных скрещиваний (ц в е т н а я к р и в а я) и контрольного партеноклона-29. Опытные скрещивания проведены по схеме, изображенной на предыдущем рисунке. Жизнеспособность опытных особей выше, чем контрольных, причем с увеличением числа поколений она растет.

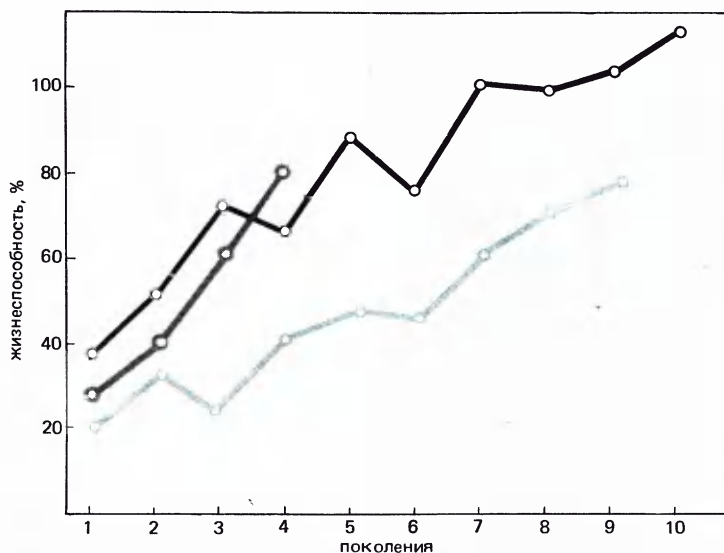
ских полностью гомозиготных самцов с исходными партеногенетическими самками (самооплодотворение) мы получили потомство, которое по жизнеспособности стояло на уровне высокогетерозисного исходного партеноклона. Однако это потомство несло какую-то часть непогашенных полулеталей, что не позволило еще больше повысить жизнеспособность. Несколько усложнив схему возвратных скрещиваний (партеногенетических самцов от партеноклона мы заменили самцами от очередного возвратного скрещивания, которые уже были в определенной мере свободны от вредных рецессивных генов), мы в большей мере «очистили» их потомков от полулеталей. При этом благоприятные гены по-прежнему переходили в гомозиготное состояние и объединялись в единый комплекс. Жизнеспособность поколений от этих скрещиваний сразу же оказалась выше, чем у исходного партеноклона и, постепенно нарастая, за 8 лет, что длился опыт, достигла 97,2 %. Жизнеспособность в это же время выкормленного самого распространенного в нашей стране промышленного гибрида в среднем равнялась 93 % и никогда не превосходила 94 %.

Следовательно, чтобы получить мощный гетерозис, гибридизация, сопровождающаяся, как это представлялось, какими-то загадочными явлениями, не обязательна. Оказалось, что можно получить гетерозис даже за счет противоположного гибриди-

зации способа размножения — за счет самооплодотворения. Именно это нам представляется наиболее убедительным доказательством правильности нашей гипотезы о причинах возникновения гетерозиса, открывающей совершенно новые подходы к его практическому использованию. Описанная схема опыта может быть использована в качестве нового весьма эффективного метода селекции для создания высокопродуктивных сортов сельскохозяйственных культур, особенно самоопылителей, гибридизация которых технически пока невозможна.

Мы вывели описанную выше высокожизнеспособную линию тутового шелкопряда с помощью мейотического партеногенеза, который позволяет одновременно избавиться от рецессивных леталей и полулеталей и перевести благоприятные гены в гомозиготное состояние. Методика такого партеногенеза еще не разработана для растений. Однако этот же генетический эффект может быть достигнут при получении гаплоидных форм с последующим переводом их в диплоидные полностью гомозиготные формы. Это и позволит вести селекцию растений на высокую жизнеспособность в принципе таким же путем, какой был проделан с тутовым шелкопрядом.

Естественно возникает вопрос — а можно ли получать исходные родительские формы с потенциальной способностью



**Жизнеспособность шелкопряда (цветная кривая), дрозофилы (черная кривая) и гороха (серая кривая). За счет введения в геном этих организмов полуплетеля велась селекция на комплекс генов жизнеспособности. С увеличением числа поколений при селекции жизнеспособность всех трех видов организмов растет.**

давать мощный гетерозис в гибридах? Достаточно ли реальна и действенна наша гипотеза гетерозиса, чтобы решить эту задачу для селекционной практики?

Для этого, как мы уже показали, в генотипе селекционной линии, в основном, нужно объединить в достаточно большом количестве гены, эффективно обуславливающие жизнеспособность. Эти гены обычно рассеяны по многим популяциям и отдельным индивидуумам, и собрать их вместе так же трудно, как и выделить из большой массы песка крупинки железа. Без магнита это не выполнимо. Генетическим «магнитом», который послужил нам для выделения и интеграции генов жизнеспособности, мы выбрали полуплетельные мутации<sup>4</sup>. Введение такой мутации в селекционную линию приводит к снижению жизнеспособности до 20—30 %.

Каждый организм с полуплетелем попадает на грань между жизнью и смертью. Выживают лишь те организмы, в генотипе которых окажется достаточный запас генов жизнеспособности, погашающий вредное действие полуплетеля. Обычно семьи таких популяций значительно различаются числом выживающих особей. Если в каждой генерации на племя выбирать лучшие по жизнеспособности семьи, а в них — внешне хорошие особи, то, как показал уже достаточно большой опыт, жизнеспособность селекционной популяции очень быстро нарастает. Через несколько поколений она достигает уровня обычных форм. Эффект

селекции бывает еще большим, если в качестве исходного материала брать гетерогенную популяцию, ведущую происхождение от нескольких различных линий. Плодотворность такого подхода доказана не только результатами селекции на жизнеспособность тутового шелкопряда, но также дрозофилы и гороха. Во всех трех случаях поражает бурное нарастание жизнеспособности и сходство динамики ее роста.

Если при этом в генотипах селекционируемых линий действительно образуются комплексы генов жизнеспособности, эти линии должны давать при гибридизации более мощный гетерозис, чем такие же по происхождению линии, но не имеющие полуплетеля и не селектированные на жизнеспособность. Гетерозис гибридов тутового шелкопряда, которые вели свое начало от одного из родителей линии, несущей полуплетель, оказался, по многолетним данным Государственной комиссии по испытанию сортов и пород, на 10 % выше гетерозиса гибрида, чьи родители были генетически такими же, но не содержали полуплетеля. В шести лабораторных испытаниях превышение было еще больше — 15 %. В четырех самостоятельных исследованиях на дрозофиле плодовитость (количество отложенных яиц) межлинейного гибрида, отцовская линия которого имела полуплетель и селектировалась на жизнеспособность, оказалась на 20 % выше, чем у контрольного гибрида<sup>5</sup>. В опытах С. А. Гостим-

<sup>4</sup> Струнников В. А. // Вестник с.-х. науки. 1983. № 3. С. 34—40.

<sup>5</sup> Струнников В. А., Маресин В. М., Степанова Н. Л. // Цитология и генетика. 1986. Т. 20. № 1. С. 3—10.



ского на горохе, проведенных по такой же схеме, «магнитом» для селекции служил полупеталь хлорофилльной недостаточности. Выведенную им линию и три стандартных сорта он скрестил с одним и тем же четвертым сортом. Урожай гибридов от скрещивания с новой линией был на 40—50 % выше урожая, который дали гибриды от трех промышленных сортов.

Генетическое объяснение гетерозиса здесь очевидно: в гибридах действие полупетали погашается благодаря переходу его в гетерозиготное состояние, и неотягощенный более комплекс благоприятных генов, хотя и доставшийся гибриду в одной дозе, приводит к более мощному развитию признаков — к гетерозису.

Сходные процессы уже известны в биологии. Космонавты, мускулатура которых развивается соответственно земной силе тяготения, делают гигантские прыжки на Луне, где притяжение в 4 раза меньше. В древние времена спринтеров тренировали в сандалиях со свинцовыми подошвами, что создавало повышенную нагрузку. В соревнованиях, сняв тяжелую обувь, они бежали быстрее, чем после тренировки в легкой обуви.

Возвратимся к селекции на гетерозис. Мне хочется обратить особое внимание на то, что представленные здесь циф-

ры — это не абсолютные показатели гетерозиса, они демонстрируют лишь, насколько более мощный гетерозис можно получить, если использовать новую схему селекции на комбинационную способность взамен традиционной гибридизации не селективированных на гетерозис пород.

Полученные результаты, на мой взгляд, достаточно убедительны, чтобы начать широкие испытания этой схемы на многих сельскохозяйственных растениях. В пользу этой схемы следует отнести и то, что выведенные линии с высокой комбинационной способностью не ослаблены инбридингом и, следовательно, более экономичны при размножении исходных для гибридизации форм. Кроме того, однажды выделенную и проверенную полупетальную мутацию могут использовать многие селекционеры применительно к их исходному материалу. Обсуждаемое здесь направление селекции, несомненно, таит большие резервы для совершенствования как ее технологии, так и эффективности.

Мы надеемся, что обретенная нами возможность вести селекцию на гетерозис убедит читателей в корректности выдвинутой гипотезы его становления, а селекционерам послужит источником новых работ по выведению высокопродуктивных сортов.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Психология

**М. И. Лисина.** ПРОБЛЕМЫ ОНТОГЕНЕЗА ОБЩЕНИЯ. М.: Педагогика. 1986. 144 с. Ц. 65 к.

В этой книге доктора психологических наук М. И. Лисиной (1929 — 1983), четверть века возглавлявшей исследования общения детей (от рождения до 7 лет) со взрослыми и сверстниками, дано обобщение большого экспериментального материала. Впервые в отечественной психологии сделана попытка построить целостную концепцию генезиса общения. Автор дает

описание четырех главных форм общения: ситуативно-личностной, свойственной младенцам; ситуативно-деловой, присущей детям раннего возраста; внеситуативно-познавательной, характерной для среднего дошкольного возраста; внеситуативно-личностной — высшего достижения дошкольного развития. Последовательность появления всех этих форм общения строго фиксирована, но без строгой привязки к определенному возрасту.

Отношение взрослых к ребенку как к личности — решающее условие становления коммуникативной деятельности.

Воспитатель, как считает автор, «заранее» наделяет младенца чертами взрослого человека. Но каким он станет — во многом зависит от глубины и развитости контактов. Книге М. И. Лисиной можно было бы предпослать слова замечательного педагога Януша Корчака, отстаивавшего право ребенка на уважение: «Дети — это маленькие взрослые». В этом высказывании — этика отношения к детям.

Книга заинтересует не только специалистов. Ясно написанная, она доступна любому взрослому, желающему понять ребенка и улучшить с ним свои отношения.

# УРОКИ А.А.ЛЯПУНОВА



АЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ ЛЯПУНОВ. 25. IX[8.X]1911—23.VI 1973

Современные науковеды, рассуждая о развитии науки, пытаются облечь его в драму идей. Художники слова, писатели — в драму людей. В последнее время — видимо, виновато наступление эпохи НТР — развитие некоторых наук сделалось историческим фоном развития общечеловеческих конфликтов. Такого не наблюдалось в начале нашего столетия, а тем более — в предшествующие времена.

Не пора ли подробнее разобраться в этом феномене! И не в художественном и даже философском, а сугубо естественнонаучном, даже прикладном плане! Почему, например, генетика и кибернетика, а не химия и ботаника стали ареной «драмы идей», которая разыгрывалась подчас и в подлинные трагедии! И почему некоторые из них оказывались с печальным, а другие с благополучным концом! Как, почему, благодаря чьим усилиям не распадалась «дней связующая нить» и соединялись ее «обрывки»? Академик А. П. Ершов и доктор биологических наук Н. Н. Воронцов в публикуемых ниже статьях поднимают одну из этих неординарных тем жизни науки.

# УЧИТЕЛЬ

Академик **А. П. Ершов**

Новосибирск

**В** 1952 г. я был студентом 4-го курса механико-математического факультета Московского университета. То, что называется специализацией, уже совершилось. Год назад я записался на незадолго перед этим организованную кафедру вычислительной математики, возглавляемую тогда академиком Сергеем Львовичем Соболевым. В этом выборе уже сыграла свою роль обрывочная информация об электронных вычислительных машинах, выполняющих с фантастической скоростью длинные последовательности арифметических действий. Для студентов, которые в восхищении разевали рты на ладные и стрекочущие как пулеметы механические счетные машины «Мерседес», только-только появившиеся на кафедре, такая информация об ЭВМ, конечно, кружила голову, однако носила слишком уж «потусторонний» характер. Поэтому, не сознавая внутренней подготовленности к этому новому, еще не получившему названия делу, я блуждал между занятиями по конструктивной теории функций и алгеброй релейно-контактных схем, старательно сдавая экзамены и предаваясь другим делам, типичным для студента.

В начале 1952/53 учебного года в нашей группе «вычислителей», как называли студентов кафедры С. Л. Соболева, прошел слух о появлении на факультете пришедшего откуда-то, вроде бы из военной академии, молодого доктора по теории множеств Алексея Андреевича Ляпунова, который объявил спецкурс под необычным названием: «Принципы программирования».

К этому времени первая информация об ЭВМ начала попадать на страницы научных журналов. Велась интенсивная работа и в СССР. Однако, как и другие работы по новой технике, она в то время проводилась под покровом секретности, и поэтому поставленные нам в учебный план курсы «Счетные машины и приборы» и «Теория машин и механизмов», хотя и читались весьма достойными специалистами и препода-

вателями, но забивали наши головы кучей деталей, которые, будучи, возможно, и интересными сами по себе, но взятые вместе, лишь подчеркивали переломный момент, переживаемый вычислительной техникой. Лекции Алексея Андреевича были первым курсом, на сто процентов направленным в будущее.

Первая лекция состоялась в самый разгар семестра, 29 октября 1952 г. Перед нами предстал чуть выше среднего роста худощавый скромно одетый человек запоминающейся наружности. Первое впечатление было смешанным. Несколько сбивчивая речь, импровизационный стиль лекции, но заразительный энтузиазм, усилимый пронизывающим искрящимся взглядом черных глаз. Абсолютная незаинтересованность укреплять авторитет общением внешними средствами, обычно присущими профессиональному преподавателю, в сочетании с не менее абсолютной непреклонностью принципиальных положений. В нашей группе «вычислителей» к 4-му курсу было несколько «ангажированных» студентов, уже углубившихся в разные разделы математики, которых курс Ляпунова никак не затронул. Оказалось, однако, дюжина студентов, для которых этот курс сыграл важнейшую формирующую роль в их дальнейшей жизни. Почти все они внесли впоследствии заметный вклад в становление программирования и информатики.

Реальное значение курса «Принципы программирования», конечно же, не ограничивалось приобретением некоторого числа студентов к новому виду деятельности. Во время чтения этого курса у Алексея Андреевича сложились основы «операторного метода» программирования — системы понятий, приведенной к символическим языкам программирования, трансляторам, теории схем программ, к тому, что и ныне составляет основу программирования.

С позиций диспетчера, ведающего расписанием и аудиториями, курс «Принципы программирования» мог вызвать лишь беспокойство в связи с его нерегулярностью: три лекции в 1-м семестре и пять — во 2-м. На первых лекциях мы знакомились с системой команд условной трехадресной ЭВМ. Задним числом можно понять, что система команд машины БЭСМ (быстродействующей электронной счетной машины) Академии наук СССР уже тяготела над лектором, но говорить о ней как о реальной машине было еще рано. Сразу после довольно схематичного описания системы



команд мы принимались за упражнения в составлении программ. Программы записывались в таком виде, который сейчас можно было бы назвать перемещаемой формой с использованием базовых адресов. В качестве источника алгоритмов брались разложения элементарных функций в степенной ряд, вычисление многочлена, численное интегрирование дифференциального уравнения, решение треугольной системы линейных уравнений. Предпоследняя лекция имела пророческое название «Синтез программ», вошедшее в литературу через 25 лет. В последней лекции от 24 апреля уже содержалось представление об операторах программы, их классификация и методика программирования на основе операторного метода.

Конечно, изложение основных понятий операторного программирования было еще далеко от совершенства, но главное было в том, что эти понятия возникли буквально у нас на глазах. В значительной степени успех курса основывался на том, что Алексей Андреевич сразу угадал как специфические стороны деятельности, называемой программированием, так и ее универсальный характер, не зависящий от конкретного содержания решаемой задачи. Текстологический анализ, который, однако, потребовал бы более подробных и аккуратных записей, нежели — увы! — моих, мог бы обнаружить, как зерна проницательных догадок и «вечных» истин прорастали в самых разных уголках изложения, далеко не всегда на его главной линии.

Помимо поступательного развития идей курса был также очевидный и захвативший нас момент прозрения, скачком изменивший горизонты программирования. Это произошло после очередной командировки Алексея Андреевича в Киев, где он работал на первой электронной вычислительной машине, построенной и собранной под Киевом в здании бывшего Теофаниевского монастыря под руководством Сергея Алексеича Лебедева. Алексей Андреевич вернулся из Киева преобразенным. Активный творческий процесс всегда порождает избыточные идеи, среди которых не всегда удается сразу выбрать наиболее верную; для нас, однако, было исключительно важным равное, поистине совместное, размышление над процессом программирования, определившее затем на годы направление и содержание работы.

Говоря о влиянии Алексея Андреевича на студентов и на формирование основных понятий программирования, нельзя, конечно, ограничиваться только переска-

зом восьми лекций курса. Одновременно с чтением лекций Алексей Андреевич руководил курсовыми работами, выступал на семинарах, беседовал со студентами у себя дома. Не раз по окончании лекции он прихватывал очередного собеседника и вел его от Моховой к себе на Шаболовку. Часового пути хватало, чтобы обсудить все на свете, от метода Монте-Карло до разницы между ДНК и РНК, о роли информационных потоков в управляющих системах, об истинном значении кибернетики, о сущности моделирования в технике и в биологии, о минералах и живых сообществах, о Лузине и о французских математиках, о теории множеств и о внешней баллистике.

Деятельность Алексея Андреевича Ляпунова в МГУ в начале 50-х годов интересна далеко не только для истории науки. Мне хотелось бы закончить свои краткие заметки несколькими уроками Ляпунова, имеющими прямое отношение к текущему моменту.

Сейчас, в период фронтального продвижения курса основ информатики и вычислительной техники, раздаются немало возражений о преждевременности преподавания этого курса в условиях отсутствия неограниченного доступа школьников к ЭВМ. При всей внешней убедительности такой позиции меня не покидает мысль, что за этой критикой иногда кроется убогая неспособность говорить и рассуждать о предмете, преваряя этим разговором и рассуждением физическое обладание соответствующим предметом. Главное содержание курса информатики — это не ловкое манипулирование клавиатурой ЭВМ и знание деталей ее устройства, а несколько исключительно мощных и глубоких идей, связанных с понятиями информации, ее обработки и представления, алгоритмов и со способами «перекачки» знания в действие и наоборот. Усвоить эти идеи и увидеть, как они действуют в ЭВМ и в повседневной практике людей, вот истинное постижение информатики.

Первый урок Ляпунова состоял в том, что он научил нас говорить и рассуждать о программировании, видеть в машине хотя и самодовлеющую, но конечную стадию процесса программирования, которое проявляло себя как естественное продолжение и развитие математической практики «домашнего» периода.

Еще одно воспоминание. В мае 1954 г. курс обучения в МГУ был позади, и я готовился к государственным экзаменам. В это же время я уже восемь месяцев работал по совместительству в Институте

точной механики и вычислительной техники АН СССР, где готовилась к сдаче государственной комиссии машина БЭСМ. Я готовил очередной просчет по своей программе обращения матриц, когда меня пригласил Сергей Алексеевич Лебедев и попросил прочитать без промедлений короткий интенсивный курс программирования для ведущих инженеров института со сдачей экзамена в конце. Вначале я был шокирован. У меня за спиной был лишь курс Ляпунова и две-три программы, написанные для БЭСМ. Передо мной была аудитория, состоявшая из разработчиков БЭСМ, пропустивших эту машину через свои головы и руки и работающих за ее пультом с ловкостью виртуозов. Опасения мои оказались хотя и естественны, но напрасны. Выяснилось, что каждый из нас знал свое, и идейный заряд, полученный на лекциях Ляпунова, нельзя было заменить никакими деталями практического свойства.

Второй урок Ляпунова как учителя состоял в том, что он никогда не пытался скрыть от студентов, что овладевает новой наукой программирования вместе с нами. Уже ко второму семестру его курса выяснилось, что многие из нас программируют более ловко, чем лектор. В результате лекции иногда превращались в поток встречных предложений, которые Алексей Андреевич воспринимал без тени раздражения. Мера его доверия и интереса к собеседнику была безгранична. Надо сказать, что вообще взыскательное доверие к активной молодежи было очень характерным для научной и общественной атмосферы в Московском университете и в той части Академии наук, которая занималась становлением вычислительной техники и прикладной математики. Научное и нравственное влияние А. А. Ляпунова, С. Л. Соболева, М. В. Келдыша, С. А. Лебедева, М. А. Лаврентьева, А. А. Дородницына было прямым и не демпфировалось посредственностью, стоявшей в стороне от живого и нового дела и только еще ждущей своего часа.

Не буду обобщать и скажу лишь о пережитом мною опыте. На пятом курсе я учил разработчиков БЭСМ программированию. На первом году аспирантуры мне поручили руководить дипломниками в МГУ. Через год я начал организовывать отдел теории программирования в Вычислительном центре Академии наук СССР. На третьем году аспирантуры у меня появился собственный аспирант из Китайской Народной Республики (к слову говоря,

переживший «культурную революцию» и ставший ведущим специалистом в Академии наук Китая), а Сергей Львович Соболев пригласил меня заведовать лабораторией в Сибирское отделение АН СССР. Написанный мною отчет по программирующей программе для БЭСМ был без всяких проволочек по инициативе Л. А. Люстерника напечатан в виде отдельной книги, успев стать первой в мире монографией по автоматизации программирования. Это было реальное ускорение в области незаванной еще в то время информатики, ускорение, которое в дальнейшем было трагически растеряно в близорукой погоне за дешевым успехом копирования прототипов.

И, наконец, третий урок Ляпунова. В 1952 г. оставалось еще четыре года до XX съезда КПСС. «Талмудисты и начетчики» еще в полный голос разоблачали «лженауку кибернетику» и презренных «менделеев-морганистов». Алексей Андреевич с бесстрашием и осмотрительностью боевого офицера-фронтовика не лез под пули, но в своих беседах терпеливо и бескомпромиссно рассказывал о сущности кибернетики, о единстве законов обработки информации, об информационной теории наследственности и ее физико-химических носителях, о научном подвиге Николая Ивановича Вавилова. При этом особенно важным было отсутствие дешевого разоблачительства, исключительно позитивный характер аргументации, сила которой многократно возрастала от широкого кругозора, подкрепляемого постоянной работой мысли.

# ОКРУЖЕНИЕ И ЛИЧНОСТЬ

**Н. Н. Воронцов,**  
доктор биологических наук

Москва

**А**ЛЕКСЕЙ АНДРЕЕВИЧ ЛЯПУНОВ оставил труды в области чистой и прикладной математики, биологии, геофизики, логики и методологии науки, теории педагогики. Он был прирожденным педагогом, организатором науки, с его именем связаны становление кибернетики и теории программирования, теории машинного перевода, развитие математической биологии, организации многих изданий, научных советов, лабораторий и кафедр. Интеллигент по духу, демократичный в общении с сотнями людей, Ляпунов был непримирим в борьбе за научную истину и в этой борьбе был последователен и тверд. Так было с кибернетикой, с генетикой, с математической лингвистикой. Многие из того, что характеризует сегодняшний научно-технический прогресс в нашей стране — математизация образования в средней и высшей школе, компьютеризация — представляет собой развитие тех идей, которые были высказаны Ляпуновым еще в 50—60-е годы.

Он обладал исключительным обаянием, отзывчивостью, импульсивностью. Горячность в спорах, абсолютная непримиримость к любым проявлениям невежества и приспособленчества в науке сочетались у него с душевной мягкостью, с сохранившейся до последних дней юношеской увлеченностью самыми разнообразными проблемами науки и культуры. Его влекли археология, история архитектуры и живописи, в течение многих лет он собирал минералогическую коллекцию, со школьных лет сохранил любовь и интерес к астрономическим наблюдениям. Он свободно владел французским и немецким языками, и это способствовало не только общению с иностранными учеными, но и его исследованиям в области математической лингвистики.

Как сформировалась личность А. А. Ляпунова, его уникальная широта интересов? Многие из его качеств сложились в том благоприятном окружении, в котором он рос и воспитывался.

## СЕМЬЯ ЛЯПУНОВЫХ

Семья Ляпуновых с первой трети XIX в. связана родственными и дружескими узами со многими выдающимися деятелями русской науки и культуры. Прапрадед Алексея Андреевича, Василий Александрович Ляпунов, с 1826 г. служил в Казанском университете при ректоре Н. И. Лобачевском. Старший сын Василия Александровича, Виктор Васильевич (1817—1856), — прадед Алексея Андреевича — врач, умер во время эпидемии холеры на Волге. Его брат Михаил Васильевич (1820—1868) — ученик Н. И. Лобачевского, был профессором астрономии Казанского университета и директором обсерватории, а затем — директором Демидовского лицея в Ярославле. Их сестра Наталия Васильевна (1819—1897) — мать известных русских химиков-органиков члена-корреспондента Петербургской Академии наук А. М. Зайцева (1841—1910) и профессоров К. М. и М. М. Зайцевых. Младшая сестра Виктора Васильевича, Екатерина Васильевна (1834—1912), вышла замуж за художника Рафаила Михайловича Сеченова — брата знаменитого физиолога Ивана Михайловича Сеченова (1829—1905). В семье Р. М. Сеченова после кончины астронома М. В. Ляпунова воспитывались его дети.

Три сына М. В. Ляпунова — математик академик Александр Михайлович (1857—1918), композитор Сергей Михайлович (1859—1924), филолог-славист академик Борис Михайлович (1862—1943) широко известны.

Два сына врача В. В. Ляпунова: Николай Викторович (1850—1914) — инженер-путеец, строитель железных дорог, и врач Василий Викторович (1854—1928) — были дедами А. А. Ляпунова, первый по отцовской, второй по материнской линии. Из четырех сестер Н. В. и В. В. Ляпуновых упомянем Софью Викторовну — мать механика, математика и кораблестроителя академика Алексея Николаевича Крылова (1863—1945), Александру Викторовну — мать известного физикохимика Виктора Анри, получившего лингвистическое образование и работавшего попеременно то в России, то во Франции и Швейцарии. Сред-





Родители А. А. Ляпунова. Слева направо: Е. А. Ляпунова-Хованская [бабушка со стороны матери], В. В. Ляпунов [дед со стороны матери], Е. В. Ляпунова [мать], А. Н. Ляпунов [отец], [!]. Тверь, ок. 1910 г.

няя сестра, Елизавета Викторовна, вышла замуж за П. Х. Куприянова, сестра которого была матерью революционерки-народовольца Веры Николаевны Фигнер (1852—1942). А. А. Ляпунов с детских лет был знаком с Верой Николаевной и через нее познакомился с другим народовольцем — почетным академиком Николаем Александровичем Морозовым (1854—1946).

Отец Алексея Андреевича, Андрей Николаевич (1880—1923), получил физико-математическое образование в Московском и Гейдельбергском университетах и собирался посвятить свою жизнь математике. Однако резко пошатнувшиеся дела отца заставили его пройти вольнослушателем курс Института путей сообщений и принять

отцовские подряды на строительство железных дорог.

Поправив дела отца, Андрей Николаевич начал собирать картины, преимущественно русских художников. В коллекции были полотна Боровиковского, Левицкого, Рокотова, Брюллова, Репина, В. и А. Васнецовых, Борисова-Мусатова, Врубеля, К. Коровина, Сурикова, Кончаловского, Сомова, Бенуа, Левитана; имелись Коро, Моне, Сезанн. О художественном чутье А. Н. Ляпунова писал с восхищением И. Э. Грабарь, а С. В. Коненков причислял коллекцию Ляпуновых к лучшим пяти московским собраниям.

В 1909 г. А. Н. Ляпунов женился на своей двоюродной сестре Елене Васильевне

Ляпуновой (1887—1976), а его сестра Лидия Николаевна вскоре после этого вышла замуж за ученика Н. Д. Зелинского Сергея Семеновича Наметкина (1876—1950). Семьи Ляпуновых и Наметкиных не разделялись. В 1911 г. они вместе с семьей Н. В. Ляпунова поселились в одном доме на Солянке, где родился первенец — Алеша Ляпунов, а затем и остальные шестеро детей Ляпуновых и двое Наметкиных, и все росли вместе.

Разгром Московского университета в 1911 г. заставил прогрессивную интелли-

генцию искать пути создания независимых от правительства институтов. В числе 130 профессоров и преподавателей, покинувших университет, был и С. С. Наметкин, сосредоточивший всю научную и преподавательскую деятельность на Московских Высших женских курсах, ставший после Великой Октябрьской социалистической революции первым ректором II МГУ, основанного на базе этих курсов. В 1911 г. П. Н. Лебедев предлагает первый проект создания Физического института, Н. К. Коль-



Борис Михайлович Ляпунов в кругу родных. Слева направо стоят: А. К. и П. К. Зайцевы [2, 3], Б. М. Ляпунов [4], его жена Е. К. Ляпунова-Зайцева [5]. Ленинград, Лесной, 1929 г.



Александр Михайлович Ляпунов. Харьков, 1902 г.

чале 20-х годов Лазарев писал о химических реакциях и их переносе в виде волны в нервных волокнах, об ионной теории возбуждения органов чувств, что вполне естественно для биофизика, но одновременно публикует статью о Курской магнитной аномалии (КМА), в которой выступает как геофизик. В связи с необходимостью развертывания работ по КМА Лазарев обратился к В. И. Ленину, который всячески поддержал развитие этих исследований. Была создана Комиссия по изучению КМА, куда вошли П. П. Лазарев, И. М. Губкин, О. Ю. Шмидт, А. Д. Архангельский, А. А. Михайлов. Ученым секретарем комиссии стал А. Н. Ляпунов.

В 1923—1924 гг. на семье Ляпуновых и Наметкиных обрушиваются несчастья. В 1923 г. умирает А. Н. Ляпунов, а в 1924 — его сестра Л. Н. Ляпунова-Наметкина. Ко дню смерти отца Алексею было 11 лет. Тяжесть утрат, заботы о семи собственных детях и двух осиротевших племянников не сломили Елену Васильевну. Семьи Ляпуновых и Наметкиных, жившие на протяжении 13 лет под одной крышей,

цов ищет пути для создания биологического института. Нужны средства, нужны просвещенные меценаты; так возникает Общество московских научных институтов. А. Н. Ляпунов принимает участие в субсидировании этого предприятия. Смерть Лебедева и разразившаяся вскоре мировая война откладывают организацию задуманных институтов. Лишь в 1917 г. после Февральской революции Кольцов организует Институт экспериментальной биологии, а идею Лебедева реализует его ученик физик и биофизик академик Петр Петрович Лазарев (1878—1942). По его же инициативе и при участии Наркома здравоохранения Н. А. Семашко в 1918 г. создается Институт биологической физики при Наркомздраве. Вокруг Лазарева в Физическом и Биофизическом институтах концентрируются московские физики, физиологи, биофизики, геофизики. А. Н. Ляпунов становится ученым секретарем Физического института и участвует в издании первого русского физического журнала.

Лазарев был ученым очень широких интересов, что не могло не отразиться на разносторонности работ руководимых им институтов, на характере журнала. В на-

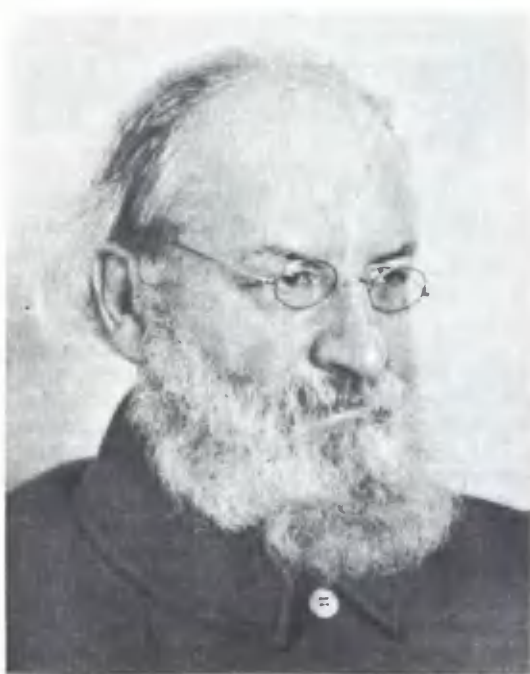


Вера Николаевна Фигнер. Петроград, 1915 г.

объединяются в одну. А в 1927 г. Е. В. Ляпунова выходит замуж за С. С. Наметкина, который, таким образом, становится отчимом Алексея.

С теплотой и благодарностью отзывался о своем отчине Алексей Андреевич. Уклад жизни у Ляпуновых и Наметкиных был различным: шумный, гостеприимный, открытый и многолюдный дом Ляпуновых характеризовался некоторой безалаберностью, а выходец из разночинной семьи Наметкин вел напряженный и размеренный образ жизни. С 1913 г. он был профессором, с 1914 по 1918 г. — деканом физико-математического факультета высших женских курсов. К середине 20-х годов он считался уже крупным химиком, в 1939 г. был избран академиком.

Частыми гостями в семье были Н. Д. Зелинский, И. Э. Грабарь, П. П. Лазарев, из Ленинграда приезжали А. Н. Крылов, Б. М. Ляпунов, В. Н. Фигнер, дети С. М. Ляпунова. Те, кто попадал в 20-е годы в семью Ляпуновых-Наметкиных, поражались обилию постоянно бывавших в доме родных и близких. Разобраться в генеало-



Алексей Николаевич Крылов (двоюродный дядя). Ленинград, 30-е годы.



Сергей Семенович Наметкин. Ок. 1914 г.

гических связях между ними было не просто, а иногда и невозможно, но все они были связаны общностью интересов. Характерные для русской интеллигенции черты — гуманизм, широта духовных запросов, принципы служения обществу — все это, по-видимому, сближало дальних и близких родственников, традиции передавались из поколения в поколение. По словам школьного товарища Алексея Андреевича известного физиолога члена-корреспондента АН СССР Л. В. Крушинского, «в доме Ляпуновых на Солянке бывал в то время цвет русской интеллигенции»<sup>1</sup>. Взрослые с вниманием относились к любознательному мальчику. «Я в те времена, — вспоминал Алексей Андреевич — без зазрения совести мог попросить П. П. Лазарева рассказать мне, в чем состоит теория относительности или чем замечательна Курская аномалия. В тех случаях, когда очередь доходила до меня, П. П. с полным вниманием выслушивал меня и всегда рассказывал что-нибудь интересное»<sup>2</sup>. Алексей

<sup>1</sup> Личный архив Н. Н. Воронцова.

<sup>2</sup> Личный архив А. А. Ляпунова.



Андреевич много раз говорил о том, что в становлении его математических интересов основную роль сыграл отец, а в формировании широких естественнонаучных интересов, он, помимо отца, испытал влияние Лазарева и Наметкина.

Среднее образование Ляпунов получил в школе № 42 Бауманского района, основанной на базе немецкого Реформатского училища. Хотя школьные годы пришлось на время бесконечных реформ, обстановка в школе, уровень математической и языковой подготовки был высок. Его школьный учитель С. Н. Успенский всегда давал Алексею персональные задания по математике и тем стимулировал быстрое развитие его интересов. Когда в 50-е годы Ляпунов заинтересовался проблемами преподавания точных и естественных наук в средней школе, он неоднократно вспоминал свою 42-ю школу.

Со многими товарищами — с астрономом Б. Ю. Левиным, с геофизиком Л. С. Вейцман-Гамбурцевой, с биологом Л. В. Крушинским (а через него и с его дедом математиком А. В. Васильевым) — Ляпунов поддерживал тесные дружеские и научные связи со школьных времен.

В отроческие годы Алеша Ляпунов увлекся астрономией, занимался сначала в школьном кружке, а затем в Московском обществе любителей астрономии (МОЛА), где «Коллективом наблюдателей» (Колнаб) руководил Б. А. Воронцов-Вельяминов. «В эти годы Алеша был сильно увлечен книгой «Откровение в грозе и в буре» Н. А. Морозова, где дается истолкование Апокалипсиса, основанное на взаимном расположении планет среди звезд... Ему очень нравился сам подход Морозова к использованию астрономии и ее законов для понимания исторических фактов. Прелесть такого синтеза была ему очень по душе»<sup>3</sup>. Любовь к астрономии Ляпунов сохранил на всю жизнь. «Кружковые занятия дали мне очень много — писал он.— Астрономом я, правда, не стал, но благодаря им я стал ученым». Первая публикация Ляпунова посвящена астрономии.

«Когда мы были в старших классах,— вспоминал Крушинский,— Алеша познакомился с Николаем Константиновичем Кольцовым, и я помню его восторженные рассказы о нем. Алеше особенно привлекало в Николае Константиновиче то, что он связы-

вал биологические проблемы с химией... Из биологических дисциплин он проявлял в то время большой интерес к биофизике. Этот интерес несомненно проявился у него под влиянием П. П. Лазарева»<sup>4</sup>. В благоприятной обстановке интеллигентной среды — семьи и ее окружения, школы в детстве и отрочестве был заложен тот фундамент естественнонаучного и общекультурного мировоззрения, широта которого поражала всех, кто встречался с Ляпуновым в зрелые годы.

---

## РАБОТА У П. П. ЛАЗАРЕВА

---

Окончив в 1928 г. девятилетку, Ляпунов поступил на физико-математический факультет Московского университета. Левацкие реформы дошли и до высшей школы, и как «лицо дворянского происхождения» через полтора года Ляпунов был вынужден покинуть университет. С октября 1930 г. он начинает работать у Лазарева в Геофизическом институте. Экспериментатор Лазарев надеялся воспитать из него экспериментатора, к чему Ляпунов был, по-видимому, органически неспособен. И хотя из опытов по моделированию образования лунных кратеров при падении метеоритов так ничего и не вышло, влияние Лазарева и его окружения сыграло большую роль в становлении научных интересов Ляпунова.

«Петр Петрович стремился прежде всего к тому, чтобы собрать людей, живо интересующихся наукой и стремящихся работать в науке, он создавал исключительные условия для работы, вдохновлял и поддерживал своих сотрудников и создавал... обстановку служения науке. Стар и млад, физик и биолог, медик, слесарь и стеклодув, заслуженный профессор и начинающий студент — все чувствовали себя членами одной семьи, участниками общего дела... Лаборантов и технических сотрудников почти не было. Все научные сотрудники выполняли эксперименты собственными силами. Конечно, почти все преподавали в высших, а то и в средних школах, но часы, свободные от преподавания, сотрудники проводили в Институте. Различия между вечерними и утренними часами практически не было. Работа в лабораториях не прекращалась до 10, а то и до 12 часов ночи... П. П. обходил лаборатории...

<sup>3</sup> Воспоминания Л. С. Вейцман-Гамбурцевой. Личный архив Н. Н. Воронцова.

<sup>4</sup> Там же.



Петр Петрович Лазарев. Москва, конец 1930-х годов.

и обсуждал с сотрудниками ход работы, смотрел эксперименты и высказывал свои соображения... Поразительно было то, как быстро он схватывал все новые обстоятельства, связанные с работой... В его поле зрения постоянно шли десятки разных работ... Во время обсуждения той или иной работы П. П. отвлекался и начинал развивать идеи по поводу тех или других научных проблем, или свои точки зрения научно-философского характера, или, наконец, он рассказывал какие-либо эпизоды, относящиеся к истории науки, которых он знал бесчисленное количество. Эти беседы имели огромное значение для молодых сотрудников...»<sup>5</sup>.

Еженедельные институтские коллоквиумы «касались самых разнообразных вопросов теоретической и экспериментальной физики, биофизики и физиологии, геофизики... На этих коллоквиумах, кроме сотрудников Института, бывали А. Н. Крылов, С. А. Чаплыгин, Л. И. Мандельштам, А. Ф. Иоффе, Н. К. Кольцов, С. Л. Лейбензон, Н. Т. Повало-Швейков-

ский, Н. М. Шатерников, В. С. Гулевич, Л. А. Орбели, Н. А. Бернштейн, Г. С. Ландсберг и многие другие... П. П. любил подчеркнуть роль русских ученых в развитии науки... Он часто подсмеивался над тем, что у нас много лучше знают работы иностранных ученых, чем русских, и что нередко случалось, что наши исследователи узнавали о работах соотечественников от иностранцев... это обстоятельство является следствием того, что в дореволюционной России ученые работали в одиночку. После коллоквиума, за чашкой чая, устраивались постколлоквиумы. Это были воспитательные вечера самого разнообразного характера... Все это было ярко, интересно и совершенно по-семейному. Это сближало людей и способствовало установлению дружной и радостной атмосферы в Институте»<sup>6</sup>.

Деятельность Лазарева была прервана в 1931 г. Убежденный в ложности предъявленных Лазареву обвинений, Ляпунов с юношеской горячностью принял участие в организации обращения ведущих ученых в высшие инстанции. Эта деятельность, требовавшая смелости, в конце концов привела к успеху: с 1933 г. Лазарев стал работать во Всесоюзном институте экспериментальной медицины (ВИЭМ).

За исключением первых астрономических заметок, самостоятельных работ еще не было выполнено. По сути дела Ляпунов еще только выбирал свой путь в науке. Но что-то было, по-видимому, чрезвычайно притягательное в этом юноше. В это время Грабарь пишет его портрет. Удивительно, как Кустодиев смог увидеть в двух петроградских молодых людях того П. Л. Капицу и того Н. Н. Семенова, какими они стали десятилетием позже. Чем Грабаря привлек пока еще никому не известный молодой А. А. Ляпунов? Вероятно, многое уже в те годы было сформировано в портретируемых моделях и от благоприятного стечения обстоятельств зависело лишь то, в какой мере смогут реализоваться в будущем уже проступающие черты личности.

## ПУТЬ В МАТЕМАТИКУ

В 1932 г. Ляпунов становится младшим учеником академика Н. Н. Лузина, под чьим руководством, по чьим програм-

<sup>5</sup> Воспоминания о П. П. Лазареве. Личный архив Н. Н. Воронцова.

<sup>6</sup> Там же.

мам проходит его математическое образование. Под его же руководством в 1933—1934 г. Ляпунов получает первые результаты в области дескриптивной теории множеств.

В апреле 1934 г. Ляпунов возвращается к Лазареву в Отдел биофизики ВИЭМа, но уже не как экспериментатор, а как математик. К этому времени относится и начало профессиональных контактов математика Ляпунова с биологами.

В начале 30-х годов Ляпунов сближается со старшими учениками Лузина, известными математиками — Н. К. Бари, М. А. Лаврентьевым, Д. Е. Меньшовым, Л. А. Люстерником, А. Н. Колмогоровым, Л. В. Келдыш, П. С. Новиковым. С ноября 1934 г., после переезда Академии наук в Москву, Ляпунов — младший научный сотрудник Отдела теории функций действительного переменного Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР. В этом институте с перерывами он проработал до начала 50-х годов.

С 1934 г. и до своей кончины Ляпунов работал в области дескриптивной теории множеств. Дескриптивная теория множеств возникла на рубеже XX в. Ее основы были заложены французскими математиками Р. Бэром, А. Борелем и А. Лебегом. Дальнейшее развитие ее обязано работам отечественных и польских математиков, в первую очередь школе Лузина, где это направление с 1916 г. продолжили П. С. Александров, М. Я. Суслин, Н. Н. Лузин, М. А. Лаврентьев, А. Н. Колмогоров, П. С. Новиков, а в Ленинграде — Л. В. Канторович и Е. М. Ливенсон. Теории множеств и теории функций посвящено 62 работы Ляпунова, 12 работ были опубликованы им еще до войны и начата работа над монографией, напечатанной в 1953 г. «Некоторые математические теоремы сродни законам природы, они уже не уходят из поля зрения ученых. К ним постоянно возвращаются, находят все новые и новые применения и доказательства. К числу таких теорем относится теорема А. А. Ляпунова о множестве значений аддитивной вектор-функции множеств (1940). Трудно перечислить все ее приложения: они относятся и к математической статистике, и к математической экономике»<sup>7</sup> — так характеризует работу Ляпунова В. Я. Арсенин. Последние предвоен-



Николай Николаевич Лузин. 1930-е годы.

ные годы были для Ляпунова не простыми. В 1937 г. руководимый Лузиным отдел Математического института АН СССР был закрыт, и Ляпунов был уволен «по сокращению штатов». Не имея постоянной работы, он читал лекции, а с осени 1937 г. до начала войны руководил семинаром по теории множеств при Научно-исследовательском институте математики МГУ. С осени 1938 г. Ляпунов начал работать на договорных началах в «Стекловке» над подготовкой монографии по дескриптивной теории множеств; в 1939 г. защитил кандидатскую диссертацию; и в конце 30-х годов он уже признанный специалист в одной из наиболее абстрактных областей математики.

#### ПЕРВЫЕ КОНТАКТЫ С БИОЛОГАМИ

Ляпунова всегда влекли проблемы приложения математики к различным областям естествознания. Интерес к биологии возник у него еще в период работ у Лазарева. В конце 30-х годов события впервые столкнули Ляпунова с положением в генетике. На рубеже 20-х и 30-х годов

<sup>7</sup> Арсенин В. Я. Предисловие к кн.: Ляпунов А. А. Вопросы теории множеств и теории функций. М., 1979. С. 28.

Д. Д. Ромашов и Н. П. Дубинин, ставившие модельные эксперименты по влиянию изоляции на изменение частот аллелей генов, заинтересовались ролью стохастических процессов в эволюции. Дубинин и Ромашов, бывший школьный друг Колмогорова, неоднократно советовались и обсуждали свои результаты с Колмогоровым. В итоге в 1931—1932 гг. была создана теория генетико-автоматических процессов. Сам Колмогоров в середине 30-х годов, разрабатывая математическую генетику популяций, сделал важный вывод, что наибольшие темпы эволюции характерны для полуизолятов.

В 1934—1935 гг. Т. Д. Лысенко и И. И. Презент развернули кампанию против генетики, приведшую к дискуссиям 1936—1939 гг.<sup>8</sup> Началось не только гонение на генетику, но и наступление на основы опытного дела и агрономии. Заявив, что правило Менделя о независимом расщеплении признаков у гибридов II поколения в соотношении 3:1 неверно, Лысенко поручил своей сотруднице Н. И. Ермолаевой повторить опыты Менделя по расщепле-

нию гороха. Математическая обработка полученных данных, выполненная Колмогоровым, показала, что Ермолаева, сама того не желая, на значительно большем материале, чем у Менделя, полностью подтвердила менделевские закономерности<sup>9</sup>. Тогда Лысенко резко выступил против использования математической статистики в биологии и привлек на свою сторону философа Э. Кольмана, выступившего с резкой статьей против менделизма<sup>10</sup>.

В этой сложной для биологов обстановке в 1938 г. Н. И. Вавилов поручил сотруднику Института генетики АН СССР Ю. Я. Керкису — ученику Ф. Г. Добжанского и Ю. А. Филипченко — вновь поставить опыты на дрозофиле для подтверждения справедливости правила расщепления. На этот раз статистическую обработку данных сделал Ляпунов по поручению Колмогорова. Так возникла первая совместная работа математика Ляпунова с генетиками<sup>11</sup>.

Завершилась эта работа при драматических обстоятельствах. Лысенко сменил Вавилова на посту директора Института генетики и сразу же уволил 17 старших научных сотрудников. Керкис в их число не попал. Но вскоре всесильный директор уволил и Керкиса, засчитав ему посещения Математического института, где обсуждались результаты его опытов, как прогул. Керкис подал в суд. Заслушав показания Колмогорова и Ляпунова, суд обязал Лысенко восстановить Керкиса на работе. Однако это решение выполнено не было; вскоре началась война, и Керкис с 1942 по 1957 г. работал зоотехником и директором совхоза в Таджикистане. Ляпунов и Керкис вновь встретились спустя много лет в новосибирском Академгородке...

---

## НА ФРОНТЕ

---

Накануне войны Ляпунов сдал в печать I том монографии по дескриптивной теории множеств и завершил работу над II томом.



Андрей Николаевич Колмогоров. 1930-е годы.

<sup>8</sup> См.: Спорные вопросы генетики и селекции. М.; Л., 1937.

<sup>9</sup> Ермолаева Н. И. // Яровизация. 1938. № 1—2. С. 51—67; Она же. // Там же. 1939. № 2. С. 79—86; Колмогоров А. Н. // Доклады АН СССР. 1940. Т. 27. № 1. С. 38—42.

<sup>10</sup> Лысенко Т. Д. // Доклады АН СССР. 1940. Т. 28. № 6. С. 834—835; Кольман Э. // Там же. № 9. С. 836—840.

<sup>11</sup> Керкис Ю. Я., Ляпунов А. А. // Доклады АН СССР. 1941. Т. 31. № 1. С. 43—46.



Обе рукописи пропали. 22 июня 1941 г. в Московском педагогическом институте, где преподавал тогда Ляпунов, как и в других вузах, шли экзамены. Отказавшись от брони, доцент Ляпунов уходит на фронт. Вот некоторые строки из его писем той поры<sup>12</sup>. «Сейчас еще невозможно предвидеть ожидающих нас трудностей... Мой долг быть в Армии... Я считаю обязательным быть в первую очередь русским... Если мы — представители русской культуры — будем сзади, это может привести к плохим результатам. Очень часто влияние культурного и сознательного человека в боевой обстановке может играть большую роль...» (22/VI 1941 г.) «Сейчас пока я не считаю положение слишком страшным. Но если угроза Москве станет реальна, то я буду проситься в Армию... Сегодня я записался в дивизию трудящихся, которая создана из москвичей, без отрыва от производства» (1/VII 1941 г.).

В августе — октябре 1941 г. Ляпунов — на строительстве оборонительных рубежей в Тульской области и близ Малоярославца. В ноябре 1941 — феврале 1942 г. он в Казани, куда были эвакуированы учреждения Академии, а с марта 1942 г. — в армии. Все четыре брата Ляпуновы приняли участие в Великой Отечественной войне: ученик В. П. Филатова — Николай (Аскольд) военный врач, погиб в 1945 г. в Германии; Ярослав вернулся инвалидом; младший Андрей пропал без вести. Характерны для взглядов Ляпунова строки из его письма от 18/VIII 1941 г.: «Как дела у N.? Устраивается ли он в летную школу? Если не выходит, передай ему от меня, что ему следует устроиться так, чтобы участвовать в войне. Сейчас не время для заботы о личной карьере и устройствах личных дел. Ты прекрасно знаешь мое отношение к народному образованию, но сейчас я считаю, что мужчинам в ВУЗах не место, если эти ВУЗы не связаны непосредственно с военными делами...»

Во многих письмах 1942 г. чувствуется физическая и практическая непригодность Ляпунова — нередко носил одежду не по размеру, не получал вовремя паек. Многими чертами он как бы повторял образ Пьера Безухова. В пехоте, на маршах и привалах, в госпитале в Сталинграде 30-летний ученый по сути дела впервые столкнулся с народом. Он стремился разделить все тяготы военного быта, избе-



А. А. Ляпунов. Фронт, 1944 г.

гал тех немногих льгот, которыми мог пользоваться как офицер (на марше шел пешком), чуждался «гусарства» офицерской молодежи, но старался отыскивать среди военных близких ему по интересам людей — учителей, геологов. Духовную и физическую закалку Ляпунов прошел в артиллерии, чувствуя там пользу от своих математических знаний. Начав боевой путь на реке Молочной, он участвует в боях за освобождение Крыма, воюет в Прибалтике и в Восточной Пруссии. На фронте Ляпунов вступил в партию, был награжден орденом Красной Звезды и медалями, закончил войну старшим лейтенантом — командиром огневого взвода. Тесная дружба связывала Ляпунова с его непосредственным командиром П. Б. Кацубой — впоследствии секретарем Иркутского обкома КПСС.

И во фронтовых условиях Ляпунов пытается вести научную работу. Вот строки из писем: «...понемногу идет вперед как работа над аддитивными функциями, так и в области стрельбы» (6/VII 1943 г.). «У меня накопился целый ряд мелких результатов, относящихся к артиллерии...» (31/VII 1943 г.). «Я даже приступил к написанию статьи, относящейся к военной

<sup>12</sup> Письма здесь и далее из личного архива А. А. Ляпунова.

топографии. Это все та же теория вероятностей в новом приложении...» (2/1 1944 г.). «Последние дни мой образ жизни граничит с роскошным — неограниченное время занимаюсь математикой... Готовлюсь к организации семинара по артиллерии...» (17/1 1944 г.). «Каждый день приносит мне новые математические результаты. Я задумываю создание даже целого труда по математической артиллерии. Это целый край непечатой работы...» (21/1 1944 г.). «Мы совершили очень быстрый марш и снова вступили в бой. Мне удалось за последнее время очень сильно продвинуть свою математику. Теория ошибок для основных топоработ готова» (29/IV 1944 г.). Нужно, конечно же, представлять безудержный оптимизм, свойственный Ляпунову во всех ситуациях, чтобы понимать, сколь скромны были возможности для занятий наукой у фронтового лейтенанта-артиллериста. Однако в 1951—1952 гг., основываясь на результатах, полученных на фронте, он опубликовал три работы по теории стрельбы и статью «О точности топографических работ». И в марте, и осенью 1944 г. Ляпунов отказывается от предложений об отзыве с фронта и лишь в апреле 1945 г. возвращается в Москву, где работает в Артиллерийской академии им. Ф. Э. Дзержинского.

## ПОСЛЕВОЕННЫЕ ГОДЫ

В Артакадемии вокруг Ляпунова группируются талантливые офицеры, ставшие впоследствии специалистами в области прикладной математики. Многие из них — будущие кибернетики. В 1946 г. Ляпунов поступает в докторантуру Математического института им. В. А. Стеклова АН СССР и под руководством П. С. Новикова продолжает работу по дескриптивной теории множеств, публикует серию работ по  $\delta S$ -операциям и R-множествам.

Вернувшимся с войны «было не просто возвратиться к творческой научной работе после военного перерыва. Чтобы помочь своим ученикам восстановить научную форму, Новиков организовал семинар по теории алгоритмов — это было новое направление, тесно примыкающее к математической логике и связанное с вопросами оснований математики и теории множеств, которое сильно развилось за границей, главным образом в США, в конце 30-х — начале 40-х годов. В Советском

Союзе теория алгоритмов в тот момент была недостаточно известна ...Хотя возникновение теории алгоритмов было в значительной степени подготовлено дескриптивной теорией множеств (некоторые прогнозы в этом направлении высказал еще Лузин), все же в 1945—1946 гг. эта тематика была совершенно новой для московских математиков. Более того, она была связана с несколько иным научным мировоззрением, чем то, которое культивировалось в московской теоретико-множественной школе. На семинаре реферировались основополагающие работы Поста, Черча, Клини, Тьюринга и других... П. С. Новиков очищал основные идеи от формализма, выявляя природу основных конструкций, прослеживал идейные связи теоретико-алгоритмических и теоретико-множественных проблем и ставил большое количество разнообразных и интересных новых задач... Косвенным образом этот семинар сильно содействовал тому, что у многих из его участников позднее возникли интересы к электронным вычислительным машинам и кибернетике и появилась уве-



Петр Сергеевич Новиков. 1950-е годы.

ренность в том, что для развития этих новых областей органически необходим высокий уровень математической культуры»<sup>13</sup>.

В декабре 1949 г., защитив докторскую диссертацию по теории множеств, Ляпунов переходит из Артакадемии в Институт геофизики АН СССР. Здесь за два года (1949—1951) он вместе с кристаллографами выполняет работу по методам кристаллооптических расчетов, проводит (с Е. В. Гливенко) серию исследований по математическим методам геофизики, анализирует повторяемость землетрясений и интерференцию сейсмических колебаний. В послевоенное десятилетие Ляпунов издает более 30 работ, в том числе монографию, по теории множеств и теории функций.

### ЗА КИБЕРНЕТИКУ И ГЕНЕТИКУ

В начале 50-х годов в СССР закладываются основы вычислительной математики. В Киеве под руководством С. А. Лебедева создается первая отечественная ЭВМ — БЭСМ. Ляпунов сразу же понял, что математическая теория управления требует такого широкого анализа управляющих систем, анализа проблем возникновения, передачи, хранения и переработки информации в технике, в живой природе, в экономике, который может дать новый подход, названный Н. Винером кибернетическим. Энциклопедичность Ляпунова крайне подходила для интеграции фактов и теорий из различных областей естествознания, необходимых для создания теоретической кибернетики.

Истоки кибернетических взглядов на процессы управления в природе и в обществе Ляпунов видел, в частности, в выполненных еще в 20-х годах работах создателя «Тектологии» врача и философа А. А. Богданова и в теории «плюс-минус взаимодействия», предложенной в 30-е годы биологом М. М. Завадовским<sup>14</sup>.

Интересы к прикладной математике, теории программирования очень быстро привели Ляпунова к кибернетике, с которой связаны последние 20 лет его жизни.



Юлий Яковлевич Керкис. Новосибирск, 1976 г.

В 1952 г. С. Л. Соболев пригласил Ляпунова профессором в МГУ на созданную кафедру вычислительной математики. В 1953 г. М. В. Келдыш организует в составе «Стекловки» Отделение прикладной математики (ОПМ) — ныне Институт прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, куда переходит Ляпунов и где работает до отъезда в Новосибирск.

В эти годы резко расширяется спектр деятельности Ляпунова. Начав с программирования (в 1953 г. он создает операторный метод программирования)<sup>15</sup>, одновременно организует первые в нашей стране работы по машинному переводу и математической лингвистике<sup>16</sup>, готовится к развертыванию работ по математической биологии. Но главное, что занимало его тогда, — борьба за реабилитацию кибернетики, развитие программирования, теоретической кибернетики и кибернетических исследований в прикладных областях. Предстояло вскоре изменить отношение к ки-

<sup>13</sup> Ляпунов А. А. //Тр. Матем. ин-та АН СССР. 1973. Т. СХХХIII. С. 17—18.

<sup>14</sup> См.: Воронцов Н. Н. М. М. Завадовский и развитие его кибернетических идей // Природа. 1982. № 1. С. 122—123.

<sup>15</sup> См. статью Ершова А. П. в этом номере, а так же Подловченко Р. И. //Пробл. кибернетики. 1977. Вып. 32. С. 45—57.

<sup>16</sup> Кулагина О. С. // Там же. С. 58—70.

бернетике, обеспечить быструю и качественную подготовку специалистов в университетах и ВТУЗах, организовать семинары и издание отечественных и перевод зарубежных работ.

Были силы, которые не хотели отступать от определения: «кибернетика — буржуазная, реакционная лженаука», данного философом В. Колбановским в «Кратком философском словаре» (1954). Других определений еще не было. (Интересно, что тот же Колбановский в 1939 г. выступил в печати с тенденциозным обзором генетической дискуссии, содержащим грубые выпады против Н. И. Вавилова, М. М. Завадовского и других выдающихся биологов. Это был не единственный «критик» той поры и генетики, и кибернетики.) Неудивительно, что Ляпунов, остро понимавший необходимость единства материалистического мировоззрения во всех разделах естествознания, одновременно начал бороться за реабилитацию и кибернетики, и генетики. В этой борьбе он опирался на помощь многих ученых разных специальностей. Большую помощь оказывали

академик А. И. Берг, занимавший пост заместителя Министра обороны СССР, академик В. А. Кириллин и А. С. Монин, работавшие в Отделе науки ЦК КПСС.

В 1954—1958 гг. Ляпунов выступает с лекциями о кибернетике перед самыми разными аудиториями — среди математиков, инженеров, биологов, философов, лингвистов, организует кибернетический семинар в МГУ, добивается издания переводных «Кибернетических сборников» (они выходят под редакцией Ляпунова и его ученика О. Б. Лупанова, ныне член-корреспондента АН СССР), перевода книги Н. Винера и других книг, издания книги И. А. Полетаева «Сигнал», договаривается с Физматгизом об издании «Проблем кибернетики». Ко многим из этих мероприятий Ляпунов активно привлекает своих старших учеников и друзей. Едва вернувшись домой, сделал укол инсулина (он болел сахарным диабетом) и выпив чая, он «садился на телефон» и, расхаживая по узкому коридорчику квартиры с телефонной трубкой, беспрестанно решал срочные дела. Примерно в то же время, до организации первых физматшкол в стране, Ляпунов вместе с А. И. Маркушевичем и Я. С. Дубновым задумывает издание сборников «Математическое просвещение» для учителей, с задачами для математически одаренных школьников. В квартире Ляпунова в Хавско-Шаболовском переулке, д. 18/2, в те годы перебивали многие сотни людей, семинары продолжались и на дому.

А. А. Ляпунов продолжал следить за биологией. Вышедшая на русском языке в 1947 г. книга Э. Шредингера «Что такое жизнь с точки зрения физики» произвела огромное впечатление на него, как и на других представителей точных наук, хотя большинство биологов не сразу оценило ее значение. Здесь Шредингер впервые использует для хромосом термин «наследственный шифровальный код». Идеи Кольцова о хромосоме как гигантской молекуле стимулировали его ученика Н. В. Тимофеева-Ресовского к биофизическому анализу мутационного процесса. На основе опытов Тимофеев-Ресовский со своим учеником М. Дельбрюком и физиком К. Циммером показал, что мутация вызывается молекулярными изменениями гена. Через Шредингера идеи Кольцова вернулись на родину, а Дельбрюк стал учителем Дж. Уотсона — соавтора открытия двойной спирали ДНК.

Осенью 1954 г. Ляпунов организует домашний кружок по преподаванию основ вариационной статистики молодым биоло-



А. А. Ляпунов. На даче. Можжинка, конец 1950-х годов.





На «молекулярной» школе в молодежном лагере на Можайском море в Подмоскowie. Справа налево: А. А. Прокофьева-Бельговская, Н. В. Тимофеев-Ресовский, А. А. Ляпунов, [!]. Июль 1965 г.

гам, на котором бывали М. М. Завадовский, Д. Д. Ромашов, Н. В. Тимофеев-Ресовский, Б. Л. Астауров, А. Р. Жебрак, Н. П. Дубинин, В. В. Сахаров, В. П. Эфромиссон, А. А. Малиновский; на заседаниях

бывало до 60—70 человек. Многие активно работающие ныне биологи получили начальные основы генетической и статистической подготовки на этих семинарах, более десяти из них стали докторами наук. Здесь в декабре 1955 г. был заслушан первый доклад Тимофеева-Ресовского «О влиянии ионизирующих излучений на мутационный процесс». Вскоре на семинаре у П. Л. Капицы состоялось памятное многим заседание, на котором присутствовало около тысячи человек (были радиофицированы фойе, холлы, лестницы), где И. Е. Тамм рассказал о работах Дж. Уотсона и Ф. Крика, а Тимофеев-Ресовский — о молекулярных основах мутационного процесса. В декабре 1955 г. Н. П. Дубинин в стенах Московского общества испытателей при-

роды организует «ликбез» — семинар по генетике, сыгравший большую роль в развитии биологии. На страницах «Правды» ботаник С. С. Станков выступает против интерпретации опытов ближайшего сотрудника Лысенко — В. С. Дмитриева о «порождении видов». Однако ключевые позиции оставались еще в руках противников генетики.

Большую роль в восстановлении отечественной биологии сыграла поддержка представителей точных наук. В это время 24 физика, среди которых было 13 академиков и 8 членов-корреспондентов АН СССР, обратились с кратким письмом в ЦК КПСС о положении в генетике. Ляпунов совместно с Соболевым готовят письмо от математиков. Это письмо было подписано 15 крупнейшими математиками страны. Обращения ученых, дискуссии в печати сыграли свою роль. В 1956—1957 гг. были созданы первые генетические коллективы в стране. В эти и последующие годы Ляпунов играл очень большую роль

в осуществлении связей между биологами, математиками и физиками. Он постоянно держал в курсе биологических событий П. Л. Капицу, М. А. Лаврентьева, С. Л. Соболева, И. Е. Тамма.

Естественно, что деятельность Ляпунова на биологическом фронте вызывала значительное сопротивление со стороны единомышленников Лысенко. В 1956 г. только в Ленинграде благодаря усилиям А. Д. Александрова и ленинградских биологов было восстановлено преподавание генетики. В этой ситуации особую роль в подготовке молодых генетиков, биофизиков, цитологов, молекулярных биологов сыграли знаменитые семинары, организованные Тимофеевым-Ресовским на летней биостанции в Миассово с лета 1956 г. Через эти семинары прошли многие десятки ученых и студентов. Активнейшим лектором и учеником этих школ с 1956 по 1961 г. был Ляпунов, который ежегодно проводил свой отпуск в Миассово. Здесь им были задуманы работы по определению основных понятий генетики и их логическому анализу, об управляющих системах на биогеоэкологическом уровне<sup>17</sup>.

События в кибернетике развивались быстро и благоприятно. В 1955 г. в МГУ на мехмате открылся Кибернетический семинар, сыгравший большую роль в развитии кибернетики. В том же году в «Вопросах философии» выходит статья С. Л. Соболева, А. И. Китова и А. А. Ляпунова «Основные черты кибернетики». Эта публикация имела принципиальное значение, она снимала с кибернетики ярлык лженауки и открывала возможности для творческой работы в центре и на периферии.

Годы борьбы за кибернетику прошли, и эта борьба начала давать позитивные результаты еще в конце 50-х годов: защищаются первые диссертации, с 1958 г. начинают выходить «Проблемы кибернетики» (под редакцией Ляпунова вышло 29 томов этого издания), «Кибернетические сборники», «Математическое просвещение», при Президиуме АН СССР создается Совет по кибернетике под руководством А. И. Берга (Ляпунов становится его заместителем по Совету), расширяется география исследований по прикладной математике.

«За короткий срок отношение к кибернетике прошло следующие фазы: 1) категорическое отрицание; 2) констатация существования; 3) признание полезности, отсутствие задач для математиков; 4) признание некоторой математической проблематики; 5) полное признание математической проблематики кибернетики»<sup>18</sup>.

Однако в биологии в 1959 г. ситуация ухудшается. В. Н. Сукачев отстраняется от руководства «Ботаническим журналом», В. А. Энгельгардт — от руководства Отделением биологических наук АН СССР, прекращается публикация генетических и общепрограммических статей дискуссионного характера и в других журналах. Единственным изданием остаются «Проблемы кибернетики», где печатаются работы по генетике и теории эволюции: исследования И. И. Шмальгаузена, Н. В. Тимофеева-Ресовского, В. П. Эфроимсона, Л. В. Крушинского, А. А. Малиновского и других биологов. Против публикаций биологов в «Проблемах кибернетики» протестовали лысенковцы, но эти атаки были отбиты Ляпуновым при активной помощи Берга, Лаврентьева, Соболева, Колмогорова и других.

## В НОВОСИБИРСКЕ

Идея ускоренного развития ресурсов Сибири давно волновала Ляпунова. 18 августа 1941 г. он писал жене: «Воспитай в детях чувство любви к родине и ко всему русскому... Вы должны воспитать то поколение, которое будет страну восстанавливать... Задача их поколения — это освоение Алтая и Сибири... Очень важно сильно развернуть промышленность центральной Сибири и пробудить к жизни все ее природные возможности. В этой мысли ты должна растить детей». Отсюда понятен энтузиазм, с которым Ляпунов встретил известие о создании Сибирского отделения. Он хорошо знал инициаторов создания СОАН — Лаврентьева и Соболева. Ляпунов высоко ценил не только научные, но и организационные способности Лаврентьева и хотел сразу же в 1957 г. переехать в Академгородок. Но переезд состоялся только в 1961 г.

Обстановка первопроходчества, энтузиазма, стремления к новому, отсутствие бюрократических надстроек, простота междисциплинарных и междометственных связей, понимание государственной важности решаемых задач и внедрение их

<sup>17</sup> Ляпунов А. А., Маленков А. Г. // Пробл. кибернетики. 1962. Вып. 8. С. 293—308; Ляпунов А. А., Стебаев И. В. // Там же. 1964. Вып. 11. С. 147—151.

<sup>18</sup> Ляпунов А. А. // Тр. IV Всес. матем. съезда. 1964. Т. 1. С. 90—91.

в жизнь — вот что было характерно для Академгородка и всей системы Сибирского отделения в первые определяющие судьбу науки в Сибири годы. Такой настрой целиком захватывает Ляпунова: он организует сначала лабораторию, а затем и отдел кибернетики в Институте математики СО АН СССР, с 1962 г. возглавляет кафедру математического анализа и теории вероятностей в Новосибирском государственном университете, а затем кафедру теоретической кибернетики, окунается в педагогическую работу на всех уровнях.

Тезис Лаврентьева «Нет ученых без учеников» как никому близок Ляпунову. Совместно с М. А. Лаврентьевым, Г. И. Будкером, В. В. Воеводским он становится инициатором физико-математических олимпиад, которые помогали находить одаренных ребят, он принимает активное участие в организации сначала летней, а затем и постоянной физматшколы. Вокруг Ляпунова собираются энтузиасты новых методов преподавания — Ю. И. Соколовский, С. Н. Литерат, А. М. Берс. Дело было новое. Многие деятели просвещения смотрели на это начинание косо, раздавались упреки в элитарности. Не было средств, не было юридических прецедентов.

Первая школа-интернат была набрана летом 1963 г.: дети учились, жили, ели за счет академического, а не минпросовского бюджета; только осенью были подписаны необходимые документы, представленные Лаврентьевым. Первым руководителем Совета ФМШ стал Ляпунов. Он следил не только за математическими курсами, но особое внимание уделял широте естественнонаучного и общекультурного образования школьников. К преподаванию в ФМШ были привлечены лучшие силы Академгородка. Сам Ляпунов не только читал лекции по математике, но и вел кружок по древнерусскому искусству.

Сейчас, когда поставлены задачи математизации и компьютеризации образования, уместно вспомнить, что первые идеи были реализованы в Академгородке в 60—70-х годах. Большой вклад в компьютеризацию и математизацию школьного образования наряду с Лаврентьевым и Ляпуновым внесли А. Н. Колмогоров, Г. И. Марчук, А. П. Ершов. В 1968 г. по предложению ООН Ляпунов подготовил доклад о педагогических экспериментах в Академгородке. В 1972 г. он начал вести занятия по программированию в 8-м



А. А. Ляпунов. Новосибирск, Академгородок, физматшкола, конец 60-х годов.

классе 130-й школы и читать курс математики десятиклассникам той же школы.

В университете, наряду с чтением курсов по теоретической кибернетике, программированию и теории ЭВМ, теории множеств, математическому анализу, машинному переводу, Ляпунов участвует в организации новой дисциплины — математической лингвистики. Он поддерживает работы Л. В. Канторовича и А. Г. Аганбегяна по математизации экономики, которая в ту пору встречала немалое сопротивление со стороны экономистов старой школы. При его активном участии прошла в 1962 г. Всесоюзная конференция по применению математических методов в экономике и планировании. В 1964 г. Ляпунова избирают членом-корреспондентом АН СССР. В Новосибирске он организует серию «Кибернетика в монографиях», из четырех томов серии два посвящены математической лингвистике и машинному переводу, а два — биологии, среди них — избранный по инициативе Ляпунова том избранных кибернетических работ И. И. Шмальгаузена.

В последние годы Ляпунов большое внимание уделяет математической биологии. Так, в 1968 г. он организует три

спецсеминара: по общим вопросам математической биологии, по теории популяций и по эндокринным механизмам регуляции. Логический анализ основных понятий генетики, выполненный Ляпуновым и А. Г. Маленковым (1962), был затем существенно дополнен В. А. Ратнером (1965). В Новосибирске вместе с И. А. Полетаевым и Ю. И. Гильдерманом Ляпунов занимается математической биологией, совместно с московскими математиками О. С. Кулагиной и Т. И. Булгаковой теорией эволюции и биогеоценологии. В этих работах, в частности, на машинных экспериментах еще в 1966 г. была показана принципиальная возможность видообразования на одной территории.

Все больше Ляпунова занимают процессы регуляции на биогеоценологическом уровне. Он внимательно изучает работы Г. Г. Винберга по продуктивности пресных вод, знакомится с работами Е. М. Лавренко, Л. Е. Родина, Н. И. Базилевич по продуктивности наземных сообществ. В последние годы он вместе с океанологом М. Е. Виноградовым и биофизиком И. И. Гительзоном начинает разрабатывать модель продуктивности, миграции вещества и энергии в Мировом океане, которая проверяется на одном из рейсов «Витязя». В 1969 г. Ляпунов с К. К. Вотинцевым и Г. И. Галазием обращаются к моделированию байкальских ценозов и прогнозам влияния промышленных стоков на процессы биологического самоочищения Байкала, исследуют популяционные процессы. В многочисленных выступлениях на семинарах, на школах в Можайске и в Можайке (под Москвой) он резко критикует детерминистические модели популяционной генетики, подчеркивая стохастический характер эволюции, следующий из теории марковских процессов, что говорит об его истинно дарвиновском мышлении.

Среди общебиологических и философских вопросов, волновавших Ляпунова, один из главных — определение жизни с позиций устойчивости и управления, а также иерархичность управляющих систем в живой природе<sup>19</sup>. Он пытался применить кибернетический подход к построению макросистемы органического мира, предлагая выделять царства по наличию или отсутствию клеточных систем, типы животных — по сложности нервной си-



А. А. Ляпунов. Новосибирск, начало 60-х годов.

стемы, классы — по следующему уровню управления — эндокринной системе<sup>20</sup>.

Вместе с физиологами Ляпунов разрабатывал вопросы моделирования эндокринной системы, кроветворения, кровообращения. В 1971—1974 гг. под его редакцией вышло пять сборников работ по математической биологии.

Постоянно растущий интерес Ляпунова ко всем новым областям, удивительная чуткость ко всему новому, совсем не обычная для 60-летнего человека, — все это нередко вступало в конфликт с реальной ситуацией, не все укладывалось в прокрустово ложе раз навсегда существующих институтов, отделов. Когда с годами ФМШ стала все больше приобретать характер улучшенной школы, а не организации принципиально нового типа, то Лаврентьев и Ляпунов особое внимание стали уделять Клубу юных техников (КЮТ) — организации, еще не испытывавшей давления инструкций Министерства просвещения... Хотя вопросы математической биологии и методологии естествознания были главными в последние годы,

<sup>19</sup> Ляпунов А. А. Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов. М., 1962.

<sup>20</sup> Ляпунов А. А. // Пробл. кибернетики. 1973. Вып. 27. С. 7—18.



он не бросал и общую кибернетику, математическую лингвистику, возвращался к дескриптивной теории множеств, теории программирования.

Если своими учителями в математике Ляпунов считал Лузина и Новикова, то широкий интерес к приложениям математики, к истории науки был воспринят от «дяди Алеши» — А. Н. Крылова — и от Лазарева. Из ученых старшего поколения Ляпунов был, как мне кажется, ближе всего к В. И. Вернадскому. Ляпунов высоко ценил не только энциклопедичность Вернадского, но и его стремление к философскому осмыслению естественнонаучных феноменов. Ляпунов часто говорил о необходимости полной публикации философских трудов Вернадского. У читателя может создаться впечатление, что Ляпунов все мог, всем был одарен. Но это не совсем так. Он почти не бывал на концертах, в театре, в кино, был лишен музыкального слуха, терпеть не мог радио и телевизор, за всю жизнь так и не научился отдыхать как все. В традиционном отпуске он был последний раз в 1956 г., во все последующие годы отпуск проходил в летних семинарах, школах, лекциях. Доверчивый и простодушный, он был лишен чувства юмора.

Ляпунов был франкофилом. У него соединилось традиционное для русских математиков уважение к заслугам французской математической школы (ее влияние в свое время испытал и его учитель Лузин) с блестящим знанием французского языка и культуры. Никогда не выезжавший за пределы страны, он блистал своим знанием истории, искусства, культуры Франции. Не было французской делегации в Академгородке — от молодых ученых до Ш. де Голля и В. Жискара д'Эстена, с которой бы не встречался Ляпунов. Его большие заслуги в развитии советско-французских отношений были отмечены Медалью французского сената.

Многолетний сахарный диабет, болезнь сердца — все это не могло заставить Алексея Андреевича снизить объем своих нагрузок. Перечислить круг знакомых и друзей, его учеников невозможно. Его дом был открыт для всех — он знал очень многих и умел держать в поле зрения очень широкий круг людей и их интересы. С годами страсть к общению несколько не утихла.

Алексей Андреевич Ляпунов скоропостижно скончался 23 июня 1973 г. во время командировки в Москву. Он похоро-

нен на Введенском кладбище, где покоится прах его учителя Лузина.

Ляпунов оставил после себя работы в самых разнообразных областях науки. Их спектр настолько широк, что я был вынужден говорить о том, что делалось, а не о том, что было сделано. Роль Ляпунова как ученого неотделима от его деятельности как педагога и организатора науки. Он не приписывал своей фамилии работам, в которых не был непосредственным участником; более того, стремился отойти в тень тогда и там, когда всем было ясно, кто инициатор постановки задачи, кто указал методы ее решения и кто диктовал статью. Обладая блестящим ассоциативным мышлением в сочетании с логикой математика, даром педагога и широчайшей культурой, умел наводить мосты между науками, зажигать людей, инициировать новые направления. В послевоенные годы стали часто путать понятия «организатора науки» и «администратора в науке». Ляпунов был плохим администратором, но выдающимся организатором. Среди его учеников — члены Академии наук СССР и республиканских академий. Он обладал высокой ответственностью в большом, смелостью борца за правду, государственным размахом, хотя далеко не всегда представлял себе конкретные формы реализации того или иного предложения. Нетерпимый к невежеству, был терпелив и снисходителен к тем, кто хотел овладеть наукой. Он создал в Москве, Новосибирске и других городах крупные научные коллективы, вырастил несколько поколений учеников. Многие сегодняшние достижения в области прикладной математики и информатики, математической биологии основаны на том фундаменте, который был заложен Алексеем Андреевичем Ляпуновым.

Космические исследования

## Крупнейшая магнитная буря

С 4 по 7 февраля 1986 г. на Солнце происходили мощные вспышки. Вслед за этим 8—9 февраля на Земле прошла сильная магнитная буря, одна из наиболее интенсивных за последние 40 лет. Эти события привлекли к себе внимание геофизиков, геомагнитологов и специалистов в области аэронавтики.

Данные измерений, проведенных как наземной сетью станций и обсерваторий, так и с помощью космических аппаратов, позволили Центру исследования окружающей среды при Национальном управлении по изучению океана и атмосферы США (NOAA) прогнозировать ход этих процессов и своевременно объявить геофизическую «тревогу», предписывающую максимально увеличить различные физические наблюдения.

Направлявшийся к комете Галлея космический аппарат «Джотто» (Европейское космическое агентство) произвел 8 февраля измерения состояния солнечного ветра на расстоянии 0,72 а. е. от нашей планеты. За несколько суток до этого на длительное время «зашкалил» датчик рентгеновского излучения, находившийся на борту космического аппарата «MARECS-1» (Европейское космическое агентство), который был выведен на полярную орбиту вокруг Земли.

Два геостационарных спутника, расположенных «по обе стороны» от «MARECS-1», в тот же период зарегистрировали резкое возрастание плотности магнитосферной плазмы. 8 февраля нарушилась работа ряда спутников связи, находящихся на геостационарных орбитах. Усилившееся торможение под воздействием окружающей внешней среды су-

щественно повлияло на орбитальное движение некоторых навигационных спутников.

Группа, возглавляемая М. Драйером (М. Dryer; Лаборатория изучения космической среды NOAA, США), используя разработанную ими модель межпланетной среды, с достаточной точностью сумела определить время прибытия в район Земли ударных волн, вызванных вспышками на Солнце.

Среди последствий этого мощного явления были несколько крупных нарушений радиосвязи, аварии на дальних линиях энергопередачи, повреждение телефонной и микроволновой сетей.

Записи приборов на обсерватории Колледж (штат Аляска, США) свидетельствуют о беспрецедентно крупных для данной геомагнитной широты вариациях магнитного поля Земли в этот период. Резкие изменения магнитного поля наблюдались и в таких удаленных друг от друга районах, как Голулулу (штат Гавайи) и Фредериксберг (штат Вирджиния).

Сбор данных об этих глобальных, охвативших всю Землю явлениях, их обработка и осмысление продолжаются.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. No 25. P. 537 (США).

Астрофизика

## Можно ли наблюдать облако Оорта?

Как показали расчеты Л. С. Марочника и Г. Б. Шоломицкого (Институт космических исследований АН СССР), в планируемых в ближайшем будущем космических экспериментах проблема непосредственного обнаружения излучения от внутренней плотной части облака Оорта может быть решена.

В 1950 г. голландский астроном Я. Оорт, анализируя распределение больших полуосей орбит новых комет, пришел к выводу, что границы Солнечной системы простираются не до 39,5 а. е. (т. е. до орбиты последней из планет — Плутона), как думали раньше, а значительно дальше — приблизительно до половины расстояния до ближайших звезд, т. е. расстояний порядка 1 пк (1 пк  $\approx 2 \cdot 10^5$  а. е.). Как показал Оорт, на дальних границах Солнечной системы должно располагаться гигантское облако комет, насчитывающее  $10^{11}$ — $10^{12}$  небесных тел. Некоторые из них под влиянием случайных гравитационных «толчков» близко проходящих звезд или не слишком удаленных гигантских галактических облаков молекулярного водорода покидают этот кометный «резервуар» и выбрасываются либо в галактическое пространство, либо внутрь Солнечной системы. Последних земные наблюдатели и фиксируют как новые (т. е. впервые появившиеся) кометы.

Открытое «на кончике пера» облако Оорта до сих пор остается объектом в каком-то смысле гипотетическим, так как обнаруживается не непосредственными наблюдениями, а лишь по косвенным данным — приходу новых комет. Дело в том, что кометные ядра могут светить лишь отраженным светом, переизлучая падающее на них солнечное излучение в субмиллиметровом и (или) длинноволновом инфракрасном диапазоне. Но из-за крайней разреженности облака Оорта (в объеме 1 а. е.<sup>3</sup> находится примерно 1 кометное ядро) любые попытки зарегистрировать идущее от него излучение были заранее обречены.

В последнее время появились основания считать, что кометное облако, простирающееся, по предсказанию Оорта, от 20 до 200 тыс. а. е., пред-

ставляет собой лишь слабое гало, окружающее в 100 или даже 1000 раз более плотный, расположенный не дальше, чем в 20 тыс. а. е., кометный резервуар<sup>1</sup>. Попытка наблюдать эту плотную внутреннюю часть облака Оорта уже не представляется столь безнадежной; подобная задача может быть решена с помощью современных субмиллиметровых и инфракрасных космических телескопов<sup>2</sup>.

Помогло еще одно обстоятельство: американский астрофизик Дж. Бакол с сотрудниками, в течение ряда лет искавший в околосолнечной окрестности Галактики широкие пары двойных звезд, обнаружил довольно много таких объектов с расстояниями между компонентами около 0,1 пк. Появились предположения, что Солнце также может быть компонентом широкой пары с маломассивным (и, следовательно, трудно обнаружимым) компаньоном, получившим затем в научной литературе название Немезиды. По предложению И. С. Шкловского Л. С. Марочник и Г. Б. Шоломицкий стали исследовать возможность обнаружения облака Оорта непосредственно по его излучению в субмиллиметровой и длинноволновой инфракрасной областях спектра. Была рассчитана серия моделей как в предположении, что Солнце — одиночная звезда, так и в предположении, что оно входит в состав широкой двойной системы. В последнем случае инфракрасное и (или) субмиллиметровое излучение от внутренней плотной части облака Оорта должно обладать ясно выраженной анизотропией, по которой и можно судить о наличии или отсутствии у Солнца компаньона.

Если параметры кометного резервуара, окружающего Солнечную систему, близки к так называемой «оптимистической модели», в которой концентрация кометных ядер п

довольно быстро растет с уменьшением расстояния до Солнца  $R$  ( $n \sim 1/R^{4.5}$ ), и внутренняя граница резервуара расположена не далее 200 а. е. от Солнца, то с помощью инфракрасных телескопов, вынесенных в космос, можно будет непосредственно наблюдать облако Оорта.

Астрономический журнал. 1986. Т. 63. № 5. С. 1040—1050; № 6. С. 1189—1203.

#### Планетология

### «Дождевые полосы» на Сатурне

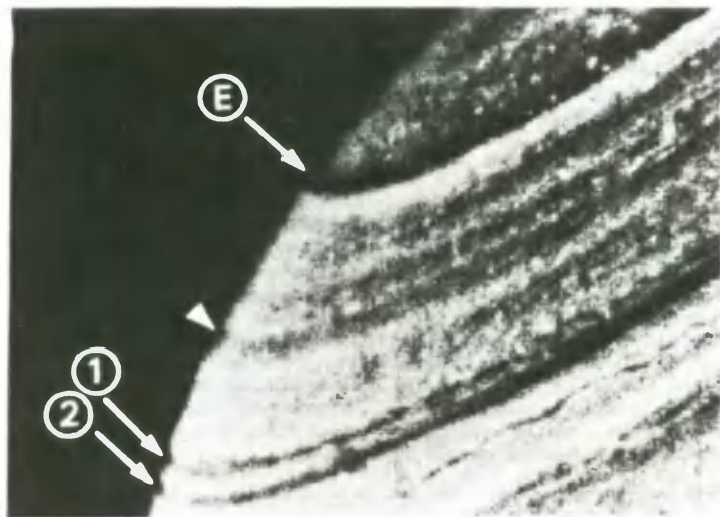
Проведенные в последнее время наблюдения показали, что в атмосфере Сатурна существуют параллельные экватору полосы, аналогичные тем, что давно известны на Юпитере, хотя и менее ярко выраженные. Обнаружить их в ходе наземных исследований, а также при фотографировании с автомати-

ческих межпланетных станций было очень сложно из-за своеобразного «смога» в более высоких областях атмосферы Сатурна.

Происхождение подобных полос объясняет гипотеза, выдвинутая астрофизиком Дж. Э. П. Коннерни (J. E. P. Connerney; Годдардовский центр космических полетов НАСА, Гринбелт, штат Мэриленд, США). Коннерни связывает их с магнитным полем Сатурна, силовые линии которого пронизывают и кольца планеты. Согласно распространенному среди специалистов мнению, кольца Сатурна состоят из ледяных частиц, имеющих в значительной степени водяное происхождение. При столкновении этих частиц между собой или с метеорными телами от них откалываются обломки, нередко измеряемые лишь миллионными долями сантиметра, которые приобретают при этом электрический заряд. Те из зарядившихся частиц, которые обладают достаточно малой массой, захватываются магнитным полем планеты и начинают двигаться вдоль него, опускаясь в атмосферу Сатурна.

Немаловажно, что ось магнитного поля планеты почти точно совпадает с ее осью вращения. Это означает, что каждая магнитная силовая линия в Северном полушарии Сатурна «опирается» на точку с такими же координатами, что и в Южном полушарии. В резуль-

«Водяные» полосы в атмосфере Сатурна. 1 и 2 — области, где в кольце В наблюдается ярко выраженное изменение оптической толщины. Полоса Е — область, где силовые линии магнитного поля соединяют поверхность планеты с внутренней частью кольца А.



<sup>1</sup> Hills J. G. //Astron. J. 1981. Vol. 86. P. 1730.

<sup>2</sup> Bailey M. E. //Monthly Notices of RAS. 1983. Vol. 204. P. 47.

тате те силовые линии, которые «по дороге» из одного полушария в другое проходят сквозь определенную радиальную область в кольцах планеты, «втыкаются» в атмосферу Сатурна в пределах одной и той же широтной полосы как в Северном, так и в Южном полушариях. Таким образом, обломки льда концентрируются в специфические полосы, являющиеся как бы проекциями колец, причем сильно уменьшенными из-за резкого сближения магнитных силовых линий на подступах к планете.

Далее влага опускается в стратосферу, используя частицы смога в качестве ядер конденсации. Частицы слипаются, приобретают большую массу и, двигаясь все ниже, очищают соответствующий район атмосферы от дымки.

Наиболее подходящими для протекания подобных процессов, по-видимому, являются те два района кольца В, где заметно меняется его оптическая толщина (т. е. плотность частиц). Другим возможным районом служит область, где магнитная силовая линия соединяет планету с кольцом Е и спутником Энцелад.

Судя по данным измерений, выполненных с борта «Вояджера-2», полосы в атмосфере Сатурна обладают более высокой температурой, чем окружающая среда. Модель Коннерни может объяснить и этот факт отсутствием здесь дымки. Низкое содержание электронов в ионосфере данной области также может быть связано с тем, что сюда поступают загрязненные ледяные частицы.

Geophysical Research Letters. 1986. Vol. 13. № 8. P. 7; Science News. 1986. Vol. 130. № 6. P. 84 (США).

Физика

## Время жизни нейтрона

Ю. Ю. Косвинцев, В. И. Морозов и Г. И. Терехов сообщили об измерении времени жизни нейтрона методом хранения ультрахолодных ней-

тронов в охлажденном до 80 К герметичном сосуде из алюминия. Время жизни нейтрона составило  $903 \pm 13$  с, что по точности находится на уровне лучших результатов, полученных более традиционными методами. Так, в таблицах элементарных частиц сейчас приводится значение  $898 \pm 16$  с.

По мнению авторов, возможно дальнейшее увеличение точности измерений, если для хранения ультрахолодных нейтронов использовать особо «чистые» сосуды. Ранее эта же группа сообщила, что в сосудах, на стенках которых наморожен слой тяжелого льда  $D_2O$ , время хранения ультрахолодных нейтронов почти совпадает с их временем жизни; это открывает новые возможности для ряда фундаментальных экспериментов. В настоящее время с помощью таких сосудов продолжается измерение времени жизни нейтрона.

Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 44. Вып. 10. С. 444—446.

Физика

## Обнаружен новый мезон

В совместном эксперименте Института физики высоких энергий (ИФВЭ, Протвино) и Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) зарегистрирована новая частица — мезон с массой  $1755 \pm 8$  МэВ. Авторы открытия делают вывод, что в составе нового мезона присутствует значительный глюонный компонент.

Обычные мезоны состоят из кварка и антикварка, связанных между собой сильным «цветовым» взаимодействием, которое переносится глюонами. Согласно квантовой хромодинамике, глюоны сами являются цветными объектами и могут непосредственно взаимодействовать друг с другом. Поэтому должны существовать связанные состояния глюонов — глоболы. Предполагается, что

простейшие глоболы состоят из двух или трех глюонов. Кроме «чистых» глоболов, возможны и более сложные образования, построенные из глюонов и кварков.

Несколько лет назад эта же группа обнаружила мезон  $G(1590)$ , допускающий глоболовую интерпретацию<sup>1</sup>. Новая частица  $X(1750)$  наблюдалась в эксперименте, выполненном по той же методике с помощью многофотонного годокопического спектрометра на пучке л-мезонов ускорителя ИФВЭ.

Следует отметить, что к настоящему времени известен целый ряд частиц — кандидатов в глоболы. Они наблюдались различными группами исследователей, и не всегда даже была уверенность, идет ли речь об одинаковых или разных частицах. В целом, ситуация с экзотическими состояниями кварков и глюонов продолжает оставаться запутанной.

Письма в ЖЭТФ. 1986. Т. 44. Вып. 10. С. 441—444.

Физика

## Открытие высокотемпературных сверхпроводников

За последние пятнадцать лет не было достигнуто ощутимого прогресса в повышении температуры перехода в сверхпроводящее состояние ( $T_c$ ). Начало даже складываться убеждение, что вряд ли удастся заметно превзойти рекорд — критическую температуру 23 К в соединении  $Nb_3Ge$ . И сейчас для использования сверхпроводящих устройств приходится их охлаждать остродефицитным жидким гелием (температура кипения которого 4,2 К). Низ-

<sup>1</sup> Кандидат в глоболы // Природа. 1984. № 4. С. 106; Герштейн С. С., Логунов А. А. Единство фундаментальных сил природы и поиски глоболов — частиц из ядерного клея // Там же. 1985. № 1. С. 6—19.



кие  $T_c$  существующих сверхпроводников сдерживают широко применение такого замечательного явления, как сверхпроводимость.

Поэтому впечатление разорвавшейся бомбы произвели две недавно появившиеся статьи (опубликованные меньше, чем через месяц после поступления в редакцию журнала, т. е. вчетверо быстрее обычного), в которых сообщалось о создании сверхпроводников с  $T_c = 30\text{—}40$  К.

В первой американские физики из университета г. Хьюстона писали о наблюдении высокотемпературной сверхпроводимости в металлооксидных соединениях (керамиках)  $La_{1-x}Ba_xCuO_{3-y}$  и  $La_{1-x}Ba_xCuO_{4-y}$  с  $x = 0,2$  и  $0,15$  соответственно (величина  $y$  не определена)<sup>1</sup>. Сопротивление образцов начинало падать при температуре 36 К и достигало нуля при 20 К. С ростом тока, пропускаемого через образец, сверхпроводящее состояние разрушалось; подавлялось оно и магнитным полем. Широкий температурный интервал падения сопротивления авторы связывают с неоднородностью образцов — разной величиной  $T_c$  в различных областях.

Характерная черта сверхпроводимости — диамагнетизм, т. е. выталкивание магнитного поля. Измерения подтвердили, что падение сопротивления в исследованных образцах сопровождалось появлением диамагнетизма. Весь комплекс проведенных измерений свидетельствует о возникновении в образцах сверхпроводящих областей с высокой критической температурой. Внешнее давление увеличивало  $T_c$ , которая при давлении 13 кбар достигла 40 К; при большем давлении образец разрушался.

Во второй статье сотрудники фирмы «Белл» (Нью-Джерси, США) сообщили о сверхпроводимости при 36 К в  $La_{1,8}Sr_{0,2}CuO_4$  — соединении

родственного типа<sup>2</sup>. В нем сверхпроводящий переход выражен весьма ярко: с понижением температуры сопротивление быстро падало до нуля (при 34 К), ширина перехода составила примерно 3 К, а  $T_c = 36$  К соответствует середине перехода. Диамагнетизм резко растет ниже 36 К и достигает величины 60—70 % от идеального (соответствующего сверхпроводнику, полностью выталкивающему магнитное поле). Учитывая пористость керамических образцов, можно сделать вывод об объемном характере наблюдавшейся сверхпроводимости.

Интерес к металлооксидным соединениям данного типа был вызван работой швейцарских физиков Дж. Беднорза и К. Мюллера (Исследовательская лаборатория фирмы IBM, Цюрих), которые первыми наблюдали в твердом растворе  $Ba_xLa_{5-x}Cu_5O_{5(3-y)}$  ( $x = 0,75$ ,  $y > 0$ ) резкое падение сопротивления при температуре около 30 К и предположили, что в этом соединении возникает неоднородная сверхпроводимость<sup>3</sup>. В последующих измерениях<sup>1</sup> они обнаружили диамагнетизм и убедительно подтвердили факт появления сверхпроводимости с  $T_c \approx 30$  К.

Открытие высокотемпературных сверхпроводников позволяет использовать для охлаждения уже не только жидкий гелий, но и водород или неон. Одно это имеет огромное значение для науки и техники. Даже если эти сверхпроводники не смогут пропускать большие токи, их можно будет широко использовать в многочисленных криоэлектронных приборах, где токи невелики. (Сегодня предпринимаются попытки создать ЭВМ нового типа на таких приборах). Синтез новых металлооксидных соединений позволяет надеяться на получение еще более перспек-

тивных высокотемпературных сверхпроводников. Эти работы уже полным ходом ведутся в лабораториях многих стран. По предварительным данным, в соединениях  $La_{1-x}Pb_xCuO_4$  критическая температура достигает 70 К, и в печати появились сообщения о керамиках с  $T_c$  около 100 К.

Природа высокотемпературной сверхпроводимости в металлооксидах пока неясна; возможно, она отличается от обычной, обусловленной взаимодействием электронов с кристаллической решеткой. Удивительна и весьма малая концентрация электронов проводимости в сверхпроводящих металлооксидах<sup>5</sup>.

**А. И. Буздин,**  
кандидат  
физико-математических наук

Москва

Физика

## Ван-дер-ваальсовы силы между нагретыми телами

Как известно, ван-дер-ваальсовы силы — это силы взаимодействия между телами, обусловленные следующим физическим явлением: флуктуации заряда в каком-либо теле индуцируют коррелированные флуктуации заряда в другом теле, удаленном от первого на некоторое расстояние; взаимодействие этих флуктуаций друг с другом приводит к взаимному притяжению тел.

Ван-дер-ваальсово взаимодействие двух идеальных металлов при абсолютном нуле температуры известно как эффект Казимира. Если же температура металлов отлична от нуля, возникают дополнительные поправки в силу Казимира.

<sup>2</sup> Cava R. J., Dover R. B. van, Batlogg B., Rietman E. A. // Ibid. P. 408—410.

<sup>3</sup> Bednorz J. G., Müller K. A. // Z. Phys. B. 1986. Bd. 64. S. 189—193.

<sup>1</sup> Bednorz J. G., Takashige M., Müller K. A. // Europhys. Lett. 1987. Vol. 3. № 3. P. 379—385.

<sup>5</sup> Подробнее о создании высокотемпературных сверхпроводников можно будет прочесть: Гинзбург В. Л. Высокотемпературная сверхпроводимость (мечта становится реальностью) // Природа. 1987. № 7.

<sup>1</sup> Chu C. W., Hor P. H., Meng R. L., Gao L., Huang Z. J., Wang Y. Q. // Phys. Rev. Lett. 1987. Vol. 58. № 4. P. 405—407.

Причем в равновесном состоянии, когда температуры металлов одинаковы, взаимодействие между ними носит универсальный характер, т. е. не зависит от свойств металла.

Как показал В. Г. Полевой, в случае, когда температуры металлов различны, взаимодействие между ними качественного отличается от равновесного случая — появляется зависимость от свойств металла. Сила разбивается как бы на две части: первая соответствует силе Ван-дер-Ваальса между металлами при температуре  $T_1$ , а вторая — при температуре  $T_2$ , причем обе силы входят в выражение с разными весовыми множителями, пропорциональными отношению поверхностного сопротивления металла при температурах  $T_1$  и  $T_2$  к суммарному поверхностному сопротивлению металлов.

Радиофизика. 1986. Т. 29. № 10. С. 1244—1252.

#### Физика

### Снова магнитный монополю!

Согласно современной теории, на ранних стадиях эволюции Вселенной могли возникнуть массивные частицы, отличающиеся по своим свойствам от всех известных сейчас элементарных частиц. Речь идет о магнитных монополях — частицах, обладающих «магнитным зарядом». Они не имеют электрического заряда, но несут магнитный заряд, так что их магнитное поле связано как бы с одиночным магнитным полюсом, подобно тому как электрическое поле связано с электрическим зарядом. Отсюда и название «монополю»<sup>1</sup>.

Понятие о магнитных монополях было введено П. Дираком более 50 лет назад. Однако до сих пор экспериментально они не наблюдались. В последние годы интерес к ним оживился в связи с тем, например, что теория Великого объединения предсказывает возможность появления монополей с массой  $10^{16}$  ГэВ в момент, когда во Вселенной еще господствовала очень высокая температура. Однако нет ясности в вопросе о количестве магнитных монополей, о том, как много их могло сохраниться до сегодняшнего времени. По-видимому, их скорость меньше скорости света и они слабо взаимодействуют с веществом.

Четыре года назад Б. Кабрера (B. Cabrera; Станфордский университет, США) зафиксировал событие, которое он истолковал как прохождение через прибор магнитного монополя<sup>2</sup>. Используемый им прибор представляет собой контур (петлю) из сверхпроводящей проволоки, охватывающей площадку  $10^2$  см<sup>2</sup>. Если монополю пересекает эту площадку, в контуре возникает индуцированный ток, создающий магнитный поток, который равен по величине магнитному потоку монополя. Величина индуцированного тока не зависит ни от скорости монополя, ни от его траектории; необходимо только, чтобы он прошел через контур. Такой детектор не чувствителен к обычным электрическим зарядам или к магнитным диполям. В сверхпроводящей проволоке индуцированный ток сохраняется в течение долгого времени. Таким образом, при прохождении магнитного монополя ток в контуре испытывает скачок. Подобный скачок и наблюдался в опыте Кабреры. Если предположить, что на самом деле был зарегистрирован монополю, это означало бы весьма заметный их поток, превышающий ожидаемый по крайней мере в  $10^6$  раз (из астрономических оценок предел для потока монополей составляет  $10^{-15}$  см<sup>-2</sup>с<sup>-1</sup>ср<sup>-1</sup>).

Недавно с помощью магнитной петли значительно большей площади ( $0,18$  м<sup>2</sup>) А. Каплин с сотрудниками (A. Caplin et al.; Имперский колледж, Лондон, Великобритания) проводили аналогичные измерения в течение примерно 8 тыс. часов. Был зарегистрирован один случай резкого изменения тока в контуре, который не удалось объяснить какими-либо иными причинами и пришлось написать прохождению через детектор магнитного монополя. (Приборы, измеряющие механические сотрясения, радиочастотные наводки и внешнее магнитное поле, оставались спокойными в этот период.)

Итак, можно ли говорить о том, что зарегистрирован магнитный монополю? Пока, по-видимому, все же нельзя: слишком мала статистика. Если же считать результаты эксперимента положительными, то поток монополей в 100 раз превосходит установленный теорией предел.

Измерения с детекторами еще больших размеров, которые конструируются сейчас, должны дать ответ на вопрос о существовании заметного потока магнитных монополей.

Nature. 1986. Vol. 321. P. 402—406 (Великобритания).

#### Физика

### Свободные водно-натриевые кластеры

Несколько лет назад были теоретически предсказаны новые довольно экзотические комплексы — кластеры вида  $M(H_2O)_n$ , где  $M$  — атом одно- или двухвалентного металла<sup>1</sup>. До недавнего времени с помощью электронного спинового резонанса и инфракрасной спектроскопии их существование было подтверждено, по крайней мере, в матрицах из инертных газов для  $n=1,2$ .

<sup>1</sup> Подробнее о магнитных монополях см., напр.: Монастырский М. И. Монополи и вихри: от Дж. Максвелла до наших дней // Природа. 1985. № 5. С. 62—70; Курик М. В., Лаврентович О. Д. Как увидеть монополю // Природа. 1986. № 12. С. 55—56.

<sup>2</sup> Cabrera B. // Phys. Rev. Lett. 1982. Vol. 48. P. 1378; 1983. Vol. 51. P. 1933.

<sup>1</sup> Trenary M. // J. Am. Chem. Soc. 1977. Vol. 99. P. 3885; J. Chem. Phys. 1977. Vol. 68. P. 4047.

Сотрудникам Института молекулярной физики Свободного берлинского университета (Западный Берлин) удалось получить такие кластеры в свободном состоянии для  $n=1, 2, 3, 4, 5$  и прямо измерить их потенциал фотоионизации.

Как показали эксперименты, энергия фотоионизации таких кластеров уменьшалась с ростом  $n$ . Например, если для  $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})$  ее величина колебалась между 3,49 и 4,66 эВ, то для  $n \geq 4$  она падала ниже 3,49 эВ, причем количество образовавшихся кластеров  $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_1$  превышало число  $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_3$ - и  $\text{Na}(\text{H}_2\text{O})_5$ -кластеров.

Кластеры создавались в вакууме при взаимном пересечении пучка атомов натрия со струей газообразного аргона, прошедшей сквозь воду и содержащей одну молекулу воды на 100 атомов аргона. Обогащенная кластерами струя аргона пропусклась через фильтр, который отделял воду, а затем проходила сквозь луч лазера на красителе с перестраиваемой частотой, который ионизовал кластеры. С помощью импульсов сильного электрического поля однократно ионизованные ионы извлекались из струи и направлялись сквозь пролетный масс-спектрометр на детектор.

Знание физико-химических свойств этих комплексов необходимо для понимания механизма взаимодействия воды с металлическими поверхностями, а также их роли в физиологических процессах. Кроме того, поскольку они имеют в качестве «хромофора» хорошо локализованный центр — атом щелочного металла, эти объекты весьма перспективны для исследования динамики и фотофизики кластеров вообще, так как частота света, вызывающего ионизацию, находится в диапазоне частот излучения перестраиваемых лазеров на красителях. Это позволяет применять методы высококорреляционной однофотонной лазерной спектроскопии в видимом и ультрафиолетовом диапазонах и избежать сложности, присущих многофотонным процессам.

## Световая дифракционная решетка

Дифракция световых волн на обычных дифракционных решетках давно и хорошо известна. Напомним, что дифракционной решеткой называют систему равноотстоящих друг от друга щелей в непрозрачном экране, а дифракцией — рассеяние на такой системе падающей волны с последующей интерференцией между собой рассеянных (или дифрагированных) волн.

В 1933 г. П. Л. Капица и П. Дирак предсказали, что в силу корпускулярно-волнового дуализма материи дифракция должна наблюдаться и при прохождении пучка монохроматических, т. е. имеющих одну и ту же скорость, электронов попеременно стоячей световой волны. Пучности электрического поля такой волны играют роль непрозрачных щелей, а узлы — прозрачных щелей; в итоге сама стоячая световая волна оказывается своеобразной световой дифракционной решеткой. Согласно квантовой механике, движение микрочастицы описывается волной де Бройля с длиной  $\lambda = h/mv$  ( $h$  — постоянная Планка,  $mv$  — импульс электрона или атома), которая и испытывает дифракцию на стоячей световой волне.

Появление лазеров, позволяющих получать интенсивные стоячие монохроматические световые волны, создало предпосылки для наблюдения на них дифракции не только электронов, но и нейтральных атомов. Дело в том, что когда атом попадает в пучность электрического поля волны с частотой, близкой к частоте какого-либо атомного перехода (в этом случае говорят о резонансном поле излучения), в нем наводится переменный электрический дипольный момент. Этот момент, в свою очередь, взаимодействует с полем волны, и пучности ее ведут себя подобно непрозрачным штрихам решетки. В силу законов квантовой механики энергия такого взаимодействия принимает дискретные значе-

ния, а летящие атомы отклоняются при пролете сквозь пучности на дискретные углы  $\theta_n$ . Значение  $\theta_n$  определяется формулой  $\theta_n \approx 2nR_\Phi/P_0$ , где  $n=0, \pm 1, \pm 2$ , и т. д.,  $R_\Phi$  — импульс фотона поля стоячей волны, излучаемого или поглощаемого атомом вдоль этой волны (поперечный фотон),  $P_0$  — продольный импульс атома.

Недавно в Массачусетском технологическом институте (США) был выполнен эксперимент по наблюдению дифракции пучка атомов натрия на стоячей световой волне, созданной с помощью лазера на красителе и добавочного зеркала. Пучок атомов, «приготовленных» в определенном («основном») квантовом состоянии, пересекал в  $z$ -направлении волну, созданную в  $x$ -направлении с линейной поляризацией в  $y$ -направлении. Время пролета сквозь пучности поля и параметры последнего были таковы, что по выходе из пучности атомы оказывались опять в исходном, «основном», состоянии. Известно, что стоячая линейно-поляризованная волна эквивалентна суперпозиции двух встречных бегущих волн с правой и левой круговой поляризацией. С квантовой точки зрения, световая волна, бегущая, скажем, вправо и имеющая правую круговую поляризацию, эквивалентна потоку фотонов с импульсом  $R_\Phi = h/\lambda$ , летящих со скоростью света вправо. Такая же волна, но бегущая влево, эквивалентна потоку фотонов с импульсом ( $-R_\Phi$ ). Попад в пучность, атом индуцированно поглощает, скажем, фотон с импульсом  $+R_\Phi$  и переходит в возбужденное состояние, приобретает поперечную компоненту импульса  $+R_\Phi$ . Находясь в этом состоянии, атом может провзаимодействовать еще раз с обеими световыми волнами. Взаимодействуя с волной, бегущей справа налево, атом может индуцированно испустить фотон с импульсом  $-R_\Phi$ , приобретает импульс отдачи  $+R_\Phi$ . В итоге его суммарный импульс возрастает до значения  $+2R_\Phi$ , а сам он вернется в основное состояние. Если за время пролета описанное выше взаимодействие атома с обеими волнами повторится, скажем, 2 раза, атом приобретает им-



пульс отдачи (поперечный) равный  $+4P_{\phi}$ .

В эксперименте атомы натрия с разной вероятностью приобретали поперечный импульс  $2nP_{\phi}$  ( $n=0, \pm 1, \pm 2, \pm 3...$ ), отклоняясь вправо и влево от первоначального направления на углы  $\theta_n$ . В силу квантовомеханического принципа тождественности атомов и волнового характера их движения амплитуды волн де Бройля атомов, летящих под одним и тем же углом  $\theta_n$ , складываются в фазе, усиливая друг друга и давая, таким образом, дифракционные максимумы.

Physical Review Letters. 1986. Vol. 56. P. 827—830 (США).

### Биофизика

## Мембрана — электрический кабель

Сотрудники Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биологической химии им. А. Н. Белозерского при МГУ им. М. В. Ломоносова, руководимые В. П. Скулачевым, подтвердили выдвинутую В. П. Скулачевым в 1980 г. гипотезу, что внутренняя мембрана митохондрий (субклеточных частиц, поставляющих энергию клетке) выполняет роль внутриклеточного «электрического кабеля», по которому передается электрохимический потенциал ионов водорода.

Исследовались подкожные фибробласты — зародышевые клетки соединительной ткани, в состав которых входят митохондрии нитевидной формы. Специально разработанная методика позволила реконструировать в ходе эксперимента структуру отдельных митохондрий в разные периоды времени. Выяснилось, что митохондрии в живой клетке возбуждены, благодаря чему возникает разность потенциалов между двумя их мембранами. Об этом свидетельствует интенсивная флуоресценция. Сразу после облучения фибробластов лазерным лучом митохондрии переставали флуоресцировать. По-

вреждение, нанесенное лазером на отрезке, составляющем всего лишь 1 % длины митохондрии, вызывало полное исчезновение разности потенциалов по всей длине, равной 40 мкм. При этом соседние митохондрии, находящиеся в нескольких микрометрах от облученной, никак не реагировали на вспышку лазера.

Данные эксперимента подтверждают гипотезу о нитевидной митохондрии как электрически единой (кабельной) структуре. Это важно для детального понимания клеточной энергетики. Электрические кабели, «проложенные» в протоплазме и способные транспортировать энергию из конца в конец клетки, нужны, очевидно, для предотвращения нежелательных отклонений в процессах энергообеспечения клетки.

Биологические мембраны. 1986. Т. 3. № 11. С. 1130—1136.

### Биохимия

## Новые противовоспалительные средства

У. Феникал с сотрудниками (W. Fenical; Калифорнийский университет, Сан-Диего, США) выделили из восьмилучевого коралла *Pseudopterogorgia elisabethae* 4 вида соединений нового класса, обладающих противовоспалительным действием. Все соединения относятся к дитерпенпсевдогликозидам, и названы они по имени коралла псевдоптерозинами А, В, С и D.

В экспериментах на мышах псевдоптерозин А снимал действие кожных раздражителей. Его противовоспалительное действие в сотни раз сильнее, чем у стероидного гормона индометацина, применяемого обычно для лечения воспалительных процессов.

Воспаление, как известно, возникает в результате образования двух главных медиаторов воспалительного процесса: простагландинов и лейкотриенов. Псевдоптерозины блокируют их синтез, но, кроме того, обла-

дают еще и более выраженным в сравнении со стероидными гормонами обезболивающим действием. Так, обезболивающее действие псевдоптерозина А при подкожном введении в несколько раз сильнее действия индометацина.

Поскольку новые соединения совершенно безвредны для организма, авторы предлагают разработать на их основе эффективные средства лечения псориаза и артритов.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 17. P. 6238—6240 (США).

### Биохимия

## Панкреостатин — регулятор углеводного обмена

Разработанная в последние годы методика позволяет отличить регуляторные пептиды (медиаторы нервной системы и гормонально-активные вещества) от прочих по наличию амидной группы на С-конце пептидной цепи. С помощью этой методики американские и шведские исследователи под руководством К. Татемото (K. Tatamoto; Станфордский университет, Каролинский медико-хирургический институт в Стокгольме) выделили из поджелудочной железы новый регуляторный пептид, участвующий в углеводном обмене организма.

Поджелудочная железа, как известно, вырабатывает целый ряд биологически активных веществ, в том числе гормон инсулин, который регулирует уровень глюкозы в крови. При повышении этого уровня инсулин стимулирует превращение глюкозы в гликоген и накопление последнего в клетках печени. Оказалось, что введение нового пептида, названного панкреостатином, снижает выделение инсулина даже при повышенном уровне глюкозы. С помощью синтетических фрагментов молекулы панкреостатина удалось выяснить, что именно С-конец молекулы подавляет секрецию инсулина.

Действие панкреостатина



на углеводный обмен позволяет предположить важную роль этого пептида в развитии сахарного диабета — заболевания, при котором уровень глюкозы в крови устойчиво повышен, а уровень инсулина — понижен. Видимо, диабет возникает не только в случае недостаточного синтеза инсулина, но и при избыточном синтезе панкреостатина, запрещающего выделение инсулина из клетки в кровь.

Nature. 1986. Vol. 324. № 6096. P. 476—478 (Великобритания).

Молекулярная биология

## Механизм действия иммуносупрессора

Небольшой циклический пептид циклоспорин А — один из самых активных иммуносупрессоров, способных подавлять иммунный ответ организма. Он препятствует размножению Т-лимфоцитов, участвующих в иммунном распознавании. Однако механизм действия циклоспорина оставался невыясненным. Исследователи из отделения молекулярной биологии Женевского университета (Швейцария) установили, что циклоспорин А подавляет в Т-лимфоцитах экспрессию генов, кодирующих образование рецепторов к интерлейкину-2 — фактору роста лимфоцитов.

В экспериментах использовались предшественники лимфоцитов из тимуса мышей. Их созревание *in vitro* происходит лишь в присутствии интерлейкина-2, для присоединения которого и нужны специфические рецепторы на поверхности Т-лимфоцитов. Изучив последовательность молекулярных событий при активации лимфоцитов, авторы выяснили, что на первом этапе митотического процесса происходят многие внутриклеточные синтезы и, главное, появляются рецепторы к интерлейкину-2. На втором этапе, после добавления стимулятора в культуральную среду, начинается синтез ДНК, а затем и митоз.

Митотический процесс подавлялся, если вместе с интерлейкином и стимулятором в среду вводили циклоспорин. Если же его вводили не сразу, а через 8 часов после стимуляции, он уже не препятствовал делению Т-лимфоцитов. Удалось установить, что циклоспорин подавляет образование рецепторов к интерлейкину-2 на стадии синтеза матричной РНК (мРНК), а митотический процесс в этом случае прекращается еще до удвоения ДНК.

Важно, что иммуносупрессор действует весьма избирательно. Во-первых, он препятствует синтезу лишь одного вида мРНК в лимфоцитах, а во-вторых, вообще не влияет на другие типы клеток, например на фибробласты или на клетки почек. Понимание молекулярного механизма действия циклоспорина А станет, по мнению авторов, первым шагом на пути к химиотерапии млекопитающих на генетическом уровне.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 17. P. 6430—6433 (США).

Молекулярная биология

## Гомология белков ретровирусов и скрэпи

До настоящего времени в вирусных агентах скрэпи (прионах), вызывающих поражение центральной нервной системы у овец, не обнаружено нуклеиновых кислот<sup>1</sup>. Вероятно, за размножение в пораженных клетках отвечает особый белок приона, названный р27-30. Под действием этого же белка в мозге овец, больных скрэпи, образуются волокна амилоида (внеклеточной белково-полисахаридной массы), что ведет к расстройству нервной деятельности и, в итоге, к гибели животных.

После выделения гена, ко-

<sup>1</sup> Подробнее о возбудителе скрэпи см.: Кунин Е. В., Чумаков К. М. Вирусы без нуклеиновой кислоты? // Природа. 1986. № 9. С. 58—67.

дирующего синтеза белка р27-30 в пораженных клетках, появилась возможность сравнить его с другими патогенными белками. У Хейзлтайн и Р. Патарка (W. Haseltine, R. Patarka; Гарвардская медицинская школа) установили сходство аминокислотных последовательностей у белка р27-30 и у белков человеческих ретровирусов и вируса «висна»<sup>2</sup>, также поражающих центральную нервную систему животных. Важно, что белок рол ретровирусов участвует в производстве ретровирусов, связывая их РНК с ДНК пораженной клетки.

Авторы выявили три сходных области первичной структуры у всех трех видов белков, которые, по их мнению, определяют способность этих патогенных агентов поражать нейроны мозга.

Nature. 1986. Vol. 323. № 6084. P. 115 (Великобритания).

Физиология

## Регулятор роста — с молоком матери

Некоторые пептидные гормоны, вырабатываемые клетками мозга млекопитающих, обязательно попадают в молоко. Х. Вернер (H. Werner; Вейцмановский научно-исследовательский институт, Израиль) с сотрудниками обнаружили в молоке кормящих женщин еще один — гипоталамический гормон соматолиберин, что говорит в пользу гипотезы о выделении всего набора гормонов мозга в молоко.

Соматолиберин, получаемый новорожденными с молоком матери и не разлагающийся в желудке, нужен для

<sup>2</sup> Вирус «висна» вызывает заболевание мелкого рогатого скота, приводящее к поражению центральной нервной системы животных и гибели от истощения. Выделен в Исландии, исландское слово «висна» означает худобу, истощение.

стимуляции синтеза гормона роста — соматотропина — клетками гипофиза ребенка. Новорожденному это необходимо, так как на этой фазе развития собственный соматотропин еще не синтезируется или синтезируется в недостаточном количестве.

Biochemical and Biophysical Research Communication. 1986. Vol. 135. P. 1084—1090 (США).

Иммунология

### Моноклональные антитела — иммунодепрессанты

С. Кобболд (S. Cobbold; Отделение патологии Кембриджского университета, Великобритания) с сотрудниками разработали методику, позволяющую подавить иммунную реакцию отторжения при пересадке костного мозга с помощью моноклональных антител. Как известно, донорский костный мозг приживается хуже других тканей, даже если иммунная система хозяина нейтрализована радиооблучением или действием иммунодепрессантов.

Отторжение начинается, если клетки иммунного распознавания хозяина — Т-лимфоциты — связываются с клетками пересаженной ткани. Особые рецепторы на поверхности Т-лимфоцитов способны отличать чужие клетки по антигенам гистосовместимости (АГС), особым белкам, которые находятся на поверхности всех видов клеток, кроме сперматозоидов, и, по-видимому, уникальны у каждого организма. При встрече с АГС другого организма Т-лимфоциты активируются и уничтожают чужеродную ткань.

Исследователи учли и тот факт, что в отторжении также участвуют Т-лимфоциты из донорской ткани. Как именно — пока неясно, но, когда из костного мозга донора удаляли с помощью моноклональных антител Т-лимфоциты, реакция отторжения иногда усиливалась.

Поэтому перед пересадкой авторы ввели мышам-донорам моноклональные антитела к рецепторам АГС Т-лимфоцитов. Пересадки костного мозга с «блокированными» Т-лимфоцитами проходили успешно. Интересно, что многие животные после этого становились мозаичными химерами, т. е. в их организме сосуществуют два типа Т-лимфоцитов с разными рецепторами АГС.

Nature. 1986. Vol. 323. № 6084. P. 110, 164 (Великобритания).

Иммунология

### Моноклональные антитела двойной специфичности

Английские исследователи, возглавляемые лауреатом Нобелевской премии 1985 г. Ц. Мильштейном (С. Milstein; Лаборатория молекулярной биологии в Кембридже), получили качественно новый вид моноклональных антител, которые обладают двойной специфичностью, т. е. способны реагировать с двумя разными антигенами.

Авторам удалось объединить клетки двух гибридом<sup>1</sup>, одна из которых синтезирует моноклональные антитела к нейромедиатору пептиду Р (ответственному за болевые ощущения и, возможно, за некоторые аспекты поведения), а другая — к ферменту пероксидазе (используемой обычно как метка в иммунохимической диагностике). Новый вид гибридных клеток способен синтезировать кроме упомянутых моноспецифических антител еще и гибридные (биспецифические) антитела — один их участок связывается с пероксидазой, а другой — с пептидом Р.

Гибридные антитела были выделены и использованы

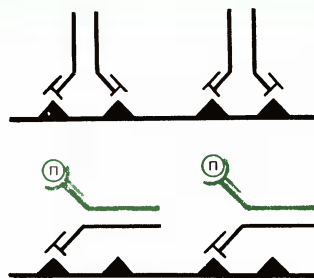


Схема связывания антитела с антигеном на срезе ткани. Вверху: молекула моноспецифического антитела реагирует с антигеном обими участками связывания. Внизу: молекула биспецифического антитела одним участком связывается с антигеном на поверхности среза, а другим — с ферментом пероксидазой [P].

для обнаружения пептида Р на срезах мозга. Оказалось, что искать антиген с помощью биспецифических антител значительно проще, чем с обычными моноспецифическими антителами. Ведь в стандартной методике приходится для повышения чувствительности обнаружения антигена на срезе ткани доавлять еще одно антитело, несущее радиоактивную или флуоресцентную метку или же связанное с пероксидазой (легко обнаруживаемой по ферментативной активности). Эта методика очень трудоемка и не очень точна из-за многократной обработки срезов ткани и из-за возможного перекрытия каких-либо антигенных участков комплексами антител.

Использование биспецифических антител позволяет получить более высокие результаты при более высокой чувствительности. Одну молекулу антитела, связанную с пероксидазой, можно обнаружить и в толще тканевого среза, тогда как сложный комплекс антител задерживается на поверхности среза. Особенно важно, что при новой методике нет неспецифического фона, поскольку посторонние антитела не попадают на срез.

Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA. 1986. Vol. 83. № 20. P. 7989—7993 (США).

<sup>1</sup> Подробнее см.: Мечетнер Е. Б., Червонский А. В. Метод гибридом и его возможности // Природа. 1984. № 9. С. 80—88.

## Биотехнология

**Генная инженерия и молочное хозяйство**

Д. Бауман (D. Bauman; отделение зоологии Корнеллского университета, США) показал, что бычий гормон роста — соматотропин, полученный методами генной инженерии, повышает удои молока в такой же степени, что и природный гормон. Его введение коровам во время испытаний на молочных фермах Великобритании увеличивало удои в среднем на 20 %, без каких-либо негативных последствий.

New Scientist. 1986. Vol. 112. № 1528. P. 18 (США).

## Медицина

**Марафонец с пересаженным сердцем**

Английские и канадские врачи из Харфилдского госпиталя и Центра по реабилитации (Торонто) изучили возможности физической реабилитации больных с пересаженным сердцем. В рамках этой программы осуществлена успешная подготовка одного из больных (при его согласии и желании) к участию в марафонском забеге.

44-летнему англичанину с тяжелым заболеванием сердца — дилатационной кардиомиопатией — было пересажено в 1984 г. сердце 16-летнего донора. Через 16 недель после операции пациент приступил к физическим тренировкам. За 11 месяцев удалось на 84 % повысить максимальную величину нагрузок, на 53 % максимальное потребление кислорода, и на 35 % вентиляционный анаэробный порог, снизить частоту сердечных сокращений в покое и при нагрузках. После этого, в сопровождении двух лечащих врачей, больной преодолел марафонскую дистанцию (42 км 95 м) за 5 ч 30 мин, т. е. лишь в 2 примерно раза медленнее, чем легкоатлеты.

Частота сердечных сокращений во время бега не превышала 142 ударов в минуту, а через несколько часов отдыха вернулась к обычному ритму — 88 ударов в минуту. Никаких болезненных отклонений от нормы не было, за исключением выраженной усталости ног. Через год после забега марафонец продолжает чувствовать себя хорошо, не прекращает физических тренировок, пробегая около 50 км в неделю.

Помимо пациента с пересаженным сердцем в марафоне принимали участие 3 человека, перенесших инфаркт миокарда, и 5 человек после хирургической операции — шунтирования сердечной аорты. Все они также прошли курс тренировок, а дистанцию марафона преодолели за 4—6 ч.

Modern concepts of cardiovascular diseases. 1986. Vol. 55. № 8. P. 37—41 (Великобритания); Journal of Cardiopulmonary Rehabilitation. 1986. Vol. 6. № 1. P. 16—20 (Канада).

## Медицина

**Новое противовирусное средство**

Для борьбы с вирусной инфекцией исследователи из Львовского университета (Бельгия) и Института органической химии и биохимии (Прага, ЧССР) под руководством Э. де Клерка (E. De Clercq) синтезировали аналог аденина — составной части всех нуклеиновых кислот, в том числе и вирусной ДНК. По мысли авторов, модифицированный аденин должен блокировать синтез вирусной ДНК. Постановка задачи не нова — сходные соединения (ацикловир и бромвинилдезоксисуридин) используются в клинической практике. Но эти соединения имеют свои недостатки: число чувствительных к ним вирусов очень невелико, а сами соединения довольно токсичны.

Синтезировано исследователями новое соединение — (S)-9-(3-гидрокси-2-фосфонилметоксипропил)аденин

[(S)-ГФМПА] — этих недостатков лишено. В экспериментах на клеточных культурах оно проявило активность против всех исследованных вирусов уже при концентрации 1—2 мкг/мл, а изменения в клеточном метаболизме происходили лишь при 100-кратном увеличении концентрации. Зараженные различными вирусами мыши, которым вводили (S)-ГФМПА, выздоравливали, тогда как контрольные особи, не получившие препарата, погибли.

Важно, что (S)-ГФМПА подавляет развитие одного из ретровирусов — вируса лейкоза мышей. Авторы не делают далеко идущих прогнозов, но если результаты их исследования подтвердятся, появится реальная возможность воздействовать на ретровирус человека — вирус приобретенного иммунодефицита.

Nature. 1986. Vol. 323. № 6087. P. 464—467 (Великобритания).

## Психология

**Географические представления у детей**

Различные географические категории мужчинами и женщинами воспринимаются по-разному; в частности, у мужчин понимание пространственных соотношений объектов происходит с большей легкостью, чем у женщин. Английский психолог М. Мэтьюз (M. Matthews; географический факультет Политехнического института в Ковентри) в своих работах показал, что половые различия в характере знаний о непосредственном географическом окружении возникают уже в детском возрасте.

Исследователь просил детей в возрасте от 6 до 11 лет нарисовать карту местности, окружающей их дом. Как правило, дети адекватно понимали задание, хотя качество карт, естественно, было разным. Карты оценивались по четырем параметрам: 1 — широта охвата (максимальный и средний радиусы местности, изображенной на карте), 2 — деталь-



ность, 3 — точность отображения пространственных соотношений, 4 — правильность составления карты с точки зрения ее соответствия неким принятым критериям.

Уже в возрасте 6—8 лет мальчики составляли карты, охватывающие большую площадь и более точные. Начиная с 9 лет преимущество мальчиков по всем параметрам, за исключением второго, становилось весьма заметным: так, средний радиус изображенной местности у мальчиков 11 лет равнялся 701 м, а у девочек 430 м; 23 % карт мальчиков и только 4 % карт девочек достигали удовлетворительного уровня соответствия картографическим стандартам. Вместе с тем карты девочек начиная с 9-летнего возраста отличались обилием деталей, стремлением к максимальной подробности. Возможно, именно за счет детализации девочки стремятся компенсировать недостаток точности в отображении пространственных взаимоотношений объектов.

Эти факты не противоречат теории, согласно которой гены, ответственные за способности к пространственной ориентации, локализируются в половых хромосомах; не исключено, однако, и влияние других факторов, в частности разного отношения родителей к мальчикам и девочкам.

The Journal of Genetic Psychology. 1986. Vol. 147. № 3. P. 295—302 (Великобритания).

Этология

## Защита медом

Впервые необычный способ защиты у шмелей от вторгающихся в их гнездо насекомых — любителей меда был описан в 1922 г.: в некоторых случаях рабочие особи шмеля *Vombus fervidus*, вместо того чтобы вступать в схватку с чужаком, пускать в ход челюсти и жало, наносили на него капли отрываемого корма. Вымокший в сладкой липкой жидкости, пришелец становился беспо-

мощным. Долгое время этот способ защиты *V. fervidus* считался уникальным, но в 1966 г. он был отмечен еще у одного вида шмелей близкого к первому, а в 1986 г. у третьего — *V. griseocollis*.

Изучая поведение этого третьего вида, канадские исследователи из Университета г. Торонто Г. Фаллер и Р. Плурайт (G. A. Fuller, R. C. Plowright) обнаружили, что и этот шмель иногда обмазывает своих противников медом. Поскольку *V. griseocollis* филогенетически сравнительно далек от двух первых, авторы пришли к выводу, что это своеобразный способ защиты появлялся независимо у разных видов шмелей.

В лабораторных экспериментах исследователи подсаживали в колонию шмелей особей, взятых из других колоний как своего, так и чужого вида. Оказалось, что шмели почти никогда не тратили мед на пришельцев своего вида, прогоняя их как-либо иначе. Авторы предполагают, что обмазывание медом — хотя энергетически дорогое, зато безопасный способ защиты — шмели применяют лишь при появлении врагов, вызывающих у них наибольшее беспокойство.

The Canadian Entomologist. 1986. Vol. 118. № 5. P. 479—480 (Канада).

Этология

## Конкуренция песцов и сов на острове Врангеля

Н. Г. Овсяников и И. Е. Менюшина (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР) провели интересные наблюдения за белыми совами и песцами на о. Врангеля. Зима 1981/82 г. была здесь многоснежной и маловетренной, а численность лемминга за предыдущий год достигла максимального уровня, и поэтому на острове осталось зимовать много сов. Но если песцы легко добывали леммингов из-под снега, раскапывая наклонные ходы, то совом такой способ добычи был недоступен. Лемминги же могут в течение многих недель не выхо-

дить на поверхность. И совы приспособились отнимать добычу у песцов.

Следуя за «мышкующим» песцом по тундре, сова дожидается, когда песец откроет лемминга, затем атакует его и отнимает добычу. Из 10 наблюдавшихся атак 6 были успешными. Песцы, однако, явно боялись сов и, завидя их, старались побыстрее зарыть добычу в снег.

В летнее время численность лемминга резко снижалась, и для песцов наступали голодные времена. Линяющие белые гуси легко избегали нападения песцов, сходя в воду, но для сов и бургомистров гуси оставались уязвимыми и на воде. В этой ситуации песцы часто довольствовались остатками трапезы сов.

Авторы предполагают, что такое сосуществование в тундре двух конкурирующих за пищу хищников позволяет каждому из них расширить рацион используемых кормов за счет кормодобывающей деятельности другого и, следовательно, создает возможность освоения ими районов с экстремальными условиями обитания.

Зоологический журнал. 1986. Т. LXV. Вып. 6. С. 901—910.



Биология. Охрана природы

## Жив ли сумчатый волк!

Уже полвека биологи говорят о сумчатом волке (*Thylacinus cynocephalus*) как об исчезнувшем виде: с 30-х годов достоверных данных о его существовании не было, а последний представитель этого вида умер в зоопарке г. Хобарта (Австралия) в 1936 г.

Когда-то сумчатый волк был довольно широко распространен в Австралии, Новой Гвинее, Тасмании; он населял степи, саванны, леса, вел ночной образ жизни, питался мелкими грызунами и птицами. Несмотря на тысяч лет назад он исчез на большей части ареала, не выдержав конкуренции с интродуцированной дикой собакой динго. Последним его пристанищем стала Тасмания, однако





Сумчатый волк из зоопарка в Хобарте. Помимо фотографии сохранилось его типичное описание: высота в плече 60 см, от носа до кончика хвоста 100—130 см, длина хвоста 50—60 см. Шерсть грубая, окраска песчано-бурая с темными полосами поперек спины, ширина которых увеличивается в направлении хвоста. Голова и передняя часть туловища подобны собачьим, задняя — как у гиены. В отличие от собак имеет по пять пальцев на передних и четыре — на задних лапах.

с началом разведения там овец сумчатому волку была объявлена война: с 1888 по 1909 г. правительство выплатило 2268 премий за его добычу, прежде чем выяснилось, что зверь на пороге полного исчезновения. Закон об охране сумчатого волка вступил в силу тогда, когда охранять, казалось, уже было некогда.

Но вот недавно натуралист-любитель К. Камерон, житель штата Западная Австралия, представил свидетельства, что сумчатый волк еще существует. На сделанных им в феврале 1985 г. пяти фотографиях более или менее отчетливо можно различить характерные внешние особенности сумчатого волка. В январе 1986 г. ему удалось со специально обученной собакой выследить пару сумчатых волков, охотившихся на молодых диких свиней. Помимо фотографий К. Камерон представил отпечатки (слепки) следов задних, четырехпалых, и передних, пятипалых, лап, подробно описал поведение самца и самки, различие в их окраске.

Это открытие тем более сенсационно, что снимки сделаны не на о. Тасмания, а в зарослях юго-западной Австралии, на континенте, где этот хищник давно исчез. Мнение, что фотографии и слепки — подлинны, осторожно начинают разделять и специалисты, среди которых зоолог Р. Страхен (R. Strahan) из Австралийского музея (Сидней).

New Scientist. 1986. Vol. 110. № 1505. P. 44—47 (Великобритания).

Биология. Зоология

### Необычная летучая мышь

В Новой Зеландии обитает новозеландская летучая мышь *Mystacina tuberculata* — единственный вид целого семейства *Mystacinidae*. Хотя она и обладает способностью летать, но, в отличие от остальных летучих мышей, проводит большую часть времени на земле, питаясь насекомыми, растительной пылью и плодами. По строению тела она также заметно отличается от других летучих мышей.

Эволюционные связи этого животного изучала группа биологов и зоологов из Управления научных и промышленных исследований Новой Зеландии, Университета штата Калифорния (Беркли, США) и Калифорнийского университета (Сан-Франциско, США).

По белкам крови эта летучая мышь существенно отличается от других летучих мышей Новой Зеландии и близлежащей Австралии, зато очень схожа с представителями семейства *Phyllostomidae* — американских листоносов; последние обитают в весьма отдаленных от Новой Зеландии районах Центральной и Южной Америки.

Согласно геологическим и геофизическим данным, острова Новой Зеландии отделились от Южной Америки около 80 млн лет назад. Этим и объясняется уже давно замеченное сходство их фауны и флоры. Однако среди летучих мышей такое сходство обнаружено впервые; и это единственный их вид, имеющий столь удаленные родственные связи. Очевидно, в последнюю ледниковую эпоху многие виды летучих мышей — теплолюбивых, как и американские листоносы, — в Новой Зеландии вымерли и лишь новозеландской летучей мыши удалось приспособиться к климатическим условиям этих островов.

Nature. 1986. Vol. 323. P. 60 (Великобритания).

Зоология

### Плодовитая змея

У большинства видов пресмыкающихся самки делают всего одну-две кладки в год. Лишь некоторые тропические древесные ящерицы размножаются круглогодично, регулярно откладывая по 1—2 яйца. Но рекордисткой по яйценоскости оказалась африканская яичная змея (*Dasypeltis scabra*). Ее название связано не с характером размножения, а с необычной пищевой специализацией: яичные змеи — хищники и питаются исключительно птичьими яйцами. Их удивительные репродуктивные способности были обнаружены недавно благодаря наблюдениям террариумиста из Берлина Д. Эмриха (D. Emrich).

На протяжении ряда лет

## Конкуренция мужских цветков у орхидей

Несколько лет назад было сделано интересное открытие в области взаимоотношений цветковых растений и их опылителей: некоторые виды орхидей привлекают пчел не нектаром или пыльцой, а своим запахом — летучими веществами, которые необходимы самцам пчел в качестве предшествующих половых феромонов<sup>1</sup>. Новые данные о механизме опыления этих необычных орхидей сообщают Г. А. Ромеро и К. Е. Нельсон<sup>2</sup>.

Мужские и женские цветки орхидей рода *Catasetum* столь несхожи, что их можно принять за представителей разных родов, причем видовое разнообразие мужских цветков существенно больше, чем женских. Перенос пыльцы у этого рода орхидей происходит не за счет того, что посещающая цветок пчела случайно испачкается в пыльце и затем становится ее переносчиком. Мужской цветок орхидеи снабжен специальным приспособлением, которое в ответ на приближение пчелы «выстреливает» и с силой приклеивает к ее спине особое образование, содержащее пыльцу — поллиний; «разрядившийся» цветок вскоре увядает. Скорость выброса поллиния может превышать 3 м/с; вполне понятно, что пчела отрицательно реагирует на такой удар.

Тот факт, что одно насекомое крайне редко может нести на себе более одного поллиния (обычно лишь при сочтении сравнительно крупной пчелы с видом орхидеи, имеющей мелкие поллинии), показывает, что напуганная пчела, покидая цветок, запоминает его, чтобы не возвращаться вновь. При этом женские цветки, вы-

он содержит группу африканских яичных змей. Они прекрасно чувствуют себя в террариуме, легко и необыкновенно часто размножаются. Самки, только что отложившие яйца, вновь копулируют и через два месяца делают новую кладку. Одна из самок за 16 месяцев сделала 8 кладок — 92 яйца (настоящая несущка среди змей!). Яйца этой змеи, в отличие от полученных в неволе яиц большинства других пресмыкающихся, обладают высокой жизнеспособностью: неоплодотворенные составляют лишь 4,1 %. При температуре инкубации 30—32 °С днем и 24 °С ночью (перепад температур соответствует природным условиям) примерно через 3 месяца вылупляются детеныши. Кормят их исключительно птичьими яйцами, и растут они быстро.

Aquarien-Terrarien. 1986. Bd. 33. № 10. S. 350—354 (ГДР).

### Зоология

## Голый землекоп в зоопарке

Лондонский зоопарк — единственный в мире, где можно видеть колонию голых землекопов (*Heterocephalus glaber*) — небольших грызунов, встречающихся только в Восточной Африке и принадлежащих к своеобразному африканскому семейству землекоповых *Bathyergidae*. Это животное ведет



Голый землекоп.

скрытый подземный образ жизни и потому оставалось слабо изученным. Голыми их называли из-за того, что они почти полностью утратили волосяной покров, равно как и зрение, не нужное им в подземелье.

Живут голые землекопы колониями, в которых может насчитываться до 80 животных. Это наиболее общественные животные среди млекопитающих. Длина подземной системы туннелей одной колонии может достигать 3 км. Чтобы завершить проходку такой системы, землекопам нужно выбросить на поверхность не менее 4 т грунта. Твердый грунт землекопы преодолевают с помощью необычайно крупных резцов, а «отработанную породу» передают «на гора» по конвейеру. Будучи очень чистоплотными, они строят в туннелях «туалеты», которыми пользуются с большой аккуратностью.

В сообществе этих животных строжайшее разделение труда, связанное с возрастом: молодые специализируются на сооружении туннелей, а по мере взросления становятся сторожами или фуражирами. Выкапывая клубни растений, они не обязательно сразу их поедают, а иногда разводят — дают возможность клубням прорасти.

Потомство в колонии появляется лишь у одной самки: в ее моче содержатся вещества, подавляющие овуляцию у всех ее дочерей. Зато приносит такая самка до 30 детенышей в одном помете — это рекорд для всех видов млекопитающих. Как именно образуются новые колонии голых землекопов, неизвестно; беременная самка покидает старую колонию. В отличие от большинства других мелких грызунов, растут голые землекопы довольно медленно, зато они долгожители (известен случай, когда животному исполнилось 13 лет). Детеныши могут рождаться и у девятилетней самки.

В Лондонском зоопарке организована группа постоянного наблюдения за поведением землекопов.

New Scientist. 1986. Vol. 110. № 1509. P. 25 (Великобритания).

<sup>1</sup> Карцев В. М. Самцы, собирающие цветочные запахи // Природа. 1984. № 4. С. 112.

<sup>2</sup> Romero G. A., Nelson C. E. // Science. 1986. Vol. 232. № 4757. P. 1538—1540.

деляющие те же запахи, что и мужские, остаются по-прежнему привлекательными для пчел. Как раз их выбирает несущая пыльцарий пчела среди мужских цветков, имеющих обычно в избытке. Несомненно, именно это и требуется для успешного опыления.

Теперь находит свое объяснение и большее межвидовое разнообразие мужских цветков в сравнении с женскими. В течение сезона пчела посещает не один, а несколько видов орхидей. Понятно, что мужским цветкам более поздних видов выгодно не походить на своих предшественников, оставивших у пчел печальное воспоминание. Что касается женских цветков, то пчела должна еще научиться занимать в них определенную позицию, обеспечивающую и успешное опыление. Поэтому пчелиный опыт общения с женскими цветками одного вида может оказаться полезным и для другого — на женские цветки естественный отбор действует в прямо противоположном направлении, чем на мужские. Здесь мы имеем дело со своего рода мимикрией у орхидей. Видовая же изоляция у этих растений достигается в первую очередь за счет различий во времени цветения, а не за счет различий в форме женских цветков.

**В. М. Карцев,**  
кандидат биологических наук  
Москва

Геофизика

### Землетрясения в малосейсмичной зоне

Специалисты долгое время считали, что восточная часть США, примыкающая к Атлантическому океану, представляет собой малосейсмичную зону. Действительно, землетрясения отмечались здесь довольно редко и не обладали большой силой. Следует иметь в виду, однако, что более или менее надежная регистрация таких событий ведется в данном регионе едва ли более двух столетий, тогда как тектонические явления

протекают в существенно больших масштабах времени.

Современная методика позволяет изучать сейсмичность не только по данным самих землетрясений, но и по тем геодинамическим процессам, которые в конце концов к ним приводят. Результаты таких исследований представили С. Мусман (S. A. Musman; Управление геодизической службы США, Роквилл) и Т. Шмитт (T. Schmitt; Геологическое управление штата Джорджия в Атланте).

В экспериментах для сверхточного измерения расстояний между двумя точками на поверхности Земли использовался метод интерферометрии с длинной базой: на радионаблюдениях Уэстфорд (штат Массачусетс) и Форт-Девис (штат Техас) регистрировалось время поступления сигнала от вземных источников радиоизлучения и по разнице во времени приема сигнала определялось расстояние между пунктами наблюдений. В серии повторных измерений было установлено, что эти пункты сближаются со скоростью 1,2 см/год. Это приводит к нарастанию напряжения в земной коре, при этом скорость приращения деформации составляет  $1 \cdot 10^{-16}$  в секунду. Такая величина для стабильной области, находящейся вне зоны активного перемещения литосферных плит, весьма значительна. Согласно вычислениям авторов, земная кора, подвергающаяся подобному напряжению, не может быть вязкой на глубине примерно до 10 км; напротив, она должна обладать изрядной хрупкостью, которая и проявляется в сотрясениях и толчках. На больших глубинах температура пород повышается, кора становится вязкой, а толчки, несмотря на напряжение, — все менее вероятными. Это соответствует наблюдательным данным: очаги землетрясений на востоке США, как правило, залегают на глубине 10 км.

Интересно, что потенциальная энергия, создаваемая здесь напряжениями в земной коре, должна намного превышать ту, что в действительности высвобождается в период проявления сейсмической активности. Аналогичное явление наблюдается и в западной части США,

где сейсмичность намного выше. Этот факт требует дополнительных объяснений.

Eos (Transactions of the American Geophysical Union). 1986. Vol. 67. № 15. P. 190 (США).

Геология

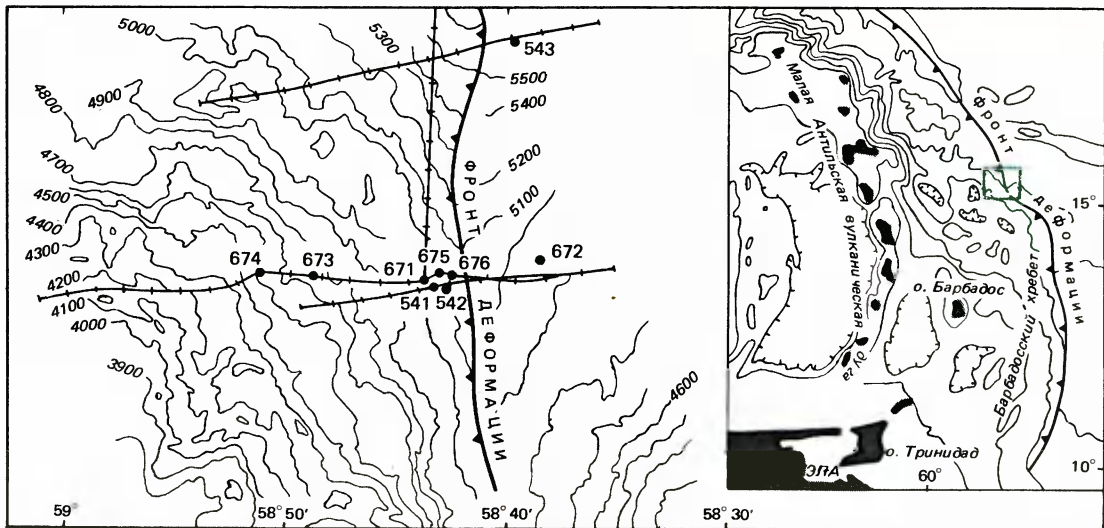
### 110-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

В 110-м рейсе, научное руководство которым осуществлял Дж. Мур (J. C. Moore; Университет штата Калифорния, Санта-Крус, США) и А. Масль (A. Mascle; Французский институт нефти, Рюэль-Мальмезон, Франция), изучались геологическое строение и геофизические особенности участка дна Атлантики в 150 милях к северу от о. Барбадос. Здесь, непосредственно к востоку от Малых Антильских о-вов, проходит граница между взаимодействующими (сходящимися) Северо-Американской и Карибской плитами земной коры. Первая из них погружается под вторую, при этом у подножия островного склона формируются гигантские массы осадочных пород, «соскобленных» с погружающейся плиты. Именно эти осадочные породы образуют подводный Барбадосский хребт высотой более 4500 м; частью этого хребта является и сам о. Барбадос.

В данном рейсе впервые удалось пробурить плоскость разлома, отделяющую смещенные движением плит породы Карибской плиты от подстилающих их осадочных образований Северо-Американской плиты. Благодаря этому появилась возможность выяснить, почему в одних районах Мирового океана при погружении одной плиты под другую верхняя активно соскабливает с нижней осадочные породы, а в других этот процесс идет гладко, без значительного трения.

При бурении в шести точках, расположенных в районе взаимодействия плит, были получены образцы осадочных пород, в которых содержится поровая вода. Ее химический анализ показал, что эта вода двигалась в горизонтальном на-





Район глубоководного бурения в 110-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резольюшн» [обозначен цветным квадратом; слева дан в увеличенном масштабе; цифры у кружков — номера скважин, цифры у изолиний — глубина океана в метрах].

правлении на значительное расстояние, перемещая с собой растворенные газы, источник которых лежит в центре погруженного подводного хребта. Изменения в давлении заставляют воду подниматься вверх по разлому. Перемещаясь таким образом, поровая вода служит своего рода смазкой, которая позволяет плитам земной коры достаточно свободно двигаться друг относительно друга. Этим и объясняется сравнительно низкая сейсмичность данного района.

Одна из скважин прошла сквозь недеформированную океаническую часть Северо-Американской плиты. Это позволяет сопоставить характер процессов деформации в случаях, когда соскобленный материал накапливается на верхней плите или когда он плавно соскальзывает под нее. Пробуренные здесь, в 6 км от зоны деформации, скважины вскрыли взбросовые разломы и жильные структуры, обозначающие пути, по которым продвигались поровые воды. Все это указывает на предстоящее столкновение ме-

стного комплекса осадочных пород с подводным Барбадосским хребтом. По мере продвижения на запад через этот растущий подводный горный пояс и приближения к Карибской островной дуге, осадочные породы становятся все более деформированными, осложненными складками и разломами. Чем ближе к островной дуге, тем плоскость погружения океанической части Северо-Американской плиты становится круче. Многочисленные вторичные разломы свидетельствуют о продолжающемся здесь процессе столкновения плит. Осадки, опускающиеся под плоскость погружения, накладываются на глубинную часть Барбадосского хребта, приводя к его утолщению и подъему.

Таким образом, помимо подъема огромных осадочных масс, взаимодействие сходящихся плит в таких зонах вызывает их сжатие, а в итоге — выжимание из них значительного количества воды. Осадочные породы, покрывающие Северо-Американскую плиту, более чем наполовину состоят из воды, но после сжатия и подъема ее остается там около 1/4. Проведенные исследования позволили впервые изучать процессы перемещения влаги и деформации пород на различных этапах взаимодействия плит и формирования подводного хребта.

Ocean Drilling Program. News Releases. 1986. Leg. 110.2. P. 1—6 (США).

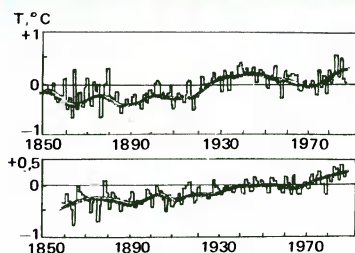
Климатология

## Глобальное потепление, Сахельская засуха и Мировой океан

Ф. Джонс, Т. Уингли и М. Келли (Ph. Jones, T. Wingley, M. Kelly; Отдел климатологических исследований при Университете Восточной Англии, Норвич) проанализировали все доступные сведения о состоянии климата на Земле за период с 1850 по 1985 г. Выявлена тенденция к потеплению, охватывшая оба полушария и составившая в глобальном масштабе 0,5 °С. Потепление осуществлялось в два этапа: между 1920 и 1940 гг. и, после некоторого перерыва, — в самые последние годы (некоторые межгодовые колебания температур в начале второй половины XIX в. исследователи относят за счет недостаточной точности и неполноты измерений в то время).

Начало 80-х годов нашего века было наиболее теплым за весь указанный период для обоих полушарий. Некоторое падение температур в 1984—1985 гг. объясняется последствиями мощного извержения вулкана Эль-Чичон (Мексика) в 1982 г.: опоясавшее Землю облако изверженных пылевидных частиц затруднило доступ солнечного





Ход температурных изменений на суше в Северном (вверху) и Южном полушариях за 1850—1985 гг.

излучения к земной поверхности<sup>1</sup>.

Факт общего потепления независимо подтверждается данными об отступании многих ледников за последние 150 лет. Продолжительные засухи в Сахеле (Африка) также указывают на долговременный сдвиг климата в сторону общего потепления. Группа сотрудников Метеорологической службы Великобритании сопоставила наступление засушливых и влажных лет в Сахеле с изменениями температуры в Мировом океане. Оказалось, что засухи в Сахеле происходят в те годы, когда температура воды в морях Южного полушария и одновременно в северной части Индийского океана становится выше, чем в океанах Северного полушария.

Эти исследования вновь подчеркивают важность информации о метеорологических характеристиках Мирового океана при анализе климатических тенденций на земном шаре в целом.

New Scientist. 1986. Vol. 110. № 1505. P. 24 (Великобритания).

#### География

### Гидрологические изменения в заливе Аляска

Т. Ройер (Т. Royer; Институт морских наук при Университете штата Аляска, США) на

<sup>1</sup> Подробнее см.: Облако, опоясывающее Землю//Природа. 1983. № 8. С. 114—115.

основе данных, собранных в последние годы американскими океанологами с борта научно-исследовательского судна «Альфа Хеликс», пришел к выводу о существенных изменениях гидрологического режима в заливе Аляска.

За последние 10 лет температура воды ежегодно поднималась здесь примерно на 0,1 °С. Такое потепление является, по-видимому, составной частью периодически повторяющегося процесса с циклом в 20—30 лет. Сейчас температура поверхностного слоя в бассейне близка к наблюдавшейся в конце 50-х годов. По самым последним измерениям, потепление, очевидно, прекратилось и должно вскоре смениться понижением температуры. Но сроки похолодания могут быть сдвинуты в результате вмешательства Эль-Ниньо — периодически возникающего аномального потепления вод в центральной и западной частях тропической зоны Тихого океана, сказывающегося, однако, и в достаточно удаленных от основного места развития этого явления районах<sup>1</sup>. Добавочное воздействие Эль-Ниньо в период, когда температура воды в заливе и так заметно выше средней многолетней, может привести к весьма значительным последствиям.

Причины 20—30-летнего цикла в гидрологическом режиме залива не совсем ясны. Предварительные результаты свидетельствуют, что это связано с глубинной циркуляцией вод, претерпевающей существенные изменения. В частности, направленное против часовой стрелки Аляскинское вихреобразное кольцевое течение диаметром около 500 миль значительно сместилось сейчас на восточно-восток; скорость течения снизилась с 1,5—2 узлов до 0,5 узла.

Более фундаментальные выводы о характере и механиз-

ме изменения гидрологического режима предполагается сделать после новых экспедиций 1987—1988 гг. Конечная цель этих исследований: определить возможное влияние колебаний температуры в заливе на местные, региональные, а возможно, и охватывающие все Северное полушарие метеорологические процессы; разработать прогноз таких явлений; обобщить данные, способствующие более эффективному промыслу в этой одной из наиболее богатых рыбой акваторий.

Institute of Marine Science Notes. 1986. Vol. 6. № 3. P. 2 (США).

#### География

### Реки сносят сушу

Глобальную оценку роли рек в эрозии суши привел Д. Уоллинг (D. Walling; Экстерский университет, Великобритания).

Ежегодно все реки земного шара сносят в Мировой океан слой почвы толщиной более 6 мм. Общее количество поступающего с речным стоком материала достигает 19 млрд т. Большая его часть — это взвешенные твердые частицы; растворенные вещества составляют около 1/7 общего количества.

На первом месте по эрозии почв стоят Азия и Океания; в Африке и Европе она примерно вдвое меньше интенсивна. К числу наиболее активно размывающих сушу рек относится Хуанхэ (Китай) с ее многочисленными притоками<sup>1</sup>. Связано это с распространением в ее бассейне рыхлыми лессовыми почвами, слабым растительным покровом и полупустынным климатом, характеризующимся короткими периодами весьма обильных осадков. Особенно значительна эрозия почв на крупных островах Тихого океана, включая Японию, Филиппины, Индонезию, Тайвань и Новую Зеландию. Здесь этому способствуют

<sup>1</sup> Подробнее см.: Климатическая аномалия в Тихом океане//Природа. 1983. № 10. С. 115; Последствия Эль-Ниньо//Там же. С. 116; Федоров К. Н. Этот капризный младенец — Эль-Ниньо//Природа. 1984. № 8. С. 65; Биологические последствия Эль-Ниньо//Там же. С. 115

<sup>1</sup> См.: Осадки в дельте Хуанхэ//Природа. 1986. № 8. С. 119.

крутизна горных склонов, тектоническая активность недр, интенсивное ведение сельского хозяйства, обилие осадков и высокий уровень стока.

В последние десятилетия очень заметно воздействует на усиление эрозии антропогенная деятельность: сведение лесов, замена их пастбищами и пахотными землями ведет к резкому увеличению сноса почв с тальми водами и осадками. В некоторых районах эрозия по этим причинам возросла в сотни и даже тысячи раз. Так, в Кении и в северной части штата Миссисипи (США) подобное изменение ландшафта и характера землепользования увеличило массу сносимого реками материала на 2—3 порядка.

New Scientist, 1986. Vol. 111. № 1525. P. 22. (Великобритания).



Экология

## Лабораторные исследования кислотных осадков

Для изучения воздействий кислотных осадков на природную среду в Ланкастерском университете (Великобритания) построено 8 крупных куполообразных теплиц, внутри которых исследователи имитируют различные атмосферные условия и наблюдают эффект, оказываемый на развитие деревьев, кустарников и зерновых культур.

Согласно ранее высказывавшимся предположениям, загрязнение воздушного пространства (главным образом продуктами выброса тепловых электростанций и автотранспорта) ослабляет жизнедеятельность растений, в результате чего они в значительной мере утрачивают морозостойкость. Именно этим объяснялась массовая гибель хвойных лесов, наблюдаемая за последние годы в ФРГ и в Скандинавских странах, где энергетика высоко развита, автопарк весьма многочислен, а климат достаточно холодный.

В серии экспериментов, которые проводит группа соотрудников Ланкастерского уни-

верситета во главе с биологом Т. Мансфилдом (Т. Mansfield), из-под куполов теплиц выкачивается естественный воздух, а взамен вводится различная, точно контролируемая смесь газов, содержащая определенные количества двуокиси серы, двуокиси азота и озона. При этом имитируются различные природные условия — изменяются температура, степень влажности и сухости воздуха. Подобные эксперименты проводятся, в частности, с ячменем и пшеницей, из деревьев взяты ель и сосна, которые в этих «теплицах» могут достигать шестилетнего возраста.

Описанные опыты позволяют, наконец, установить, комбинации какого именно химического состава атмосферы и температур действительно пагубны для тех или иных видов растений.

New Scientist, 1986. Vol. 110. № 1504. P. 17 (Великобритания).



Экология

## Ртуть в окружающей среде

Пути распространения и концентрацию ртути в природной среде изучали Дж. Ким и У. Фицджеральд (J. P. Kim, W. F. Fitzgerald; Университет штата Коннектикут, США). Исследования проводились в центральной тропической области Тихого океана.

Концентрация ртути в морской воде этих районов составляет  $10^{-12}$  г/л, а в воздухе над поверхностью океана — примерно  $10^{-9}$  г/м<sup>3</sup>. В обоих случаях, однако, содержание этого металла и его паров много меньше уровня, установленного Всемирной организацией здравоохранения<sup>1</sup>.

Поступление ртути из водной среды в воздушную, скорее всего, прямо зависит от биологической активности морских организмов и от интенсивности апвеллинга — подъе-

ма глубинных вод, насыщенных органическими веществами, к поверхности океана. Можно предполагать, что содержащиеся в ртуть органические вещества разлагаются обитающими в воде бактериями; ртуть может выделяться также в ходе жизнедеятельности фитопланктона; не исключено, что и глубоководные организмы поставляют ее в значительных количествах.

По мнению исследователей, примерно 30 % ртути, содержащейся в атмосфере, имеет антропогенное происхождение; столько же выделяется из океанических вод; оставшаяся часть поставляется при различных природных процессах — вулканических извержениях, выделении газов из геологических пород и т. п.

Поскольку авторы приводят лишь оценочные данные, к тому же касающиеся всего одного, пусть и очень крупного региона, глобальных выводов делать пока нельзя — необходимо дальнейшее глубокое изучение рассматриваемых процессов.

Science, 1986. Vol. 231. № 4742. P. 1131 (США); New Scientist, 1986. Vol. 110. № 1501. P. 20 (Великобритания).

Палеоэкология

## Перестройки фауны морских моллюсков Европы

Морские моллюски, так хорошо сохраняющиеся в ископаемом состоянии, перенесли резкие перестройки лика Земли в эпохи великих четвертичных оледенений (750—10 тыс. лет назад) с минимальными потерями: среди четвертичных моллюсков почти нет вымерших видов. Главная перестройка этой фауны происходила ранее — в миоцене и плиоцене (соответственно 24,5—5,1 и 5,1—1,8 млн лет назад). Один из ее важнейших эпизодов связан с раскрытием Берингова пролива во второй половине плиоцена. Поскольку похолодание в северной Пацифике началось зна-

<sup>1</sup> См.: Источник ртути в Средиземном море // Природа. 1985. № 3. С. 119.

чительно раньше, чем в северной Атлантике, к моменту раскрытия Берингова пролива тихоокеанская фауна оказалась уже подготовленной к новым условиям. Через широкий и глубокий пролив в Арктику и далее в Атлантику хлынули тихоокеанские бореальные вселенцы. Ныне фауна моллюсков Северного моря состоит из двух отчетливо различающихся компонентов: тепловодного средиземноморско-атлантического и относительно холодноводного тихоокеанского.

Как происходила перестройка фауны морских моллюсков Западной Европы за последние 5 млн лет? Ответ дает исследование, проведенное итальянскими палеонтологами С. Раффи и Р. Марастри и американским палеонтологом С. Стенли<sup>1</sup>. Они составили полный список двустворчатых моллюсков подкласса Polysyringia, известных в отложениях плиоцена, плейстоцена и в современной фауне Средиземного и Северного морей, и проанализировали их географическое распространение. Доля вымерших видов оказалась очень велика: из отмеченных для верхнего плиоцена видов к настоящему времени исчезли 54%. Для сравнения: в плиоценовых отложениях Японии и Калифорнии — около 30% вымерших видов, Флориды и побережий Карибского моря — 32%, а в тропической Восточной Пацифике — лишь 15%<sup>2</sup>. Следовательно, фауна морских моллюсков Европы испытала особенно крупные изменения. Они привели к существенному обеднению фауны. Первыми вымирали тропические виды; широко распространенные и нетребовательные к температуре воды эвритермные моллюски вымирали в наименьшей степени, и доля их с течением времени повышалась. Так, общие для Средиземного и Северного морей моллюски составляли в раннеплиоценовой

фауне Средиземного моря только 24%, а в современной — уже 56%.

Сопоставив данные по моллюскам с данными по палеоклиматам, авторы восстановили основной ход событий. Климат Средиземноморья в раннем плиоцене был почти тропический, и жило там немало видов, которые ныне встречаются только у атлантических берегов Африки южнее Марокко. В Северном море летом было почти как в Венеции, но зимой примерно так же, как сейчас. Позже сезонные различия климата сгладились, что, вероятно, было связано с изменением направления Гольфстрима. В миоцене на месте Панамского перешейка существовал глубоководный морской пролив и значительная часть тропических атлантических вод уходила в Тихий океан. Затем пролив стал мелеть и в середине плиоцена (3,5—3,1 млн лет назад) полностью закрылся. По мере его обмеления все большая часть вод Гольфстрима поворачивала на северо-восток, к берегам Европы, смягчая зимние холода и сглаживая сезонность климата. Примерно 3,2—3,0 млн лет назад произошла мощная Берингийская трансгрессия и установилась широкая связь между Арктическим, Атлантическим и Тихим океанами. Охлажденные поверхностные воды распространились далеко на юг. Похолодание было не очень сильным, но для тропической фауны, особенно средиземноморской, стало катастрофой. Усиление пасторов привело к активизации Канарского апвеллинга и создало барьер холодных вод у северо-западной Африки — тропические обитатели Средиземноморья попали в изоляцию и в основном вымерли. На севере Атлантики, у Исландии, появились тихоокеанские вселенцы.

Около 2,5—2,4 млн лет назад произошло новое, гораздо более сильное похолодание. В это время континентальные ледники уже достигали прибрежных районов северной Атлантики, появились айсберги, но Арктический океан еще долго не становился Ледовитым. Обусловленное образованием покровных ледников падение уровня Мирового океана привело

к закрытию Берингова пролива. Резко усилилось вымирание тепловодных видов и в Средиземном, и в Северном морях. На место вымерших пришли с севера виды тихоокеанского происхождения. Так возникла смешанная фауна моллюсков Северного моря. В самом начале плейстоцена (около 1,8 млн лет назад) холодноводные моллюски проникли и в Средиземное море. К этому времени вымирание тепловодных видов в основном закончилось и господствующее положение в биоценозах заняли широко эвритермные моллюски. Когда около 1,7 млн лет назад начался глобальный рост континентальных льдов, образовались материковые ледниковые щиты и Северный Ледовитый океан покрывался паковым льдом, в Северном и Средиземном морях уже жили только виды, приспособленные к резким колебаниям температуры. Они и дожили до наших дней.

**К. Н. Несис,**  
кандидат биологических наук  
Москва



Охрана природы

## Орлан-белохвост вернется в Ирландию

Последний раз орлана-белохвоста (*Haliaeetus albicilla*) видели в Ирландии около 70 лет назад. С тех пор этот вид числится здесь вымершим. Однако в не столь уж удаленной Норвегии орлану-белохвосту ничего пока не угрожает. Недавно ирландская общественная природоохранительная организация обратилась к норвежским властям с просьбой разрешить вывезти из Скандинавии 50 особей. Разрешение получено, и скоро, надо полагать, эти птицы снова начнут парить над «Зеленым островом». Надежда на это подкрепляется тем фактом, что в Шотландии аналогичная операция уже увенчалась успехом.

Ambio. 1986. Vol. XV. № 2. P. 123 (Швеция)

<sup>1</sup> Raffi S., Stanley S. M., Marasti R. // Paleobiology. 1985. Vol. 11. № 4. P. 368—388.

<sup>2</sup> Vermeij G. J., Petuch E. J. // Malacologia. Ann-Arbor, 1986. Vol. 27. № 1. P. 29—41.

# ВПЕРВЫЕ — ВСЕ О БИОЛОГИИ

И. В. Перевозчиков,  
кандидат биологических наук  
Москва

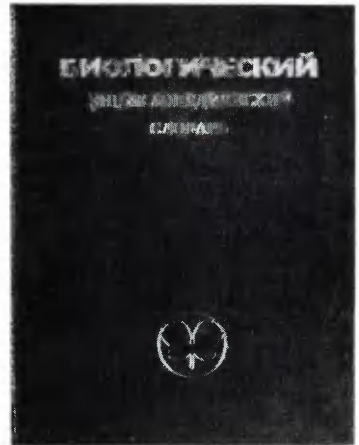
**Т**ЕОРЕТИЧЕСКУЮ и особенно практическую значимость биологических знаний в наши дни трудно переоценить. Понятия из области науки о живом, сравнительно недавно известные лишь узкому кругу специалистов, сегодня стали привычными для миллионов людей и более того — вошли в образ их мышления. Трудно охарактеризовать современную общественную и культурную жизнь, не пользуясь словами «биосфера», «экология», «охрана природы», «наследственность», «молекулярная биология», «генная инженерия». Эти очевидные свидетельства успехов биологии, поставивших ее в первые ряды естествознания, и явились, несомненно, главной причиной, подвигнувшей сотрудников издательства «Советская энциклопедия» на многотрудное дело — составление первого в нашей стране универсального справочного издания по биологии.

Приведу несколько цифр. В Словаре около 7600 статей, принадлежащих перу почти 500 авторов. Свыше 800 страниц текста, набранного убористым шрифтом, содержат примерно 1000 рисунков, не считая 58 отдельных таблиц-вклеек, многие из которых цветные. (Кстати, следует отметить их хорошее исполнение.) Кроме своей основной части, Словарь содержит именной указатель ученых, включающий свыше 800 имен.

Этот указатель дает дату рождения или годы рождения и смерти ученого, сообщает, из какой он страны, какова его основная специализация, и отправляет читателей к страницам Словаря (с обозначением колонки набора), где он упоминается. Отмечены лауреаты Нобелевской премии и год ее присуждения. Затем следует указатель латинских названий (свыше 10 000) с отсылками к статьям и рисункам. После него — предметный указатель (около 7000 названий) и краткий перечень синонимических названий организмов. В конце приведен перечень рекомендуемых литературных источников по 21 разделу биологии, где в хронологическом порядке перечислены отечественные и зарубежные монографии, учебники, журналы, энциклопедии и т. д., причем только часть этого списка повторяет уже упомянутые в тексте названия. Иными словами, это вполне самостоятельный источник информации.

При таком разнообразии тем и обилии материала трудно обычным образом отрецензировать издание. Такую рецензию можно составить только из отзывов многочисленных пользователей Словаря. Но для представления о структуре Словаря, степени его полноты и внутренней логике автор этих строк произвел, так сказать, выборочный анализ.

Во-первых, в случайной



БИОЛОГИЧЕСКИЙ ЭНЦИКЛОПЕДИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ / Гл. ред. М. С. Гиляров. М.: Советская энциклопедия, 1986. 832 с.

выборке из 250 статей примерно 50 % пришлось на описания различных систематических единиц. Вторая половина — это определения эволюционных терминов, понятий из области анатомии, морфологии, биохимии и т. д. В своем большинстве эти статьи дают хорошее представление о современном состоянии вопроса и достаточно полны в исторической части. При характеристике организмов отмечается их хозяйственное значение и экологический статус (вредитель, объект промысла, опасен для человека и т. п.). Очень созвучны сегодняшним проблемам указания на состояние вида (сокращается, исчезает) и пометки, что тот или иной вид занесен в Красную книгу. Изложение фактов ясное и достаточно едино по стилю. Специальная научная терминология применена в разумных пределах, и тексты должны быть понятны массовому читателю. Тут чувствуется тщательная и квалифицированная работа биологической редакции издательства.



Во-вторых, так как словари часто используются в качестве своеобразных мини-учебников, интересно было посмотреть работу системы отсылок. Взяв за исходную точку несколько элементарных понятий (ген, эмбрион и т. д.), я совершил несколько путешествий по Словарю и обнаружил, что термины увязаны между собой и образуют своеобразные «циклы» и «деревья». С такой же целью я спросил нескольких биологов и небиологов, о каком биологическом термине или организме они хотели бы узнать из Словаря, и предложил им прочитать соответствующие статьи. «Коэффициент удовлетворенности» был высок. К слову сказать, я спрашивал и о том, хотели бы они иметь Словарь в своем личном пользовании. Почти все ответили утвердительно (зная о его сравнительно высокой цене) и интересовались, где его можно купить. Насколько известно автору — нигде, по крайней мере в Москве. Словарь, вышедший стотысячным тиражом и раскупленный как детектив-бестселлер — лучшее доказательство своевременности инициативы, предпринятой издательством «Советская энциклопедия».

Естественно, что в Словаре есть недостатки, как частные так и более общего плана. Естественно по причине, что такой словарь — первый опыт. По моим сведениям, в зарубежной литературе также не было краткой биологической энциклопедии, рассчитанной одновременно и на специалистов, и на широкий круг читателей.

К частным недостаткам следует отнести пропуски некоторых широкоприменяемых терминов. Например, в число определяемых слов не вошли «преципитация» («агглютинация» есть) и «популяционная генетика», хотя оба термина упоминаются в других статьях. Выпал раздел о типах телосложения

человека. Полагаю, что такие пропуски есть и еще. Было бы хорошо, если бы пользователи Словаря откликнулись на просьбу издательства в отношении поправок и замечаний. Словарь — дело общее. Но надо учесть — перед нами одним.

К недостаткам общего плана можно отнести почти полное отсутствие аналитических формул. Например, в физиологических и экологических статьях. Структурные формулы и графики не всегда их могут заменить, а для исследователей смежных дисциплин аналитическое выражение закономерностей иногда более информативно. Маловато эволюционных схем и деревьев. Это, возможно, объясняется скепсисом современных исследователей по отношению к достоверности многих филогенетических последовательностей, но все-таки можно было бы привести некоторые из них, с комментариями по спорным вопросам. Очень хорошо, что дан указатель латинских названий, но, учитывая характер издания, стоило бы привести и их русские эквиваленты.

Мне приходилось слышать мнение, что недостатком Словаря является отсутствие персоналий известных ученых. Можно полагать, что в редакционной коллегии этот вопрос обсуждался, и легко представляю себе проблему: «кого включить?» Но в данном случае, по видимому, эта проблема была закрыта в силу другого обстоятельства — необходимости втиснуть текст в одну книгу.

Хотелось бы в заключение сказать еще об одном. Просматривая Словарь, автор открыл для себя много любопытных фактов и полностью согласен с мнением составителей, что «мир живых существ бесконечно интересен и значителен сам по себе, независимо от узкой специализации биолога».

В. С. Черняк

## ИСТОРИЯ ЛОГИКА НАУКА

В. С. Черняк. ИСТОРИЯ. ЛОГИКА. НАУКА / Отв. ред. И. С. Тимофеев. М.: Наука, 1986. 372 с.

**И**СТОРИЯ говорит о том, как нечто происходило, логика — о том, как это могло и может происходить. В книге обсуждается вопрос, как соотносится реальный процесс развития науки с логикой ее развития. Принципиальная трудность здесь заключается в неоднозначности трактовки самого понятия «логика науки». Традиционно «логику науки» отождествляли с «логикой ее предмета» — выявлением логических отношений между научными результатами. Такая логика изучает результаты научного познания, но не само познание. Вне ее компетенции остаются закономерности научных открытий, закономерности развития знания — словом, все то, что относится к реальной деятельности ученого.

Понимание логики науки как логики ее предмета естественно для ученого. Он не может одновременно изучать свой предмет и становление знания об этом предмете, как нельзя рассматривать некий предмет, исследуя одновременно устройство своего глаза.

Автор показывает, что такое ограничение логики науки

# ЛОГИКА РАЗВИТИЯ НАУКИ

Ю. А. Шрейдер,  
доктор философских наук  
Москва

исследованием и обоснованием готовых результатов математики, физики, биологии и других областей знания оказалось канонизированным в неопозитивистской философии науки. Стремясь к высоким стандартам строгости в ее логико-математических образцах, неопозитивисты вынуждены были ограничиться жесткими идеализированными моделями науки, в которых не было места незавершенным теориям, их связи с культурными тенденциями, вопросам выбора и предпочтения значимых для ученого фактов, вопросам становления метода и выбора предмета исследования и другим человеческим факторам развития науки.

Все это привело к искажению самого предмета науковедения и созданию неверной концепции развития науки — так называемой кумулятивной модели. В этой модели развитие науки выглядит как процесс последовательного накопления опирающихся друг на друга окончательных истин. Современное науковедение возникло и окрепло именно в противоборстве с кумулятивной моделью.

Схеме накопления результатов автор противопоставляет логику развития научных методов, возникающих путем переосмысления получаемых результатов. Слово «логика» здесь правомерно потому, что речь идет о необходимости выполняющихся закономерностях появления новых средств в арсенале научного познания. С помощью этих же закономерностей

автор пытается выявить, что делает науку самостоятельным феноменом — отличает ее от других способов познания. При этом история науки оказывается тесно связанной, а в значительной мере и обусловленной общими социокультурным фоном. Наука одновременно нераздельна с культурой в целом (в том числе с философским мышлением) и неслиянна с нею.

Пересмотр классической кумулятивной теории научного знания связан с пониманием происходящих в естествознании революций, разрушающих многое из казавшегося бесспорным. Сегодня понятие научной парадигмы, по Т. Куну, стало общеизвестным не только для исследователей науки, но и для сообществ ученых. Кун впервые предложил некумулятивную концепцию эволюции науки, состоящую в смене парадигм, а не в их последовательном наращивании.

В. С. Черняк справедливо замечает, что «никто не оспаривает влияние научной мысли на философию. Но в отношении влияния философии на эволюцию научной мысли дело обстоит намного сложнее» (с. 49). Он подчеркивает значение «принципа единства человеческого познания», по А. Койре. Этот принцип позволяет увидеть в ходе научных идей «причудливое переплетение различных сфер человеческого сознания» (с. 51).

Отказ от кумулятивной модели помогает перейти к более адекватному пониманию

«логики науки». По мнению автора, «логика науки исследует реальные или просто возможные формы научного знания и способы его преобразования» (с. 4). В книге даны примеры нереализованных логических возможностей в истории науки. Так, геометрическая интерпретация физики была уже подготовлена Эрлангенской программой Ф. Клейна, но оставалась еще не реализованной более 30 лет, до создания специальной теории относительности.

Специфическая особенность научного знания состоит в его делении на теоретическое и эмпирическое. Развитие науки подразумевает смену теорий, позволяющих по-новому осмыслить известный эмпирический материал и обнаружить новый. Однако само понятие теории совсем не так просто, как это может показаться на первый взгляд. Например, теорию нельзя отличить от эмпирического знания по тому признаку, что она требует больших (или более абстрактных) интеллектуальных усилий. Выделение и организация фактов отнюдь не сводятся к их непосредственному лицезрению, но требуют мыслительной работы. Успехом автора книги можно с полным правом считать разработку концепции теории на основе исходного признака: единства понятийного сохранения и изменения. Из этой абстрактной «клеточки» удастся развить полноценную концепцию теории, во всем богатстве ее конкретных проявлений.

Исторически такое понимание теории восходит к Г. В. Лейбницу. Автор указывает на связь своей концепции с понятиями преобразования и инварианта, лежащими в основе Эрлангенской программы Клейна, которая предлагает строить на этих понятиях различные типы геометрических теорий. Геометрическая теория изучает свойства фигур, инвариантные относительно некоторой группы преобразований. Остальные свойства суть конкретные факты, относящиеся только к данной фигуре, так сказать, геометрическая эмпирия. Скажем, наклон гипотенузы прямоугольного тре-

угольника к оси абсцисс есть факт, касающийся данного треугольника, но ее длина при этом есть уже факт метрической геометрии.

В проективной геометрии само свойство перпендикулярности принадлежит эмпирии, ибо проективные преобразования не сохраняют углы. Точно так же в физике язык теории может описывать лишь «инвариантные» свойства, а не индивидуальные особенности физических тел. Теория повествует о причинных связях между событиями А и В, выполняемых «всегда и везде» (в пределах некоторого универсума), хотя сами события А и В могут быть крайне редкими и их появление есть чисто эмпирический факт.

Исследуя факты в системе научного знания, автор показывает, что факт должен быть выражен в некоторой общедоступной форме и тем самым включен в систему знания. «Научный факт представляет собой рациональное воспроизведение (истолкование) определенных сторон наблюдаемых явлений» (с. 155). Это свойство факта обычно называют его теоретической нагруженностью.

Немаловажным успехом автора книги оказывается объективное проведение демаркационной линии между наукой и «ненаукой», выявление специфики научного познания, состоящей в самовоспроизводимости необходимых предпосылок движения науки.

Стоит особо отметить исследование автором эффекта «оборачивания метода» как неотъемлемого логического закона развития науки. Этот эффект связан с диалектическим взаимодействием двух аспектов науки — результатов научной деятельности и способов их получения. Необходимые предпосылки движения любой органической системы постоянно воспроизводятся ею самой. Она сама строит средства своего развития на основе достигнутых результатов. Результаты становятся предпосылками дальнейшего движения. Происходит «оборачивание ролей»: причина превращается в следствие, которое само становится причиной.

Этот эффект четко выявил К. Маркс при анализе воспроизводства капитала и структуры денежного обращения. Но этот же эффект действует не только в процессе материального воспроизводства, но и в процессе воспроизводства научного знания. Автор показывает, как сущность этого приема была раскрыта Марксом в «Математических рукописях». Полученные в исследованиях на основе традиционного метода результаты переосмысляются в качестве нового, более эффективного метода. «В соответствии со стратегией оборачивания метода содержательные математические теории превращаются в формальные системы, которые, в свою очередь, становятся исходным пунктом развития математической мысли» (с. 212).

Новые математические конструкции начинают действовать как средства изучения других математических объектов, позволяя часто получить решение давно сформулированной проблемы. Открытие дифракции рентгеновских лучей на кристаллической решетке дало в руки исследователей мощное средство исследования структуры вещества. Открытие в физике эффекта Мёссбауера дало в руки экспериментаторов новое средство измерений. Умножить число таких примеров нетрудно. Труднее понять, что оборачивание метода — это типичный, но не кумулятивный способ развития науки.

Новые знания не складываются, не переосмысляются, приобретают не предназначавшуюся им заранее роль. Феномен оборачивания метода означает практическую невозможность предсказать, чем обернется будущий научный результат. Поэтому бессмысленно пытаться жестко направлять ход фундаментальных научных исследований, нужно создавать многообразие результатов. Целенаправленность требуется при внедрении результатов, уже определившихся в качестве возможных средств решения тех или иных технологических задач. Здесь взрывается не только традиция позитивизма в фи-

лософском анализе науки — мина закладывается под классический рационализм Р. Декарта и Ф. Бэкона.

Классическая трактовка рациональности исходила из представления об инвариантной природе человеческого сознания, способного к непрерывному инвариантному созерцанию уместимого мира. Неклассическая рациональность требует рассмотрения динамики сознания познающего субъекта, с его иллюзиями, сменами точки зрения, саморефлексией, не осознаваемыми познавательными установками. Классическая рациональность предполагает, что познающее сознание аналогично кинокамере, способной запечатлеть мир с одной правильно выбранной позиции. Неклассическая — предполагает необходимость активно движущейся камеры. Неклассическая рациональность снимает обоснованные претензии на генерализацию знаний, на сверхуниверсальность научных методов, заставляет внимательнее относиться к анализу конкретных случаев, учитывать конкретный опыт и интуицию профессионалов.

Наука несколько теряет в своей репутации сверхчеловеческого могущества, зато проявляются ее человеческое происхождение и место в культуре. Становится ясным, что наукой нельзя манипулировать, как механическим устройством, — можно только создавать условия для ее развития по присущим ей законам и внимательно следить за тем, что из арсенала науки может быть использовано в ближайших технологических разработках на благо человечества.

Рецензируемая книга сама характерна научным подходом, фундаментальным рассмотрением науки как предмета философского исследования. Философствование такого стиля должно быть, мне кажется, с сочувствием встречено аудиторией ученых-естественников, интересующихся загадкой феномена науки.

## Космические исследования

**КОСМИЧЕСКОЕ ОРУЖИЕ: ДИЛЕММА БЕЗОПАСНОСТИ** / Под ред. Е. П. Велихова, Р. З. Сагдеева, А. А. Кокوشина. М.: Мир, 1986. 182 с. Ц. 1 р. 50 к.

Всесоюзной конференцией ученых за избавление человечества от ядерной войны, за разоружение и мир, состоявшейся в мае 1983 г., был избран Комитет советских ученых в защиту мира, против ядерной угрозы. Для проведения специальных исследований научно-технических, военно-стратегических и международно-политических аспектов реализации «стратегической оборонной инициативы» (СОИ) в Комитете была образована рабочая группа, в которую вошли члены Комитета и эксперты — специалисты по естественным, общественным, военным наукам и технике.

Книга «Космическое оружие: дилемма безопасности», вышедшая в свет на русском и английском языках, представляет собой обобщение исследований, проведенных этой группой. В первых пяти главах рассмотрены потенциальные боевые компоненты космического эшелона системы ширококомасштабной ПРО; техническая и оперативная надежность боевых космических станций; научно-технические аспекты создания систем перехвата баллистических ракет на конечном участке их траектории; потенциальные возможности использования космических средств поражения для ударов по воздушным и наземным целям; перспективы создания подсистем обнаружения, опознавания, наведения на цель и боевого управления, а также требования, которые на них накладываются.

Вопреки настойчиво рекламируемой «неуязвимости» космического «щита» уже сегодня, как убедительно показано советскими учеными, можно рассматривать активные и пассивные контрмеры. Об этом рассказывается в шестой главе. Далее обсуждаются военно-стратегический и международно-политический аспекты разра-

ботки, создания и развертывания ширококомасштабной системы ПРО. Девятая, последняя глава содержит опровержение расхожего аргумента сторонников СОИ, будто научно-исследовательские и опытно-конструкторские разработки (НИОКР) по военным заказам будут стимулировать научно-технический прогресс в гражданских направлениях. Этот аргумент основан на сравнении возможных здесь результатов с «нулевым продвижением», а не с тем прогрессом, который стал бы реальностью, если бы колоссальные военные расходы стран, вовлекаемых в подготовку к «звездным войнам», были потрачены на мирные НИОКР.

которые и определили направление исследований. Последовательность изложения материала соответствует последовательным стадиям эволюции двойных систем, причем рассказ о каждой стадии ведется на примере конкретно наблюдаемой двойной звезды с описанием истории ее открытия и исследования. Одновременно раскрывается суть основных астрофизических методов изучения двойных звездных систем. Оживляющее изложение и помогают лучше его понять рисунки, сделанные самим автором.

## Физика

### Астрофизика

**В. М. Липунов.** В МИРЕ ДВОЙНЫХ ЗВЕЗД. М.: Наука, Гл. ред. физ.-мат. лит. (Б-чка «Квант». Вып. 52), 1986. 208 с. Ц. 35 к.

В нашей Галактике большая часть звезд — двойные. Одиночную звезду исследовать очень трудно. Другое дело, если звезда входит в состав двойной системы: двойственность многое делает доступным; можно сказать, что добавление к одной звезде другой эквивалентно прибавлению еще одного измерения.

Но хотя двойные звезды исследуются уже несколько столетий, только в последние десятилетия астрономы начали понимать законы, по которым живут эти звезды. Особенно большие сдвиги произошли за последние 10 — 15 лет благодаря развитию рентгеновской астрономии. Привлекает в двойных звездных системах многообразие протекающих в них физических процессов, для понимания которых необходимо знание практически всех разделов современной физики.

Естественно, рассказать обо всем, что нового и интересного произошло в науке о двойных звездах, в одной книге невозможно. Автор старался выделить принципиальные идеи, ко-

**Кл. Э. Суорц.** НЕОБЫКНОВЕННАЯ ФИЗИКА ОБЫКНОВЕННЫХ ЯВЛЕНИЙ / Пер. с англ. Е. И. Бутикова и А. С. Кондратьева: В 2 т. Т. 1. М.: Наука, 1986. 400 с. Ц. 2 р. 10 к.

Появился еще один курс физики, предназначенный учащимся общеобразовательных и профессиональных школ, а также лицам, занимающимся самообразованием. Казалось бы, событие вполне ординарное, но не ординарна сама книга — по построению, подходу к излагаемому материалу.

Знакомство со стандартными темами начинается в ней с примеров из реального, окружающего читателя мира. Читателю предлагается проделывать несложные опыты при помощи легко доступных подручных средств. Можно «пощупать» явление, «подержать его в руках». Такой путь облегчает восприятие абстрактных умозаключений, без которых так или иначе невозможно обойтись, изучая любую область науки. Теоретический материал излагается с использованием минимума математических средств. Текст сопровождается многочисленными рисунками, схемами, диаграммами и графиками, а также простыми оценками и расчетами. Все это, безусловно, делает книгу живой и занимательной.

В русском издании она разделена на два тома. В пер-



вый включены главы, посвященные классической механике, а также специальной и общей теории относительности, термодинамике. Во второй том войдут геометрическая и волновая оптика, теория электромагнетизма, а также представления о микроструктуре мира.

### Экология

**Х. Секи.** ОРГАНИЧЕСКИЕ ВЕЩЕСТВА В ВОДНЫХ ЭКОСИСТЕМАХ / Пер. с англ. Е. А. Мирidonовой. Под ред. А. В. Цыбань и Л. Д. Вороновой. Предисл. А. В. Цыбань. Л.: Гидрометеониздат, 1986. 200 с. Ц. 2 р. 50 к.

Хумитаке Секи, профессор Института биологических наук в университете Цукуба (Япония), — эколог с мировым именем. В его новой книге описаны общие принципы эволюции организмов в водной среде, показано воздействие температуры, солености, поверхностного натяжения, гидростатического давления и других факторов на функционирование водных экосистем, проанализированы основные закономерности изменения органических веществ под влиянием бактерий и т. п. Насыщенность разнообразным фактическим материалом делает книгу Х. Секи интересной не только для гидробиологов и океанологов, но и для специалистов смежных дисциплин.

### Биология

**Е. П. Губанов, В. В. Кондюрин, Н. А. Мягков.** АКУЛЫ МИРОВОГО ОКЕАНА. Справочник. М.: Агропромиздат, 1986. 272 с. Ц. 1 р. 40 к.

Этот справочник — наиболее полное и разностороннее издание об акулах — может послужить прототипом для составления аналогичных справочников-определителей и по другим мало изученным группам морских животных. От вышедшего в 1984 г. в Риме двухтомного атласа акул Д. Компаньи он отличается большим объемом новых сведений: это данные совет-

ских авторов, полученные, в частности, в результате научно-поисковых и исследовательских рейсов во все районы Мирового океана. Отсутствие такой информации в иностранных источниках обедняет общепринятые представления об акулах, а когда речь идет о районах открытого океана и больших глубин (где основные исследования проводятся советскими учеными), то в значительной мере и искажает.

Первая часть книги содержит общие сведения об акулах, вторая дает описание всех современных таксонов акул в интерпретации авторов (7 отрядов, 23 семейства, 89 родов и 349 видов с рядом подвидов). Ряд таксонов описан впервые.

45 таблиц, помещенных в книгу, содержат обширную информацию о морфологических характеристиках более чем ста видов и подвидов акул, ареалах их обитания. Но рисунков могло бы быть и больше. Несомненную пользу в работе со справочником принесут многочисленные синонимы и детальные определительные ключи, которые выделены в отдельную главу.

**Н. Н. Васильева**  
Калининская обл.,  
пос. Сулежский Борок

### Психология

**Р. Бернс.** РАЗВИТИЕ Я-КОНЦЕПЦИИ И ВОСПИТАНИЕ / Пер. с англ. Общ. ред. и вступ. ст. В. Я. Пилиповского. М.: Прогресс, 1986. 422 с. Ц. 1 р. 80 к.

Для психологов и педагогов становится все более очевидным, что Я-концепция — представление о самом себе — во многом определяет поведение и школьные успехи ребенка. В раннем детстве важнейшую роль в развитии Я-концепции играют родители. Позднее в этот процесс включается школа, и ее влияние становится весьма значительным. Дети с отрицательной самооценкой склонны чуть ли не в каждом деле находить непреодолимые препятствия. У них высокий уровень тревожности, они хуже приспосабливаются к школьной жизни, с трудом

сходятся со сверстниками, учатся с явным напряжением. Положительная Я-концепция определяется тремя основными факторами: твердой убежденностью в импонировании другим людям, уверенностью в способности к тому или иному виду деятельности и чувством собственной значимости.

Автор — один из ведущих английских ученых в области социальной психологии и педагогики — убежден, что признание изначальной ценности человека способствует не только раскрепощению его творческих способностей, но и формированию уважительного отношения к другим людям. Заинтересованный читатель найдет в книге много ценных и выверенных на практике педагогических советов.

### Геология

**В. П. Гаврилов.** ПРОИСХОЖДЕНИЕ НЕФТИ / Отв. ред. К. Р. Чепиков. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1986. 174 с. Ц. 60 к.

Много десятилетий идет дискуссия между приверженцами теории органического происхождения нефти и сторонниками ее неорганического природного синтеза. Генезис других полезных ископаемых, рудных и нерудных, обычно не вызывает сомнения. Что же касается нефти, то здесь еще многое остается неясным.

В. П. Гаврилов в своей книге рассматривает широкий круг вопросов, в том числе химические и физические свойства нефти и природного газа, геологические условия залегания углеводородов в недрах (залёжи, месторождения, провинции и пояса). Изложена история развития нефтяной и газовой промышленности, завершающаяся прогнозом энергетического баланса мира на 2000 г., из которого следует возможное сокращение доли нефти с 46 % (1980 г.) до 31 %. Дан краткий критический обзор основных гипотез происхождения нефти, начиная от работ М. В. Ломоносова и до современных представле-

ний, основанных на концепции глобальной тектоники литосферных плит. При этом автору удалось показать положительную роль многих построений, принадлежащих как «органикам», так и «неорганикам».

В книге приведено много доводов в пользу того, что месторождения нефти — продукт переработки органики в земных недрах, своим происхождением обязанный движению литосферных плит. В рамках этих представлений В. П. Гаврилов излагает и свою концепцию нефтегазообразования. Для земного шара им составлены две карты: размещения основных нефтегазоносных регионов и основных поясов нефтегазоаккумуляции земного шара (выделено 19 поясов). Закрыв книгу, читатель остается с убеждением, что научная дискуссия вокруг проблемы происхождения нефти приближается к завершению.

**Г. Е. Рябухин,**  
доктор  
геолого-минералогических  
наук  
Москва

#### География

**А. Г. Бабаев, И. С. Зонн, Н. Н. Дроздов, З. Г. Фрейкин.** ПУСТЫНИ / Отв. ред. Э. М. Мурзаев. М.: Мысль, сер. «Природа мира», 1986. 320 с. Ц. 2 р. 80 к.

Советскому читателю не приходится жаловаться на недостаток книг о пустынях. Но столь фундаментальное издание справочного характера, ориентированное на массового читателя, выходит впервые. Книга состоит из трех крупных разделов: «Общие сведения о пустынях» (описаны закономерности образования и распространения пустынь, их классификация); «Физико-географическая характеристика пустынь» (представлены особенности пустынь Средней Азии и Казахстана, Центральной Азии, Иранского нагорья, п-ова Индостан, Аравийского п-ова, Африки, Северной и Южной Америки, Австралии); «Пустыня и цело-

век» (дана характеристика эколого-географических и социально-экономических аспектов освоения пустынь, описаны процессы опустынивания и мероприятия по охране аридных экосистем). В общей сложности читатель получает комплексное представление о почти 150 пустынях мира. Книга содержит около 200 цветных фотографий, многочисленные схемы и рисунки.

#### История науки

**Г. Е. Павлова, А. С. Федоров.** МИХАИЛ ВАСИЛЬЕВИЧ ЛОМОНОСОВ (1711 — 1765) / Отв. ред. Е. П. Велихов. М.: Наука, науч.-биограф. сер., 1986. 464 с. Ц. 3 р. 70 к.

В праздновании 275-летия со дня рождения Ломоносова необычайно активно участвовали все средства массовой информации. Но несмотря на это — на лавину публикаций, радиопередач, большой телевизионный сериал — чувства перенасыщения не наступило. Напротив, интерес к жизни, литературному творчеству и научным трудам Ломоносова приобрел поистине всеобщий характер. Поэтому книге Г. Е. Павловой и А. С. Федорова не грозит опасность запылиться на полках — ее будут читать.

На сегодня это самая полная научная биография корифея русской науки и культуры, написанная на основании современного прочтения его наследия и литературы о нем. Книга состоит из двух частей — «Жизненный путь» и «Творчество». Перед читателем вновь проходит судьба Ломоносова — трудная и прекрасная судьба гения. И снова поражаешься глубине его вхождения в новые области химии, физики, астрономии, геологии, техники, экономики, истории, языка и литературы, широте и патриотичности его организационных начинаний.

В книге убедительно показано, что неувядаемая популярность Ломоносова, говоря словами автора редакционного вступления академика Е. П. Велихова, «объясняется не только тем, что Ломоносов был осново-

положником ряда важнейших отраслей знания, а его гениальные идеи и прогнозы на многие десятилетия определили пути научного прогресса, но и тем, что он основал передовые традиции, прочно вошедшие в русскую науку и культуру».

#### Философия естествознания

**И. Б. Криштопайтис.** ФИЗИЧЕСКАЯ РЕАЛЬНОСТЬ В КВАНТОВОМ АСПЕКТЕ. (Историко-методологический анализ) / Отв. ред. П. Славенас. Вильнюс: Минтис, 1986. 119 с. Ц. 1 р. 40 к.

В центре внимания автора — генезис и методологическая значимость современного знания об атомно-молекулярных системах, изучаемых физикой твердого тела и квантовой химией. Среди изданий по близким философским вопросам эту книгу особенно выделяют два обстоятельства. Во-первых, автор обсуждает возникновение и развитие таких важных понятий, как квазичастица, квантовый кристалл, самосогласованное состояние и др., которые становятся ключевыми при современном описании физической реальности. Другой примечательной чертой является структура книги, выделение в ней узловых представлений и понятий, к которым удобно возвращаться в ходе обсуждения проблемы с привлечением новых естественнонаучных результатов.

Объясняя название книги, автор пишет. «... лишь в последние годы мы начали осознавать, что перед нами уже оформившееся особое видение реальности — квантовый аспект материального мира, новое интеллектуальное достояние нашей цивилизации».

Книга снабжена именным и предметным указателями, а также резюме на английском языке.

# ЛИТЕРАТУРНЫЙ ПОРТРЕТ Н. А. СЕВЕРЦОВА

Ольга Н.



Н. А. Северцов. Рисунок Т. Г. Шевченко. 27 марта 1852 г.

**Ч**ИТАТЕЛЮ предлагается отрывок из мемуаров Софьи Владимировны Энгельгардт (1828—1894)<sup>1</sup>. В середине и конце прошлого века она была заметной фигурой в московских литературных кругах. Ее повести и рассказы под псевдонимом Ольга Н. печатались в «Современнике», «Отечественных записках», «Библиотеке для чтения». Среди знакомых Энгельгардт — П. Я. Чаадаев, А. И. Герцен, Т. Н. Грановский, А. А. Григорьев, В. П. Боткин, Я. П. Полонский, Н. Ф. Щербина. Она переписывается с Ф. М. Достоевским. И. С. Тургеневым, а с конца 50-х годов становится активным корреспондентом А. А. Фета.

В московском доме Энгельгардт и ее сестер Новосильцевых — Екатерины Владимировны (тоже писательницы, ее псевдоним Т. Толычева) и Марии Владимировны — обсуждались новые художественные произведения и литературно-критические статьи, театральные постановки и игра актеров.

Дом Энгельгардт — Новосильцевых имел еще одну особенность. Вот что пишет об этом Софье Владимировне в 1871 г. Фет: «Вы сумели сделать свой дом приютом для всех огорченных или в чем-нибудь нуждающихся и незаметно заставили других им служить. Немного приятного выпало на долю каждой из вас, но после каждой новой невзгоды вы только все более предавались заботам о других. Побольше таких учреждений, как ваш дом, — на свете жилось бы легче». В этом-то доме на рубеже 1840—1850-х годов часто бывает молодой зоолог Северцов.

В последние годы жизни Энгельгардт пишет мемуары,

<sup>1</sup> Ольга Н. Из воспоминаний // Русское обозрение. 1890. № 11. С. 83.

в которых рассказывает о быте московского общества, о своих встречах и знакомствах, создает живые и яркие портреты. Ее мемуары — «Из воспоминаний» и «Из прошлого» — публиковались в журналах «Русский вестник» (1887 и 1889 гг.) и «Русское обозрение» (1890 г.). Несколько страниц в них посвящены Н. А. Северцову.

Николай Алексеевич Северцов (1827—1885) — классическая фигура в русской науке. Его считают первым отечественным зоогеографом и одним из основоположников экологии. Ему принадлежат выдающиеся работы, впервые давшие картину общего состояния фауны России, комплексные зоологические и геолого-географические исследования всей дотеле не изученной территории Средней Азии, монографические описания отдельных видов животных, в частности орлов и орлов, утверждавшие и развивавшие теорию Дарвина, которую, будучи эволюционистом, он в России принял в числе первых.

Характеризуя научный метод Северцова, его ученик академик М. А. Мензбир говорил: «Северцов-зоолог не мог бы написать такой, как сказано, монографии орлов; Северцов-геолог никогда не дошел бы до выводов, представленных им в его статьях «Об орографических образованиях Высокой Азии»; Северцов-географ никогда не дал бы такого описания Тянь-Шаньской и Памирской системы, как мы находим это в его географических сочинениях. Для работ такого высокого научного значения, как работы Северцова, надо было слитие в одном исследователе нескольких специалистов и подчинение массы частных сведений уму, способному к широким обобщениям путем индукции»<sup>2</sup>.

О Северцове написано немало<sup>3</sup>. В рассказах биографов он предстает не только как необычайно одаренный естествоиспытатель, но и как человек сильного характера. В мемуарах Энгельгардт упоминается о том, как он попал в плен к кокандцам и находился там целый месяц. Пропоротый пикой, которой его сняли с седла, и изрубленный шашкой, он выжил чудом. Это было в 1858 г., во время его первой научной экспедиции — путешествия по Туркестану. После освобождения (в результате военных демаршей) он, несмотря на не вполне зажившие раны, не спешил возвратиться домой: его захватила проблема отступления Каспийского моря и заселения Каспийской низменности животными прилегающих районов.

Средняя Азия влекла его к себе всю жизнь. Он приезжал сюда не раз, пользуясь любой возможностью. В 1864 г. он находился здесь с войсками генерала М. Г. Черняева и подвергал себя всем опасностям военной жизни, чтобы иметь возможность изучать Туркестанский край. Именно к этому моменту жизни Северцова относится другой описанный Энгельгардт эпизод — с Якуб-ханом.

В общении с людьми Северцов был абсолютно лишен каких бы то ни было амбиций, производил впечатление человека, почти отрешенного от обыденной жизни. Его рассеянность вошла в анекдоты, часть из которых передает Энгельгардт. «И однако едва ли более образцовый порядок можно найти в чьей-либо другой коллекции, будет ли это коллекция частного лица или ка-

кого-либо учреждения, — утверждал Мензбир. — Едва ли эта рассеянность не была только следствием крайней сосредоточенности на известных вопросах»<sup>4</sup>.

Умер Северцов неожиданно, не закончив многих своих трудов. Он переезжал замерзшую речку в своей родной Воронежской губернии, лед треснул, и лошади вместе с повозкой стали опускаться в воду. Северцов успел погрузиться разве что по пояс, его вынули, но вскоре обнаружилось, что он мертв.

Поскольку Энгельгардт пишет немного о «сердечных делах» молодого Северцова, то можно напомнить, что он был женат на Софье Александровне Полторацкой и имел единственного сына, Алексея Николаевича Северцова (1866—1936), тоже выдающегося зоолога, советского академика, именем которого назван Институт экологии и эволюционной морфологии животных АН СССР.

Слова Энгельгардт добавляют, может быть, и немного к тому, что известно о молодых годах Николая Алексеевича Северцова. Но неожиданная встреча с ученым в забытых литературных мемуарах удивительным образом передает читателю ощущение пусть неглубокого, но личного знакомства.

**Г. Д. Асланова**  
Москва

<sup>4</sup> Мензбир М. Цит. соч. С. XVIII.

геогр. о-ва. По общ. геогр. СПб., 1886. Т. XIII. С. XVII.

<sup>3</sup> См., напр.: Дементьев П. Г. Н. А. Северцов. М., 1948; Золотницкая Р. Л. Н. А. Северцов — географ и путешественник. М., 1953.

<sup>2</sup> Мензбир М. Николай Алексеевич Северцов // Зап. Имп. русск.



В 1852 году около нас образовался кружок сотрудников «Москвитянина», издававшегося Погодиным: Островский, Григорьев, Филиппов, Алмазов и Берг; к ним примкнули и другие, не принадлежавшие ни к какому лагерю, как Щербина, который только что выпустил в свет свои антологические стихотворения, Николай Алексеевич Северцов, известный зоолог...

⟨...⟩ Нельзя не сказать несколько слов об этой замечательной личности. Это был тип специалиста, или, вернее сказать, человек, одержимый бесом специальности. Личность его ступевалась за специалистом. Он весь ушел в науку, жил в особенном мире и как будто случайно попадал в наш мир. Ему надо было от чего-то освободиться, чтобы, наконец, сказался человек, и то не такой, как другие. Он говорил сквозь зубы, словно пережевывал слова, и когда говорил с кем-нибудь, смотрел в сторону, часто думая о другом. Ему случалось отвечать на вопрос через два дня, когда вы уже о нем совершенно забывали. Странности его истекали из одного источника, из господствующей мысли, которая отделяла его ото всего окружающего. Эти странности смешили, но он сам был слишком оригинален, чтобы казаться смешным. Они обуславливали его личность, выдвигали ее, как и все остальное, из ряда обыкновенных людей. О животных он говорил, как о мыслящих и близких ему существах.

Раз в зоологическом саду тигрица оцарапала ему руку; я спросила у него, как это случилось.

— Да я, — отвечал он, — к ней подошел, да просунул руку в клетку, хотел тигренка погладить, а она, не поразобрав, в чем дело, меня царапнула. Чуть было, паскудница, руку не оторвала.

Его можно причислить к тем героям науки, которые для нее жертвуют собой. Много было таких случаев в его жизни. Кафедра была его прямым назначением, но он от нее отказался. Она бы стеснила его свободу; ему не сиделось на месте. Он мечтал неусыпно о новых приобретениях для науки. В Туркестане Якуб-хан сажал на кол русских парламентариев, но Северцов пошел на опасность, имея только в виду исследование края. Никогда не служив в военной службе, ему пришлось водить отряд на приступ и взять на себя роль парламентаря, за которую уже двое наших погибли лютою смертью. Северцову первому обязаны географическою картой Туркестанско-

го края. Когда его командировали в ученую экспедицию для исследования Закаспийских степей, забыв, что он находился между дикими племенами, он зашел к ним в глубь этих степей, был взят в плен, изрублен, изувечен и страдал целый месяц и от ран, и от всякого рода лишений. Освободившись, наконец, он остался еще несколько месяцев в крае, чтоб опять приняться за дело. И эти подвиги совершались с такою простотой, с таким отсутствием самолюбия, что я о них большею частью узнала случайно.

Не нам, людям темным, следовать за этим неутомимым деятелем в разные части Европы и Азии, куда его влекло страстное призвание и откуда он возвращался с массой новых сведений и приобретений. На других лежит обязанность почтить его память и заставить уважать его имя даже тех, кто не способен оценить его значение. Скажу только, что те из его книг, которые были переведены на немецкий и английский язык, читались всею ученой Европой. ⟨...⟩

Дарвин, прочитав в переводе его книгу о возрастных изменениях птиц, сказал: «Вот мой преемник». В Берлине старый Гумбольдт навесил молодого ученого.

Северцов стоял в гостинице, где ему отвели, по его просьбе, самый дешевый номер. Раз после прогулки он возвратился домой, и кельнер с низким поклоном объявил ему, что пожитки его перенесли в другой номер, из самых лучших, так как в его отсутствие «Herr Geheimrath»<sup>1</sup> Гумбольдт спрашивал приезжего и оставил ему свою карточку.

Я знала коротко Северцова в частной жизни и могу ознакомить с ним читателя только с этой стороны. Сердце у него было доброе, мягкое; он был горячо привязан к своему семейству, где его любили и ценили вполне. Одна из его сестер с ранних лет держала в порядке его коллекции, отмечала ежедневно метеорологические наблюдения, словом, по мере сил старалась быть ему полезною.

Брат его Александр настолько ознакомился с его деятельностью, что, уезжая в экспедицию, Северцов поручал ему свои записи с просьбой их издать на случай смерти; только добрый старик отец роптал иногда на науку, которая чуть было не отняла у него сына. Он носил на груди портрет любимой сестры; таковы были его семей-

<sup>1</sup> Господин тайный советник (нем.).

Гравюра по зарисовке Н. А. Северцова и его рисунок к статье «Архары» (из сб. «Природа», 1873, кн. 1). Изображен сыртовой баран (*Qvis polii*).



ные отношения. Но если бы нашему чудачу пришлось возвращаться к своим, даже после долгой разлуки, я не ручаюсь, что пролетная птица не заставила бы его свернуть с дороги и не завлекла бы его на целые месяцы, за тридевять земель. Но все это было понятно и не вменялось ему в грех. Рассеянность его доходила до невероятности, и трудно было ее согласовать с верностью, ясностью и сжатостью, которыми, по словам знающих людей, отличалось его научное изложение. Однажды, возвращаясь домой, он зашел в чужую квартиру и, не замечая своей ошибки, расположился в первой комнате и принялся за рисунок. Хозяин дома его застал полураздетым и принял за сумасшедшего, а Северцов посмотрел на него преспокойно и спросил, что ему нужно.

— Я вас не знаю, — отвечал тот, — по какому случаю застаю вас, как у себя?

Северцов оглянулся и, опомнясь, наконец, но нисколько не смущаясь, стал

объяснять, что начал рисовать птицу у приятеля, но не успел ее кончить, да вошел нечаянно к незнакомому и присел за рисунок. Это странное объяснение не удовлетворило хозяина, который поспешил его проводить на улицу.

Северцов влюбился в мою сестру. Он бывал у нас ежедневно, иногда даже приходил утром, приносил с собой бумагу и краски и рисовал прелестных птиц и зверей. Мы с ним не стеснялись; он, бывало, сидит один, если мы куда уедем, и ждет нашего возвращения. Ему был дорог радушный уголок; сестра очень его любила, и он, по-видимому, был вполне доволен. Происходили иногда комические сцены: раз сестрам нездоровилось, они ушли в свою комнату раньше обыкновенного, и наши гости стали расходиться; один Северцов не трогался с места и продолжал рисовать. Я поняла, что он добровольно не уйдет так рано и просила Николая Филипповича Павлова и Щербину его увести.

— Николай Алексеевич,— начал Щербина,— собирайте-ка рисунки, пора, мы уйдем вместе.

— Подождите, лосенка дорисую,— отвечал сквозь зубы Северцов, не поднимая глаз с работы.

— Чего ж ждать? Хозяйки нездоровы, им надо отдохнуть. Северцов не отозвался.

— Николай Алексеевич, хотите я вас доведу? — предложил Павлов.

— Сам дойду,— отвечал Северцов.— Вот только лосенка дорисую. Мы переглянулись, не зная, что делать.

— Николай Алексеевич,— заговорил опять Щербина, слегка заикаясь,— к-к-клянусь моим богом, я без вас не уйду.

— Да что вы пристали? Я никому не мешаю! Ведь я вам не мешаю? — обратился он ко мне.

— Мне, конечно, не мешаете, но сестры перемогались целый день, их спальня за этою стеной, и малейший шум не дает им заснуть.

— Ну, молчать будем!

Я начинала терять терпение. Павлов стоял перед ним и смотрел на него, с трудом воздерживаясь от смеха. Нервное подергивание его лица усилилось (у него был тик). «Il faudra en venir aux voies de fait»<sup>2</sup> — шепнул он, наклонясь ко мне.

— Николай Филиппович,— воскликнул Щербина,— нам придется похитить Северцова, как Юпитер похитил Ганимеда. Помогите.

Он бросился в переднюю, принес пальто, калоши и шапку и вдвоем с Павловым так быстро отодвинул от стола кресло, на котором сидел Северцов, что тот не успел опомниться; затем он схватил ногу нашего чудака и начал надевать на нее калошу, приговаривая: «Пальто напяливайте, Николай Филиппович, пальто».

Пока Павлов проворно напяливал пальто, Северцов попробовал протестовать против насилия.

— Сей-час, сей-час, Николай Алексеевич,— увещал его Щербина,— завтра дорисуете лосенка; вот и готовы,— окончил он, нахлобучив на него шапку.

Северцов, наконец, сам рассмеялся.

...Однажды, гуляя с приятелем на Тверском бульваре, Северцов пристально следил за молодою женщиной, которая шла пред ним в белом кисейном платье. По ее юбке ползло какое-то насекомое. Вдруг Северцов одним прыжком очутился

около нее, схватил ее за юбку, поймал насекомое и, захохотав от радости, как дикие, воскликнул: «Je le tiens!»<sup>3</sup> Молодая женщина приняла его за помешанного, закричала и бросилась бежать. Тут Северцов спохватился, что поступил слишком бесцеремонно, и попытался догнать беглянку, чтоб извиниться перед ней, но не догнал, рассказывал он,— уехала, не выслушав, в чем дело. А я хотел ей объяснить, что букашка редкая, нельзя было ею не завладеть. Я уже сказала, что за границей он обратил на себя внимание корифеев ученого мира. В Париже он познакомился с Альфредом де Мюссе в кофейной, где они встречались ежедневно.

Французский поэт любил Россию, охотно говорил о ней и, вероятно, как художник заметил такого редкого оригинала, как наш соотечественник.

...Северцов приносил к нам каждый вечер свои папки и, рисуя, вел тихо всегда интересный разговор то о зверях, то о людях, то о событиях дня, но раз разговор принял другой оборот — Северцов сделал предложение сестре. Вместо прямого ответа, она ему рассказала анекдот маркизы XIII столетия. У ней был старый приятель, который ей предложил руку и сердце, когда она овдовела. Она ему отвечала: «Et si vous marions, où donc irez vous passer vos soirées?»<sup>4</sup> По-видимому, Северцов принял свою неудачу с философским спокойствием. Ничто не изменилось ни в его приемах, ни в наших беседах; он посещал нас по-прежнему и рисовал под лампой зверей и прелестных птиц. Однажды по поводу слишком оригинальной, рассердившей меня выходки, я сказала ему: нет женщины, которая могла бы помириться с вашими странностями. К вашему счастью, вы получили способность принимать житейские неудачи с невозмутимым равнодушием. Он слушал, нагнув голову на рисунок, и долго собирался с ответом; наконец, сказал смущенным голосом: «Молодость и так пройдет!»

Много скрытого смысла было в этих словах, и мне стало совестно, что я судила о нем так поверхностно. После продолжительного молчания он вынул из бумажника стихи, которые написал накануне, они заключались этою строчкой:

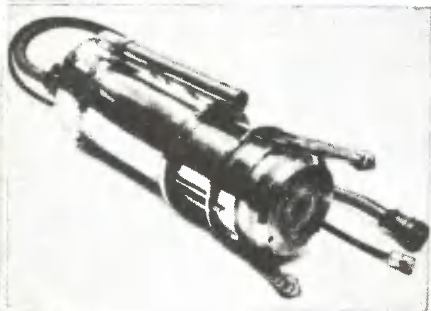
«Молодость и так пройдет!»

<sup>3</sup> Поймал! (фр.).

<sup>4</sup> Но если мы поженимся, где вы будете проводить вечера? (фр.).

<sup>2</sup> Нам придется еще приложить усилия (фр.).



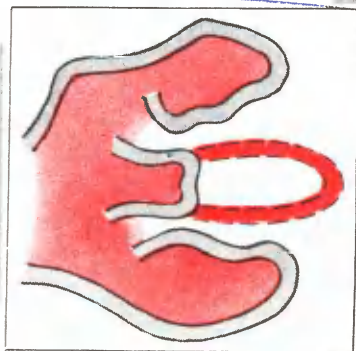


Как бы хорошо металл ни отражал свет, какая-то, пусть очень небольшая, доля энергии электромагнитной волны всегда проникает в него. Оказывается, даже эту небольшую энергию можно использовать для генерации звука в металле.

**Васильев А. И., Каганов М. И. ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЕ ВОЗБУЖДЕНИЕ ЗВУКА В МЕТАЛЛАХ**

Эксперименты, свидетельствующие о существовании анти-рецепторов на нелипоидных клетках, позволили предложить новую концепцию регуляции биологического равновесия.

**Кульберг А. Я. КАК РЕГУЛИРУЕТСЯ БИОЛОГИЧЕСКОЕ РАВНОВЕСИЕ!**



В пору своей высокой философской зрелости один из создателей неклассической физики пытается проследить логику развития физических понятий, уловить внутреннюю связь познания природы и ее технического переустройства.

**Гейзенберг В. КАРТИНА ПРИРОДЫ В СОВРЕМЕННОЙ ФИЗИКЕ**

Измеренные с помощью современной техники цветовые характеристики минералов и горных пород показали такое их разнообразие, о котором не подозревали даже специалисты.

**Остроумов М. Н., Вохменцев А. Я., Третьякова Л. И. КОЛОРИМЕТРИЯ МИНЕРАЛОВ**

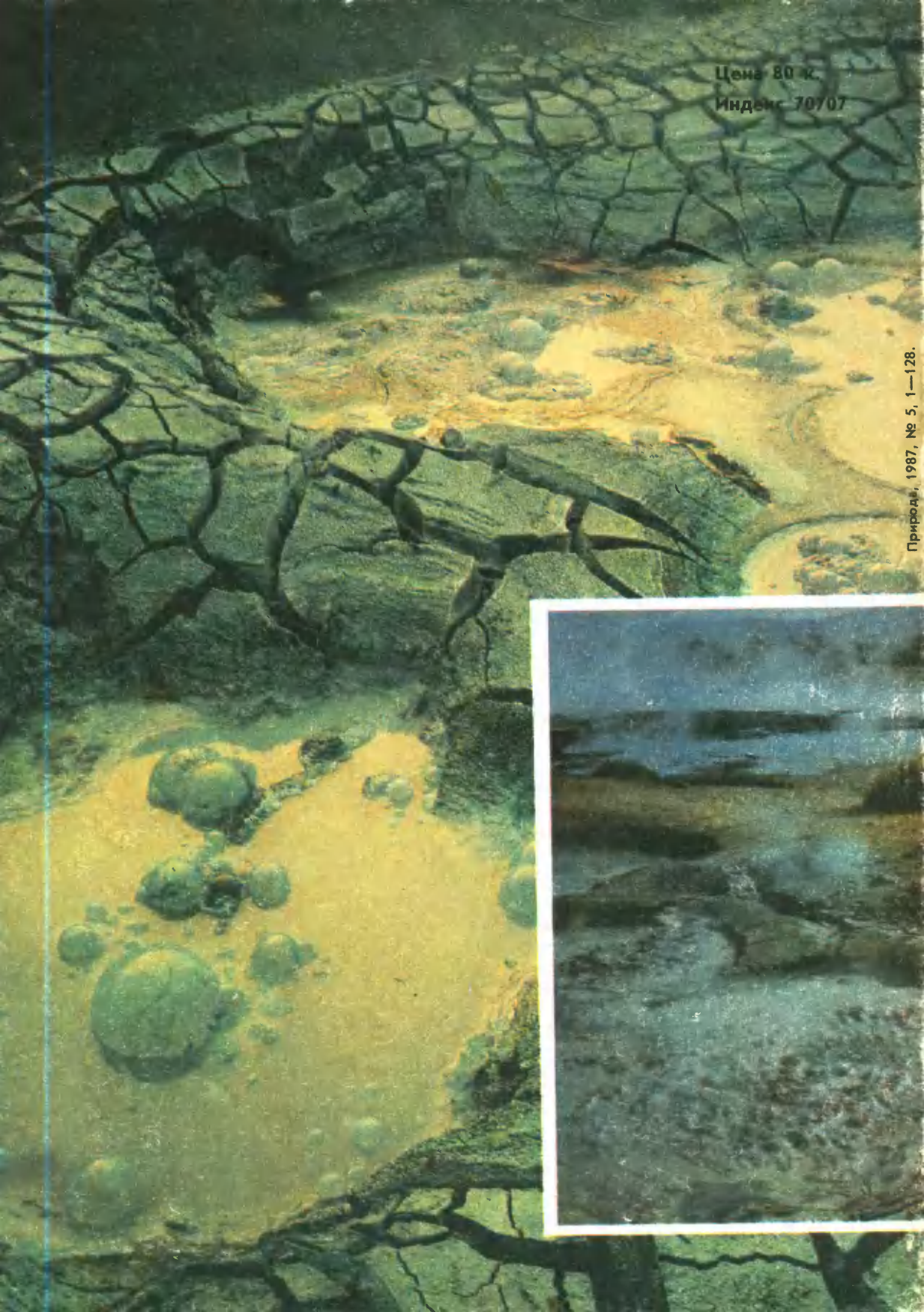


Почти в каждой экспедиции исследователи открывают богатую и своеобразную жизнь в районах подводных океанических гор.

**Мионов А. Н., Сагалевиц А. М. ЖИЗНЬ НА ПОДВОДНЫХ ГОРАХ**



Цена 80 к.  
Индекс 70707



Природа, 1987, № 5, 1—128.

