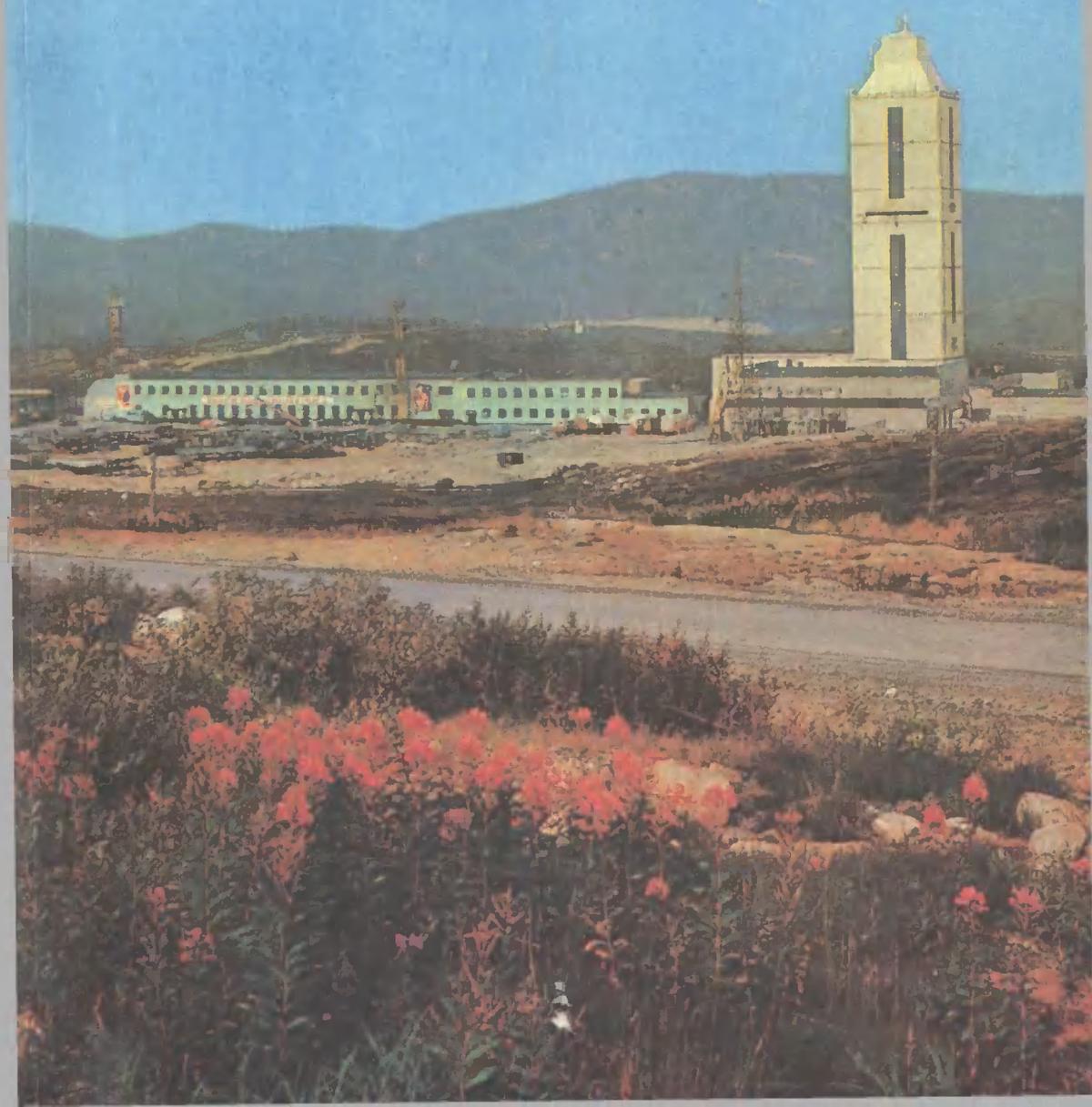


ISSN 0032—874X

# 1 ПРИРОДА

1982



70  
лет

# ПРИРОДА

## РЕДАКТОРЫ ЖУРНАЛА



В. А. Вагнер  
1912



Л. В. Писаржевский  
1912—1913



Н. К. Кольцов  
1914—1927



Л. А. Тарасевич  
1913—1927



А. Е. Ферсман  
1917—1930



А. А. Борисяк  
1931—1935



С. И. Вавилов  
1936—1951



В. П. Савич  
1936—1951



О. Ю. Шмидт  
1952—1956



Д. И. Щербаков  
1957—1966

Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук  
А. Г. БАННИКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук  
А. Л. БЫЗОВ

Доктор физико-математических наук  
С. П. КАПИЦА

Академик  
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук  
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик  
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук  
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора  
В. М. ПОЛЫНИН

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Заместитель главного редактора  
доктор биологических наук  
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук  
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора  
кандидат технических наук  
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР  
Р. Б. ХЕСИН

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРДТ

Доктор биологических наук  
А. В. ЯБЛОКОВ

На первой странице обложки. Наземные сооружения Кольской сверхглубокой скважины. См. в номере: Белоусов В. В. Программа изучения глубоких недр Советского Союза.

Фото В. Е. Киселева.

На четвертой странице обложки. Снимок солнечной короны (наблюдения проводились на западном побережье Каспийского моря). См. в номере: Сурдин В. Г. Полное солнечное затмение 31 июля 1981 г.

Фото А. А. Токовина.

### В НОМЕРЕ

<b>Белоусов В. В.</b> Программа изучения глубоких недр Советского Союза	<b>3</b>
<b>Иваницкий Г. Р.</b> Пульсирующий процесс развития науки	<b>14</b>
<b>Гиляров М. С.</b> Эти загадочные тихоходки	<b>22</b>
Из «Природы» 1912 года	<b>29, 41, 69</b>
<b>Пейве А. В., Пушаровский Ю. М.</b> Теоретические проблемы геологии океанов	<b>30</b>
Управляемый термоядерный синтез — 1981. (Интервью с участниками X Европейской конференции по физике плазмы и термоядерному синтезу)	<b>42</b>
<b>Струнников В. А.</b> Получение и перспективы практического использования генетических копий тутового шелкопряда	<b>57</b>
<b>Окладников А. П., Петрин В. Т.</b> Новая пещера на Урале с палеолитическими росписями	<b>70</b>
<b>Эмануэль Н. М.</b> Физико-химия рака	<b>76</b>
<b>Федоров А. С.</b> Классик научной популяризации. (Воспоминания об академике С. И. Вавилове)	<b>84</b>
<b>Капица С. П.</b> Задача популяризации — сформировать научное мировоззрение	<b>89</b>
<b>Успенская Н. В. А. П. Чехов и В. А. Вагнер.</b> (Из предыстории «Природы»)	<b>92</b>

---

#### ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1981 ГОДА

<b>Грасюк А. З., Зубарев И. Г.</b> По физике — Н. Бломберген, А. Шавлов, К. Зигбан	<b>98</b>
<b>Багатурьянц А. А.</b> По химии — К. Фукуи и Р. Хоффман	<b>102</b>
<b>Соколов Е. Н.</b> По медицине — Р. Сперри, Д. Хьюбел, Т. Визел	<b>105</b>

---

### НОВОСТИ НАУКИ

#### ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

<b>Гиляров А. М.</b> Хищник вызывает рост защитных образований у своих жертв (122). <b>Несис К. Н.</b> Симбиотические бактерии в половой системе кальмаров и каракатиц (123)	<b>122</b>
--	------------

#### НОВЫЕ КНИГИ

Письмо Л. В. Писаржевского Н. А. Морозову о выходе первого номера журнала «Природа»	<b>128</b>
---	------------

# Программа изучения глубоких недр Советского Союза

**В. В. Белоусов**



Владимир Владимирович Белоусов, член-корреспондент АН СССР, заведующий отделом Института физики Земли АН СССР, председатель Междугосударственного геофизического комитета АН СССР, председатель Научного совета по комплексным исследованиям земной коры и верхней мантии АН СССР, заместитель председателя Научного совета по изучению недр Земли и сверхглубокому бурению Государственного комитета СССР по науке и технике. Специалист в области тектоники Земли, автор более двухсот научных работ, среди которых монографии: Основные вопросы геотектоники. М.: Госгеолтехиздат, 1962; Земная кора и верхняя мантия материков. М.: Наука, 1966; Земная кора и верхняя мантия океанов. М.: Наука, 1968; Эндогенные режимы материков. М.: Недра, 1978.

Принятые XXVI съездом КПСС «Основные направления экономического и социального развития СССР на 1981—1985 гг. и на период до 1990 г.» предусматривают значительное расширение минерально-сырьевой базы СССР. Эта задача требует усиления как региональных геологических и геофизических исследований, так и исследований фундаментального характера в области всего комплекса наук о Земле. Этой цели служит и та программа широкого изучения недр нашей страны геологическими, геофизическими и геохимическими методами, сопровождаемого теоретическими разработками, которая уже не первую пятилетку утверждается Государственным комитетом СССР по науке и технике в качестве одной из важнейших народнохозяйственных программ.

Объектом этой исследовательской программы являются земная кора и верхняя мантия Земли, совокупность которых принято называть тектоносферой. В тектоносфере сосредоточена та энергия, которая вызывает движение земной коры, в ней образуются расплавы, поднимающиеся к поверхности и вызывающие вулканические извержения.

## СТРОЕНИЕ ТЕКТОНОСФЕРЫ И МЕТОДЫ ЕЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Тектоносфера имеет сложное строение. Вверху залегает земная кора, почти целиком твердая, имеющая на материке толщину от 30 до 70 км. Она состоит из разных горных пород — осадочных, магматических и метаморфических. Вверху обычно лежит слой осадочных пород, который местами может достигать толщины 20 км. В подстилающей его консолидированной, т. е. уплотненной, коре вверху преобладают магматические и метаморфические породы, относительно богатые окисью кремния (кислые породы), а внизу — породы более бедные окисью кремния и более плотные (основные породы). Сейсмические исследования показывают, что с глубиной скорость продольных сейсмических волн в коре растет от очень низкой в осадочном слое до 7 км/с в основной коре. Традиционно верхнюю часть консолидированной коры называют «гранитным» слоем, а нижнюю — «базальтовым», хотя сейчас ясно, что, по крайней мере по отношению к нижнему слою, эти названия не вполне соответствуют действительному составу пород.

Кора отделена от подстилающей ее оболочки, называемой верхней мантией, довольно резким разделом, на котором сейсмические скорости возрастают скачком (обычно до 8 км/с или около того). Самая верхняя часть верхней мантии до глубины 100—150 км тоже почти целиком твердая. Поэтому во многих случаях удобно кору и эту твердую часть верхней мантии рассматривать совместно. Тогда их называют «литосферой». В ней скорость сейсмических волн продолжает и ниже коры нарастать с глубиной (до 9 км/с). Но под ли-

тосферой обнаруживается слой местами толщиной 10—20 км, а местами достигающий 100—150 км, в котором скорость сейсмических волн несколько снижается (на 0,3—0,4 км/с по сравнению со слоями, лежащими выше). Глубже скорость снова возрастает.

Уменьшение скорости сейсмических волн свидетельствует об особых физических свойствах слоя, лежащего под литосферой, — астеносферы. В настоящее время существует единое мнение, что эти свойства вещества астеносферы вызва-

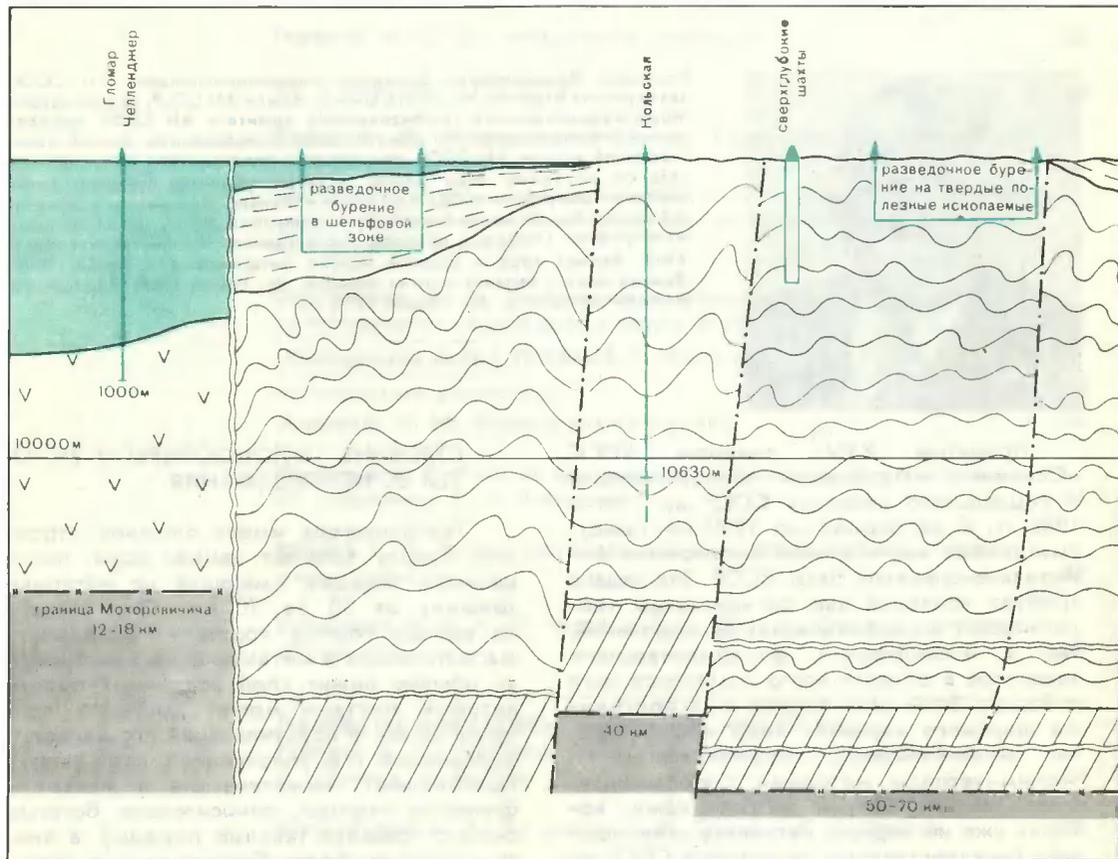


Схема изученности земной коры методами глубинного бурения.

-  Осадочные породы фанерозоя
-  Океанические базальты
-  Дислоцированные породы «гранитного» слоя
-  Породы «базальтового» слоя
-  Породы мантии

ны частичным плавлением ее вещества. Верхняя мантия сложена преимущественно перидотитом — ультраосновной породой, состоящей из минералов оливина, граната и пироксена. Когда температура достигает 1400—1500°C, оливин остается твердым, а гранаты и пироксены плавятся. При этом образуется расплав, имеющий состав базальта. Именно такое частичное плавление и происходит в астеносфере. В зависимости от температуры и давле-

ния степень плавления может быть разной. В связи с этим наблюдается разное влияние плавления на скорость сейсмических волн. В среднем объем расплава можно считать равным 15% от общего объема астеносферы, но местами он, возможно, достигает 25%. Частичное плавление ведет к увеличению объема, снижению средней плотности вещества и уменьшению его вязкости. Последнее обстоятельство позволяет приписывать астеносфере важную роль в тектонических движениях земной коры и всей литосферы: с одной

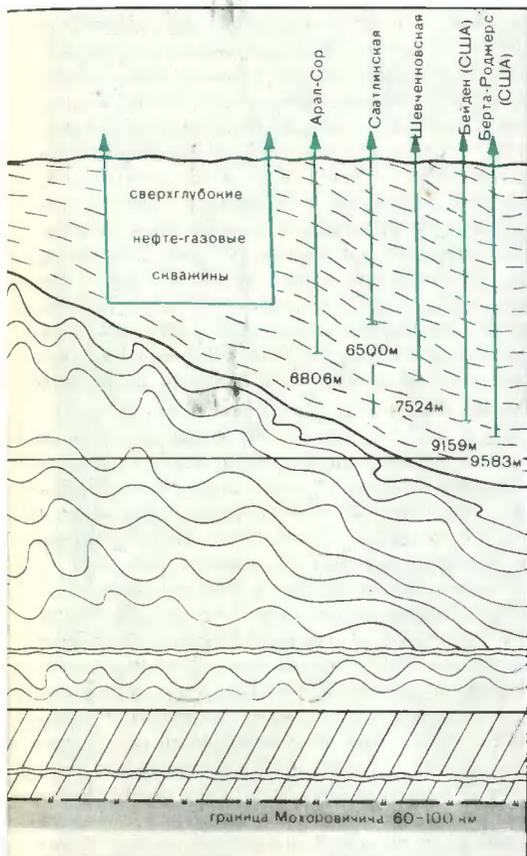
выяснить происхождение и закономерности развития различных геологических структур. Так как наблюдений за современными проявлениями эндогенных процессов, например землетрясениями или извержениями вулканов, совершенно недостаточно, чтобы составить представление о развитии этих процессов в течение сотен миллионов и миллиардов лет геологической истории, исследователю приходится восстанавливать картину преимущественно по тем следам, которые эти процессы оставили в различных особенностях строения коры и верхней мантии. Следовательно, прежде всего это строение и должно быть в возможно более полной степени изучено.

Тут возможны разные методы. Геолог изучает строение поверхности, а затем, экстраполируя эти данные, судит о строении нескольких верхних километров земной коры. К прямым методам относится бурение, но обычно бурению доступна глубина не более 5 км. Только очень редкие скважины проникали до 7—9 км. Дальше лежит обширная область применения геофизических методов. Роль их в современной науке о Земле исключительно велика. Однако, будучи косвенными, эти методы выявляют лишь физические свойства пород (упругость, плотность, электропроводность, намагниченность), но не дают прямого ответа на вопрос об их составе и возрасте, поскольку сходными свойствами могут обладать породы разного состава. Все это в ряде случаев затрудняет геологическую интерпретацию геофизических данных.

Подобное затруднение стало особенно чувствительным с тех пор, как по мере исчерпания месторождений полезных ископаемых, залегающих сравнительно близко к поверхности, возникла необходимость детального изучения глубоких слоев коры.

Именно это затруднение стремились преодолеть советские геологи, когда они еще до Великой Отечественной войны 1941—1945 гг. выдвинули идею глубокого бурения не с поисковыми, а с научными целями. Предполагалось, что с помощью бурения можно создать сеть опорных хорошо изученных разрезов коры до глубины 4—5 км. Эти разрезы планировалось исследовать и геофизическими методами, что позволило бы экстраполировать результаты бурения на обширные площади.

Первый опыт такого совместного использования геофизических и буровых данных



стороны, течения в астеносфере могут деформировать литосферу, с другой — литосфера может скользить по поверхности астеносферы, встречая малое сопротивление. Нижняя граница тектоносферы находится на глубине около тысячи километров, но наиболее активная и интересная ее часть ограничена астеносферой.

В тектоносфере происходят сложные физические и физико-химические процессы, которые и надлежит изучить, чтобы

вылился в программу опорного бурения. Она осуществлялась главным образом в течение первого послевоенного десятилетия. Вместе с тем это была первая попытка использования бурения на обширной территории в чисто исследовательских целях. Многие десятки опорных скважин были заложены на Восточно-Европейской платформе и в Западной Сибири. Благодаря этим скважинам мы имеем разрезы осадочных толщ в обоих этих районах. Местами опорные скважины пронизали весь осадочный чехол вплоть до фундамента. А геофизические профили и съемки дали возможность распространить данные буровых скважин на широкие площади. Опорное бурение во многом способствовало успеху поисков газонефтяных месторождений в Волго-Уральской области и в некоторых других районах Русской плиты, а также в Западной Сибири.

#### КОЛЬСКАЯ СКВАЖИНА И ОБЩАЯ ПРОГРАММА СВЕРХГЛУБОКОГО БУРЕНИЯ

Новый этап в изучении недр Советского Союза начался с конца 50-х годов, когда в научных и геолого-производственных кругах СССР стал обсуждаться проект сверхглубокого бурения. Развитие техники бурения к тому времени позволяло рассчитывать, что в ближайшие годы окажется возможным проектировать скважины глубиной до 12—15 км. Так получил путевку в жизнь советский проект бурения сверхглубоких скважин на материковой коре.

К этому времени в СССР и в США уже имелось несколько скважин глубиной 7—9 км, которые были пробурены с целью поисков нефти и горючего газа. Они закладывались в осадочных бассейнах и, как правило, вскрывали те же осадочные слои, что на бортах бассейна выходят на поверхность. В связи с этим, решая чисто поисковые задачи, эти скважины давали мало нового для понимания строения и состава глубоких областей коры.

В начале 60-х годов были обсуждены различные возможные места заложения первой сверхглубокой скважины, где могли бы быть достигнуты такие глубокие слои земной коры, состав которых еще совершенно неизвестен. В конце концов был избран Кольский п-ов, его северо-западная часть. Следующие соображения были при этом приняты во внимание.

На Кольском п-ове, относящемся к древнему Балтийскому кристаллическому

щиту, на поверхность выходят докембрийские породы. В месте, выбранном для скважины, это — протерозойские породы, возраст которых свыше 2 млрд лет. Судя по геофизическим данным, совсем неглубоко под ними, на глубине 3—4 км, должны залегать наиболее древние из известных в коре пород — архейские (возраст свыше 3 млрд лет). Сверхглубокая скважина в этих условиях имела шансы проникнуть в такие глубокие слои коры, которые не только нигде не видны на поверхности, но которые нигде не достигнуты скважинами.

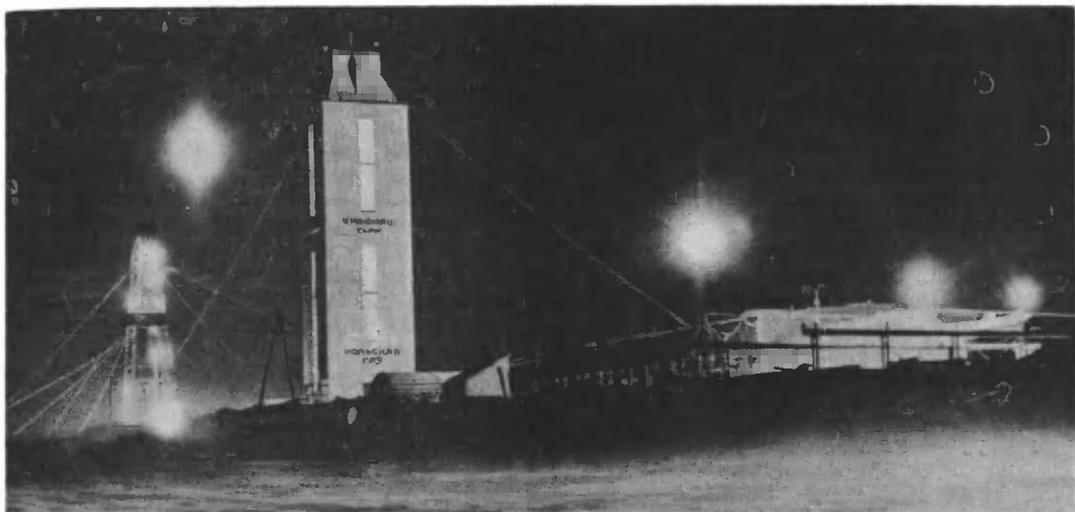
Это предположение подтвердилось тем, что по геофизическим данным в районе бурения граница между «гранитным» и «базальтовым» слоями коры находится на глубине лишь семи километров. Таким образом, предполагалось, что скважина в 10 км глубиной пересечет весь «гранитный» слой и войдет в «базальтовый», который нигде не подходит близко к поверхности и природа которого еще неясна. Эта скважина обещала, таким образом, вскрыть глубинные слои земной коры и доставить нам сведения об их составе. Выбор места для первой сверхглубокой скважины обосновывался и практическими интересами, связанными с поисками полезных ископаемых.

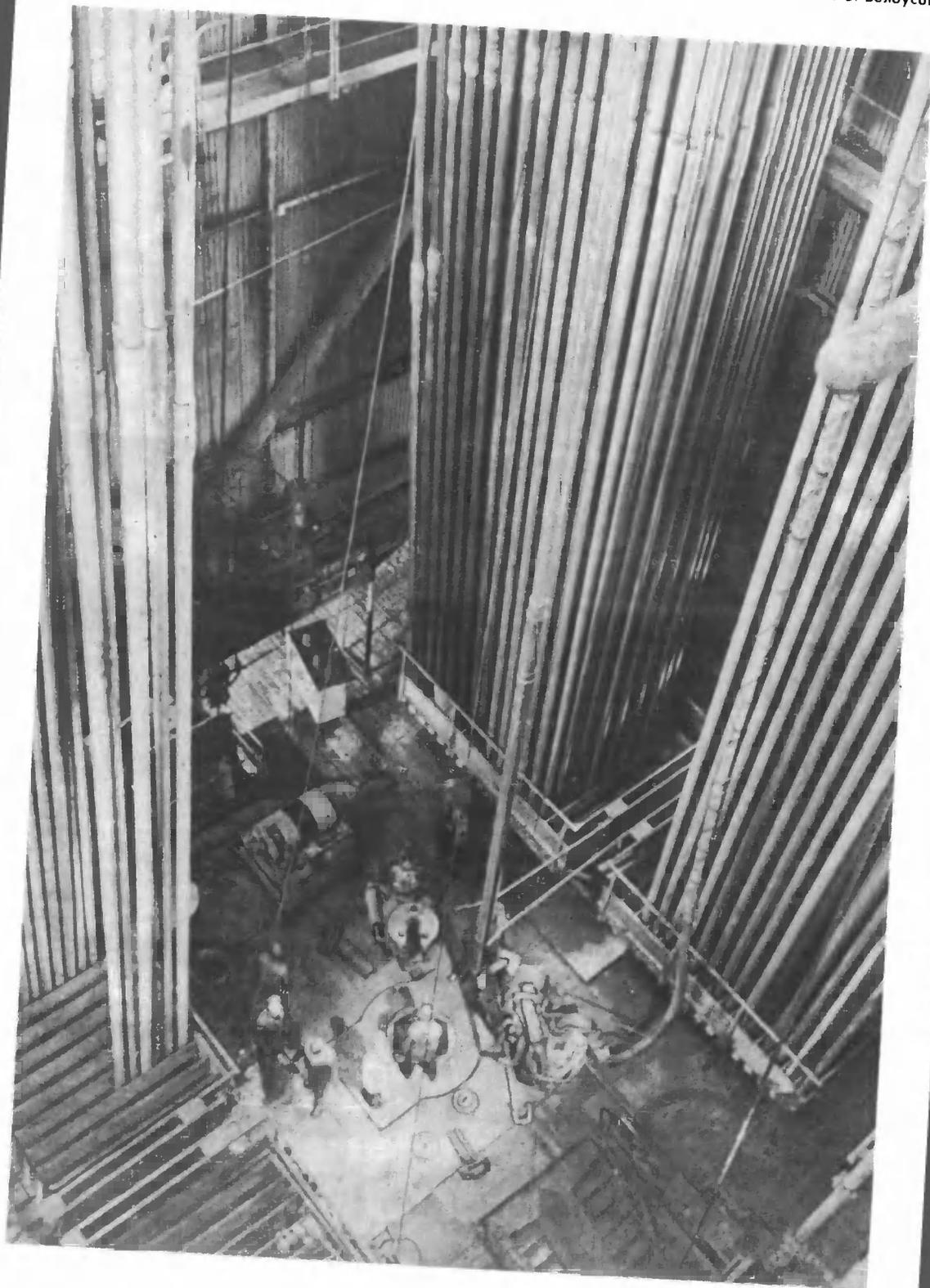
В 1970 г. началось бурение этой уникальной скважины, которая первоначально была рассчитана на глубину до 10 км. Бурение представляло техническую задачу высшей сложности, особенно, если учесть, что должен был обеспечиваться максимальный выход керна и что в стволе скважины, которая проходила без обсадки, должен был регулярно проводиться комплекс разнообразных геофизических измерений. Трудности увеличивались еще в связи с суровыми климатическими условиями Кольского п-ова. Тем более приходится поражаться, что к концу 1980 г. скважина без единой серьезной аварии при необсаженном стволе достигла глубины свыше 10 600 м, и теперь ближайшей целью является глубина 13 км. Это — огромное достижение советской буровой техники.

**Общий вид сооружений Кольской сверхглубокой скважины. Эта скважина глубиной свыше 10 600 м пробурена в суровых климатических условиях Заполярья.**

**Спуск в скважину долота, с помощью которого отбирают керн.**

**Фото Д. Ф. Сабурова.**





Буровая установка «Уралмаш-15000» на Кольской сверхглубокой скважине.

Фото С. А. Майстермана [Фотохроника ТАСС].

В тундре стоит сооружение, похожее на завод. Кроме буровой вышки высотой более 60 м, здесь есть здание, где находится буровое оборудование, ремонтно-механический цех, автоматическая система управления бурением, телевизионный пульт, лаборатория по первичной документации керна и его хранилище. Построены жилые помещения.

Что касается научных результатов, то и в этом отношении успех первой сверхглубокой скважины превзошел ожидания. Этот успех — результат усилий многих научных и производственных учреждений Министерства геологии СССР и АН СССР, которые совместно проводили наблюдения и обрабатывали полученные данные.

Вопреки геофизическим предсказаниям, скважина шла по протерозойским породам не до 3—4 км, а до 7 км, т. е. до той глубины, где предполагался переход от «гранитного» слоя к «базальтовому». Протерозойская толща представлена чередованием вулканогенных (диабазов, андезитов, трахиандезитов) и осадочных (песчаников, аргиллитов) пород. Все они метаморфизованы, причем с глубиной степень метаморфизма возрастает. Максимальная температура метаморфизма около 600°С, давление 6—7 кбар. В эпоху метаморфизма геотермический градиент (скорость возрастания температуры с глубиной) достигал 100°С/км, что в три раза выше нормального градиента и в 4—10 раз выше градиента, наблюдаемого в скважине сейчас.

Но наибольшее удивление исследователей вызвало другое. Вместо того, чтобы войти в «базальтовый» слой, скважина на глубине около 7 км проникла в толщу плагиоклазовых гнейсов, гранитогнейсов и амфиболитов архейского возраста. Никакого слоя, состоящего из базальтов, никакого сплошного массива основных пород на этой глубине не оказалось! В целом — это средние по составу породы со средним содержанием окиси кремния. Можно лишь

отметить, что с глубиной увеличивается количество прослоев амфиболитов, т. е. пород основного состава: на глубине 7 км они составляют около 10%, а на глубине 10 км — около 30%. Эти изменения относительной роли амфиболитов отразились в изменении средних упругих свойств пород. Скорость сейсмических волн в породах архея возрастает от 6,1 км/с в кровле архейского слоя до 6,5—6,6 км/с на глубине 10 тыс. м. Очевидно, именно это возрастание скорости на протяжении нескольких километров и создало у сейсмологов впечатление, что между «гранитным» и «базальтовым» слоями существует резкая граница.

Не менее неожиданным оказалось и залегание пород на глубине. Профили, составляемые методом глубинного сейсмического зондирования, обычно показывают, что земная кора в ее нижней части разделена на ряд почти горизонтальных слоев. На поверхности же, в том месте, где расположена скважина, слой среднего протерозоя залегают под углами от 45 до 60°. Профили глубинного сейсмического зондирования, выполненные до того, как была пробурена скважина, указывали, что такой наклон сейсмических границ сохраняется до глубины около 4 км. А глубже все границы становятся почти горизонтальными. В действительности же, как показали измерения в стволе скважины, все породы вплоть до забоя, т. е. до глубины 10 600 м, наклонены под тем же углом, что и на поверхности (от 45 до 60°). Возникает вопрос, что же в таком случае отражают сейсмические границы, если они не совпадают с границами геологических тел? Есть ли они результат разной степени метаморфизма и уплотнения пород с глубиной? А может быть, они — результат образования пологих трещин и зон катаклаза, которые, кстати говоря, местами пересекались скважиной? Во всяком случае, возникли серьезные основания сомневаться в том, что глубокие сейсмические профили регистрируют формы залегания горных пород.

Скважина позволила уточнить величину геотермического градиента. Современный градиент на Кольском п-ове колеблется от 10 до 25°С/км: на глубине 7 км температура равна 120°С, на глубине 8 км она повышается всего на 10°, но на глубине 10 км возрастает до 180°.

В Кольской сверхглубокой скважине было выполнено много других интересных наблюдений, результаты которых пока обрабатываются специалистами.

Скважина продолжает углубляться, и можно не сомневаться в том, что она сообщит нам еще много нового о глубоких слоях земной коры. Толщина коры на Кольском п-ове около 40 км, и достичь ее подошвы технически, конечно, невозможно. Но если скважина достигнет глубины 15 км, она вскроет почти половину мощности древней континентальной коры, что позволит заменить многие наши гадания о составе и строении последней твердым знанием.

Успех Кольской скважины привел к тому, что сверхглубокое бурение стало рассматриваться как метод изучения глубоких недр земной коры с научными и практическими целями, заслуживающий развития и более широкого применения. В связи с этим была разработана перспективная программа такого бурения в разных районах нашей страны.

Программа указывает около двадцати мест для бурения сверхглубоких скважин глубиной 7—12 км. Половина их предназначена для изучения глубокого строения районов, перспективных в отношении рудных полезных ископаемых, другая половина имеет своей целью изучение нефтегазоносности глубоких осадочных слоев. Десять скважин были выделены в качестве первоочередных; их задумано пробурить до 1990 г.

Второй уже бурящейся сверхглубокой скважиной является Саатлинская. Эта скважина заложена в молодых осадочных толщах Куринской депрессии в Азербайджане в 1977 г. С тех пор она вошла в вулканогенные мезозойские породы и к концу 1980 г. достигала глубины 6680 м. Скважина должна пересечь всю толщу мезозойских пород и войти в палеозойский фундамент. Практическая задача скважины — изучить перспективы нефтегазоносности мезозойских и палеозойских отложений Куринской депрессии.

Из числа скважин в рудных районах в качестве первоочередных намечены: Тагильская на Урале, Криворожская на Украине, Норильская на севере Сибири, Мурунтауская в Узбекской ССР.

Среди скважин, направленных на изучение нефтегазоносности, в качестве первоочередных выделены: Тюменская в Западной Сибири, Кочмеская в Печорской низменности, Кенкиякская в Прикаспийской низменности, Анастасьевско-Троицкая в Краснодарском крае, Восточно-Полтавская на Украине.

Параллельно с этой программой глубокого бурения (а в значительной сте-

пени в связи с ней) велись и продолжают региональные комплексные геолого-геофизические и геохимические исследования земной коры и верхней мантии территории СССР. В этом направлении в предыдущие годы достигнуты существенные успехи.

## ГЕОНОМИЯ — ОБЪЕДИНЕННАЯ НАУКА О ЗЕМЛЕ

Геологическое строение Советского Союза чрезвычайно разнообразно. На обширной территории нашей страны можно встретить любые типы структур земной коры, характерные для материков. Вся территория пересечена профилями глубинного сейсмического зондирования и покрыта геологической съемкой разного масштаба; для нее составлены гравиметрические, геотермические, геомагнитные и другие геофизические карты; до больших глубин определена по нескольким профилям электропроводность пород. В нашей стране ведутся теоретические и экспериментальные работы, ставящие перед собой задачу выяснить физические и физико-химические свойства горных пород и минералов в обстановке высоких давлений и температур и воссоздать процессы, протекающие в глубинах коры и в верхней мантии.

Совокупность всех этих данных и лежит в основе наших представлений о недрах Земли. Мы называем эти исследования комплексными именно потому, что в них сочетаются геологические, геофизические и геохимические методы. Такой подход к изучению глубин земного шара, основанный на совместном использовании различных наук о Земле, было предложено называть геонимическим, а объединенную науку о Земле — геонимией.

Именно геонимический подход к изучению всех собранных данных позволил сделать те выводы о характере процессов, протекающих в Земле и определяющих развитие и современное строение земной коры, которые дальше будут изложены.

Геологические процессы делятся, как известно, на экзогенные, вызываемые внешними силами, действующими на поверхности Земли, и эндогенные, связанные с проявлениями внутренних сил планеты. Нас в данном случае интересуют только эндогенные процессы. Они, в свою очередь, подразделяются на тектонические, магматические и метаморфические. Напомним, что тектонические процессы проявляются в движениях и деформациях земной коры, ее поднятии и опускании, смятии слоев



Образцы пород, поднятые с глубины 10 547 м.  
Фото С. А. Майстермана (Фотохроника ТАСС).

горных пород в складки, землетрясениях; магматические процессы выражены во внедрении в земную кору расплавленных масс и вулканических извержениях; метаморфические процессы состоят в изменении структуры горных пород и их состава под влиянием высокой температуры и высокого давления.

Было установлено, что все три разновидности эндогенных процессов развиваются параллельно: там, где значительны тектонические движения, как правило, интенсивны и разнообразны магматические процессы, там же обычно наблюдаются и метаморфические преобразования пород. А в тех местах, где тектонические движения ослаблены, слабо проявляются и две другие разновидности эндогенных процессов. В связи с этим на поверхности материка могут быть выделены подвижные, или, как принято говорить, возбужденные зоны, где все эндогенные процессы активны, а также спокойные зоны, где те же процессы проявлены слабо. Можно говорить о возбужденных и спокойных эндогенных режимах.

Изучение геологической истории показывает, что распределение режимов на поверхности материка с течением времени менялось: зоны или участки, возбужденные в течение какого-то геологического времени, могут в дальнейшем стать спо-

койными, и наоборот, спокойные области могут быть вовлечены в большую эндогенную активность. Так что размещение эндогенных режимов оказывается изменчивым не только в пространстве, но и во времени.

В наше время на поверхности Евразии сосуществуют самые различные режимы, как спокойные, так и обладающие различной степенью возбужденности. Перед нами вся гамма материковых эндогенных режимов. Поэтому есть возможность сопоставить все эти режимы с тем глубинным строением коры и верхней мантии, которое характеризует каждый из них.

В результате такого сопоставления выяснилось, что эндогенные режимы материков имеют в тектоносфере свои «корни», проникающие на глубину в несколько сотен километров. Под участками, которые в течение длительного геологического времени ведут себя геологически спокойно (вертикальные движения происходят здесь очень медленно, поднимающиеся и опускающиеся области разделены малыми контрастами, а складкообразование, магматизм и метаморфизм почти вовсе отсутствуют), глубинное строение свидетельствует о спокойствии и во всей тектоносфере. Кора здесь толстая с классическим нарастанием сейсмических скоростей с глубиной, раздел Мохоровичича четко выражен, астеносфера тонкая или не обнаруживается вовсе. Таковы древние платформы, например Восточно-Европейская платформа, основная часть которой охватывает Русскую равнину от Балтийского моря до Урала. Особенно спокойными являются недра древних кристаллических щитов, подобных Балтийскому. Щиты проч-

но припаяны к твердым блокам тектоносферы.

Иное состояние характеризует возбужденные зоны. В качестве таковых могут быть указаны области современного горообразования, рифты, вулканические области, активные переходные зоны от материка к океану. Современное горообразование наблюдается, например, в Тянь-Шане и на Памире. Геодезические и геоморфологические исследования показывают, что в этой высокогорной области до сих пор хребты растут со скоростью свыше 1 см/год, а разделяющие их впадины с такой же скоростью опускаются. Рифтами называются крупные структуры земной коры, запечатлевшие в своем строении признаки сильного ее растяжения. На суше — это чередование невысоких хребтов и глубоких впадин между ними, ограниченных разломами (сбросами) и сопровождающихся вулканическими проявлениями. Примером рифта может служить оз. Байкал с прилегающими районами. Зонай современного вулканизма на нашей территории является Камчатка с грядой Курильских о-вов, а активной переходной зоной — вся система окраинных морей и островных дуг между материком Евразия и Тихим океаном.

В этих областях геофизическими методами выявлены признаки повышенной температуры и в верхней мантии, и в коре. Самым прямым образом об этом свидетельствует повышенный тепловой поток из недр Земли. Известно, что температура в коре повышается с глубиной. Это означает, что тепло течет из глубины к поверхности. Величину этого потока можно определить, зная геотермический градиент и теплопроводность горных пород. Оказалось, что если в спокойных областях тепловой поток равен 1,0—1,2 мккал на 1 см<sup>2</sup> поверхности в секунду, то в возбужденных областях он обычно вдвое больше, а местами превышает спокойный поток в 3—4 раза.

Другие признаки возбужденных областей выражены в состоянии вещества верхней мантии и коры. В верхней мантии возбужденных областей наблюдается уменьшение плотности против обычной, а также признаки плавления. Астеносфера на сейсмических профилях выражена четко и отличается большой толщиной, достигающей 100—150 км. В рифтовых и вулканических областях, а также в активных переходных зонах полурасплавленные массы с низкой плотностью поднимаются из астеносферы к самой подошве земной ко-

ры и замещают собой верхние слои мантии, принадлежащие к литосфере и находящиеся обычно в твердом состоянии. Толщина земной коры в таких областях часто оказывается уменьшенной по сравнению с нормальной, как будто кора частично поглощена разогретой мантией. Имеются признаки плавления и в коре. А изучение геологической истории таких областей показывает, что временами плавление вещества верхней мантии и коры достигало очень высокой степени. Именно тогда расплавились магмы разного состава и развивались процессы метаморфизма горных пород.

Отсюда естественно сделать вывод, что эндогенные режимы отражают тепловое состояние недр до глубины, вероятно, в несколько сотен километров. Степень «возбужденности» того или иного режима зависит от степени прогревания верхней мантии и коры, поскольку именно с сильным прогреванием связаны и разуплотнение мантии, и плавление в мантии и коре. И еще более общий вывод состоит в том, что наличие на поверхности Земли разных эндогенных режимов, существующих рядом друг с другом, а также эволюция этих режимов во времени отражают пространственные и временные неоднородности теплового поля Земли.

В этом выводе содержится основа для разработки обобщающей теории строения и развития тектоносферы Земли. В программе изучения глубоких недр предусматривается разработка разных сторон такой теории. Единая теория должна объяснять происхождение и механизм образования тектонических структур и магм разного состава, а также причины и механизм иных процессов, происходящих в земной коре, знание которых необходимо для оценки перспектив нефтегазоносности и рудоносности территории Советского Союза и для определения наиболее перспективных направлений поисковых и разведочных работ в течение ближайших десятилетий.

Головной организацией, ответственной за выполнение всей этой программы, является Министерство геологии СССР. В разработке ряда технических вопросов и в осуществлении бурения скважин большую роль играют организации Министерства нефтяной и газовой промышленности СССР, а институты АН СССР, ряда академий наук союзных республик и Министерства высшего образования СССР возглавляют и выполняют задания исследовательского характера. Всего в этой обширной програм-

ме участвуют около 140 научно-исследовательских и производственных учреждений.

Есть все основания полагать, что выполнение этой программы всестороннего изучения недр Советского Союза приведет к коренному совершенствованию наших знаний об особенностях строения земной коры, ее истории и развития во всех геологических регионах нашей страны, и тем самым будет коренным образом содействовать расширению и укреплению минерально-сырьевой основы народного хозяйства СССР. Вместе с тем выполнение этой программы будет во многом содействовать освещению целого ряда общих проблем строения и развития тектоносферы Земли.

Как видим, эта программа в основном направлена на изучение материковой коры и материковой верхней мантии. В связи с этим интересно отметить, что в то время, когда в Советском Союзе планировались и начинали разворачиваться эти работы, американские ученые предложили проект бурения многих скважин в океанах. Этот проект глубоководного бурения превратился в дальнейшем в международный с участием нескольких стран, в том числе и СССР. С бурового судна «Гломар Челленджер» пробурено свыше пятисот скважин во всех океанах. Эти скважины впервые дали сведения о составе, возрасте и строении осадочного слоя на дне океанов и о самых верхних горизонтах подстилающего осадки консолидированного слоя океанической коры, состоящего из базальтов, когда-то излившихся на дно океана. Новые данные о строении коры под океанами оказались во многом неожиданными и сильно повлияли на современные теоретические представления в науках о Земле. Вышло, следовательно, так, что эти два проекта — советский материковый и международный океанический — дополнили друг друга.

Нет сомнений в большом значении для науки океанического проекта, что и обусловило участие в нем Советского Союза. Но следует подчеркнуть, что будучи самой обширной материковой державой, Советский Союз особо заинтересован в выяснении закономерностей строения и развития материковой земной коры, чтобы иметь глубоко разработанную научную основу прогноза полезных ископаемых. Но и в более общем плане не следует забывать, что человечество живет на материках и львиную долю минерального сырья добывает из материковой коры. Хотя за последние годы морские и океанические

области все больше вовлекаются в хозяйственную жизнь человека, подводные запасы полезных ископаемых (главным образом нефти и газа) сосредоточены все же в основном на мелководных шельфах, т. е. в той же материковой коре, затопленной морем. Более разнообразный состав и более сложное строение материковой коры по сравнению с океанической позволяет предполагать, что и в дальнейшем основные источники минерального сырья будут обнаруживаться преимущественно в коре материкового типа.

Важность изучения материковой коры признается сейчас не только в СССР. Специалисты США после длительного увлечения исследованиями в океанах, когда континентальная геология была у них в заметном пренебрежении, решительно вернулись к последней, объявив в 1981—1990 гг. «Десятилетием изучения Северо-Американского континента». При разработке программы международного проекта «Литосфера», который сменил «Геодинамический проект», специально было подчеркнуто, что континенты заслуживают большего внимания, чем им уделялось в международных проектах ранее.

В Советском Союзе более последовательно, чем где бы то ни было, постоянно осуществлялись широкие исследования строения и закономерностей развития материковой коры. Это направление продолжает развиваться, принося в качестве своих плодов интенсивное развитие минерально-сырьевой базы СССР.

## Пульсирующий процесс развития науки

Г. Р. Иваницкий



Генрих Романович Иваницкий, член-корреспондент АН СССР, директор Научного центра биологических исследований АН СССР в г. Пущино и Института биологической физики АН СССР, лауреат Ленинской и Государственной премий. Работает в области биофизики клетки и развития математических методов в биологии. В «Природе» опубликовал статью: Стратегия научного поиска (1981, № 6).

В январе 1981 г. в Институте биологической физики АН СССР состоялся методологический семинар, на котором я хотел рассказать о развитии биофизики, о ее прошлом, настоящем и будущем. О прошлом и настоящем рассказать было несложно, но для того чтобы определить будущее науки, необходимо было понять, по каким законам она развивается. Следовало ответить на главный вопрос — существуют ли законы развития науки?

Фундаментальная наука — это часть общечеловеческой культуры. В основе ее развития лежат творческие процессы. Человеческое творчество — это то немногое, что пока еще не поддается формализации. Несмотря на то что существуют машинные программы для создания стихов и музыки, для доказательства теорем и разыгрывания шахматных партий — все эти результаты так далеки от совершенства, что лишь вызывают сомнение в принципиальной возможности формализации творческих процессов.

Итак, была поставлена задача. В науковедческой литературе удалось найти много фактических данных, но не было ответа на главный вопрос. Имеющийся опыт и почерпнутые из истории науки знания ошелмляли разнообразием характеров людей и их взаимоотношений, приемов работы и достигнутых ими в науке результатов.

Казалось, что в этом хаосе нет никакой закономерности. Однако по мере обработки статистического материала по развитию различных областей биофизики, а также на основе аналогий, используя хорошо известные в биофизике модели А. Лотки и В. Вольтерра, одну из закономерностей развития науки удалось «нащупать». Эта идея и легла в основу данной статьи.

### ЭТАП ЗАРОЖДЕНИЯ НАУЧНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

В любом разделе науки существует скрытый этап зарождения, измеряемый иногда десятками лет. К этапу зарождения истории науки всегда проявляли повышенный интерес: во-первых, это связано с изучением одной из центральных науковедческих проблем — восприятия и оценки научной средой новых идеи, открытий, теоретических обобщений; во-вторых, этот период отличается драматизмом и накалом страстей, что интересно и поучительно для любого из нас.

Можно выделить два фактора, регулирующих длительность этапа зарождения науки: психологический и социальный<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Научное открытие и его восприятие. М.: Наука, 1981.

Каждый ученый испытывает воздействие своих коллег. Либо он выступает в качестве сопротивляющегося каким-либо идеям, либо в качестве испытывающего сопротивление, а чаще всего одновременно пребывая в двух указанных состояниях. «Консерватизм» научной среды — это своеобразный защитный механизм науки. Основная его функция — сдерживать необоснованные притязания ученых. Новое всегда осмысливается в рамках уже существующих теорий.

Сопротивление тем сильнее, чем крупнее притязания («ученого-реформатора»). Борьба мнений, борьба идей в науке позволяет отобрать из большого разнообразия выдвигаемых теорий, трактующих экспериментальные факты, те, которые наилучшим образом описывают окружающий нас мир. При этом возникают издержки — медленное признание и усвоение неожиданных, но прогрессивных идей.

Научная оценка — процесс объективный и бесстрастный, но науку творят люди. В истории описано много случаев, когда ученые, отличавшиеся безукоризненной добросовестностью, не воспринимали и сопротивлялись распространению новых идей своих коллег. Например, Г. Гельмгольцу было отказано в публикации статьи, сообщающей о скорости проведения нервного импульса. Сам же Гельмгольц отказался читать статью М. Планка о втором законе термодинамики. Планк с горечью писал: «великая научная идея редко внедряется путем постепенного убеждения и обращения своих противников... В действительности дело происходит так, что оппоненты постепенно вымирают, а растущее поколение с самого начала осваивается с новой идеей»<sup>2</sup>.

Можно привести множество случаев из истории науки, иллюстрирующих различные подходы к решению научных проблем: например, разногласия между сторонниками И. Ньютона и И. В. Гете в вопросе происхождения цвета, между сторонниками Л. Гальвани и А. Вольты о «животном электричестве», между К. А. Тимирязевым и П. П. Лазаревым о степени влияния в фотохимических процессах интенсивности и спектра светового воздействия и т. д. В таких спорах, как правило, оказывались правыми обе стороны, однако это выяснилось лишь на следующем этапе развития науки.

## ТРИ ПОКАЗАТЕЛЯ РАЗВИТИЯ НАУКИ

Наиболее широко в науковедении используются показатели: 1) рост числа публикаций, 2) изменение числа научных сотрудников и 3) число эффективных связей между учеными в различных областях науки. Анализ коллективов, работающих в далеких друг от друга научных направлениях, дает сходный характер изменения этих показателей<sup>3</sup>. При развитии направления на определенной стадии наблюдается экспоненциальный рост числа научных публикаций (рис. 1 а). На этой стадии в научное направление вливается большое количество специалистов. Затем наблюдается замедление роста числа публикаций, а иногда и резкое падение, и, соответственно, отток специалистов из данного научного направления в соседние. Начинается период медленного развития (как правило, характеризующийся выходом обобщающих монографий, 5—10% от публикуемых работ). Какое-либо революционизирующее открытие вновь пробуждает интерес к «забытому» научному направлению. Оно опять начинает развиваться по экспоненциальной кривой, и далее процесс повторяется. Если взять область науки, состоящую из большого числа направлений, то характер развития сохраняется, но возрастают периоды стадий быстрого развития и покоя с накладывающимися на них колебаниями (рис. 1 б). Некоторые эмпирические данные подтверждают такую закономерность (рис. 1 г)<sup>4</sup>.

Следующий эмпирический факт связан с показателями продуктивности ученых. Историки науки интересуют фундаментальный результат, полученный ученым; экономистов — прикладной аспект (производство новой техники, новых технологий), в науковедении в качестве измеряемого показателя продуктивности используется количество публикаций. По этому критерию распределение индивидуальных вкладов ученых подчиняется логарифмически нормальному закону распределения или, точнее, закону Ципфа — Лотки — Парето (рис. 1 в). Многие ученые публикуют небольшое количество статей (или мало патентуют, или мало пишут отчетов), а немногие ученые печатают много работ. Мерой продуктивности являются не только публика-

<sup>2</sup> Планк М. Единство физической картины мира. М.: Наука, 1966, с. 98.

<sup>3</sup> Системные исследования. М.: Наука, 1976, с. 5—81.

<sup>4</sup> Вальцев А. Н. Дискретное пространство — время. М.: Наука, 1965.

ции, но и затраты времени на подготовку новых специалистов, число личных контактов с другими учеными, научно-организационная деятельность, повышающая эффективность научных исследований, или другие параметры, уровень которых также рассматривается как показатель участия в научном процессе.

Вид кривой с «длинным хвостом» (рис. 1 в) затрудняет получение средних величин числа публикаций на одного специалиста. Однако с некоторыми допущениями можно считать, что в период экспо-

торое он занял в истории науки. Однако эти попытки не удовлетворяют современного исследователя. Например, у Г. Римана (умершего в 39 лет) было 16 работ, у Й. Фраунгофера (умершего также в 39 лет) — 18 работ, у П. Н. Лебедева (46 лет) — 22 работы, у Г. Герца (37 лет) — 25 работ, у Ж. Фуко (47 лет) — 66 работ. Известны ученые, которые оставили после себя всего 2—3 работы, например Э. Галуа, и тем не менее их имена навсегда вошли в историю науки.

Третий показатель — число эффек-

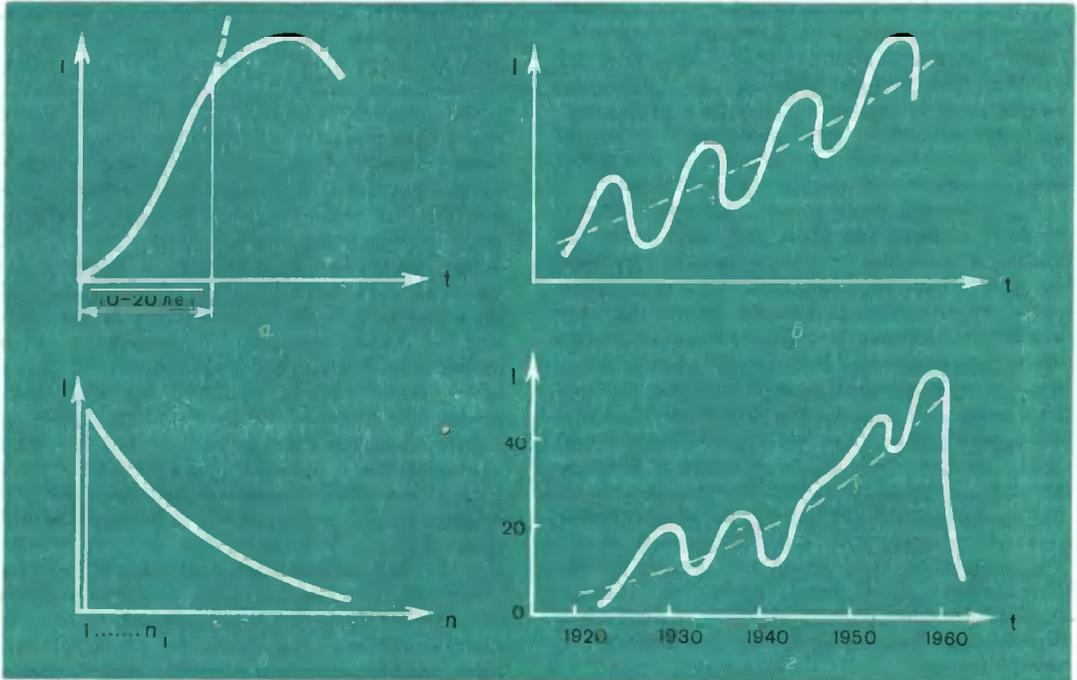


Рис. 1. Результаты науковедческого анализа: а — сглаженная кривая роста числа научных публикаций (числа научных сотрудников); б — кривая роста числа научных публикаций (числа научных сотрудников) на большом временном интервале; в — кривая продуктивности ученых (число опубликованных за одинаковый промежуток времени научных статей), по оси абсцисс отложены порядковые номера ученых, ранжированные по количеству опубликованных работ; г — график изменения числа публикаций за 40 лет по теме, связанной с изучением дискретного характера микромира (по А. Н. Вальцеву). Пунктирная кривая — результат сглаживания.

ненциального роста числа публикаций на одного автора в среднем приходится 2,5 статьи в год.

Иногда делаются попытки установить связь между возрастом ученого, числом опубликованных им работ и тем местом, ко-

тивных связей между учеными. По мнению многих исследователей, связи между учеными выполняют следующие функции: во-первых, они обеспечивают существование соответствующей области науки, отделяя ее по специфике используемых методов, объектов исследования, терминологии и составу участников как от других областей науки, так и от «не-науки» (непрофессионального обсуждения проблем); во-вторых, они реализуют механизмы контроля за качеством научной продукции (признание, поощрение или осуждение); в-третьих, они обеспечивают связь отдельного ученого с научным миром (через организацию симпозиумов, конференций, через обмен оттисками статей, через личные контакты).

Количественные исследования научных коллективов показывают, что эффективно работающие группы исследователей в период экспоненциального развития контактируют между собой, по некоторым оценкам, в 5 раз чаще, чем остальная масса исследователей, работающих в данной области науки, и через них проходит свыше 80% перекрестных ссылок в публикуемых работах. Время существования таких групп около 10 лет.

Можно сделать один любопытный вывод. Необходимость осуществления научных связей накладывает ограничение на размеры коллективов, внутри которых может эффективно происходить обмен информацией. Размеры такого коллектива ограничиваются сверху, по некоторым данным, 100—150 специалистами.

Развитие биофизики подчиняется указанным выше закономерностям. В целом биофизика как наука переживает этап экспоненциального развития. Однако различные области биофизики и научные направления развиваются с разной скоростью. Из направлений, которые замедлили свой рост, специалисты переходят в новые направления, которые находятся на стадии экспоненциального роста. Приведем некоторые количественные данные.

### РАЗВИТИЕ НАУКИ НА ПРИМЕРЕ БИОФИЗИКИ

Удвоение числа научных публикаций по биофизике в СССР происходило за последние два десятилетия каждые 5 лет, т. е. намного быстрее, чем в любой отрасли фундаментальных исследований. В 30—40-х годах в СССР работы по биофизике печатались в двух журналах: «Известия Института физики и биофизики» (редактор академик П. П. Лазарев) и «Журнал прикладной физики» (редакторы академики А. Ф. Иоффе и П. П. Лазарев). Сегодня в СССР 17 журналов печатают статьи по различным разделам биофизики. Ведущими журналами являются журналы «Биофизика», «Радиобиология», «Молекулярная биология», «Доклады Академии наук СССР». Во всем мире свыше 100 журналов печатают статьи по биофизике. По данным реферативного журнала «Биофизика», за период 1973—1976 гг. во всех ведущих журналах было опубликовано свыше 40 тыс. статей. Если принять, как говорилось выше, что на одного автора в среднем приходится 2,5 статьи в год, то в мире 4—5 тыс. специалистов работает в различных областях биофизики.

Анализ числа публикаций за 4 года (1973—1976)<sup>5</sup> позволяет определить количественные показатели достигнутого развития и темпов относительного роста исследований в различных областях биофизики (рис. 2, вверху). Из диаграммы (рис. 2, внизу) видно, что в середине 70-х годов высока скорость развития таких областей биофизики, как биологическая термодинамика (изучение общих закономерностей поведения открытых неравновесных систем), биофизика органов чувств, квантовая биофизика и т. д. Значительно медленнее развиваются радиационная биофизика, биофизика фотосинтеза и раздел молекулярной биофизики, изучающий структуру и функцию белков и нуклеиновых кислот. С чем связано уменьшение темпов развития некоторых областей биофизики?

Максимальная скорость развития радиационной биофизики приходилась на 50—60-е годы — начало широкого освоения атомной энергии. Дальнейшие успехи в развитии радиационной биофизики были связаны с открытиями в других областях биофизики и биохимии. Поэтому к середине 70-х годов наблюдался отток специалистов из области радиационной биофизики в другие направления.

В настоящее время в связи с активной деятельностью человека и неизбежным загрязнением окружающей среды, в том числе и различными физическими полями (электромагнитные излучения, звуковые волны), радиационная биофизика начинает ориентироваться на изучение не только высокоэнергетической ионизирующей, но и неионизирующей радиации или на исследование одновременного воздействия на живые системы этих двух видов радиации. Это служит предпосылкой нового роста числа публикаций в этой области. Не случайно в рубриках V и VI Международных биофизических конгрессов (1975, 1978 гг.) появился вместо названия «Радиационная биофизика» новый раздел «Окружающая среда».

Уменьшение числа публикаций в области фотосинтеза связано с тем, что большая часть этапов фотосинтеза к середине 70-х годов была исследована и интересы специалистов, работавших в этой области, сместились в сторону биофизики мембран и субклеточных органелл.

<sup>5</sup> Марценюк-Кухарук П. О., Тодаров И. Н. Перспективы развития биофизики и молекулярной биологии в СССР. Информация. НИИ научно-технической информации Госплана УССР, 1976.

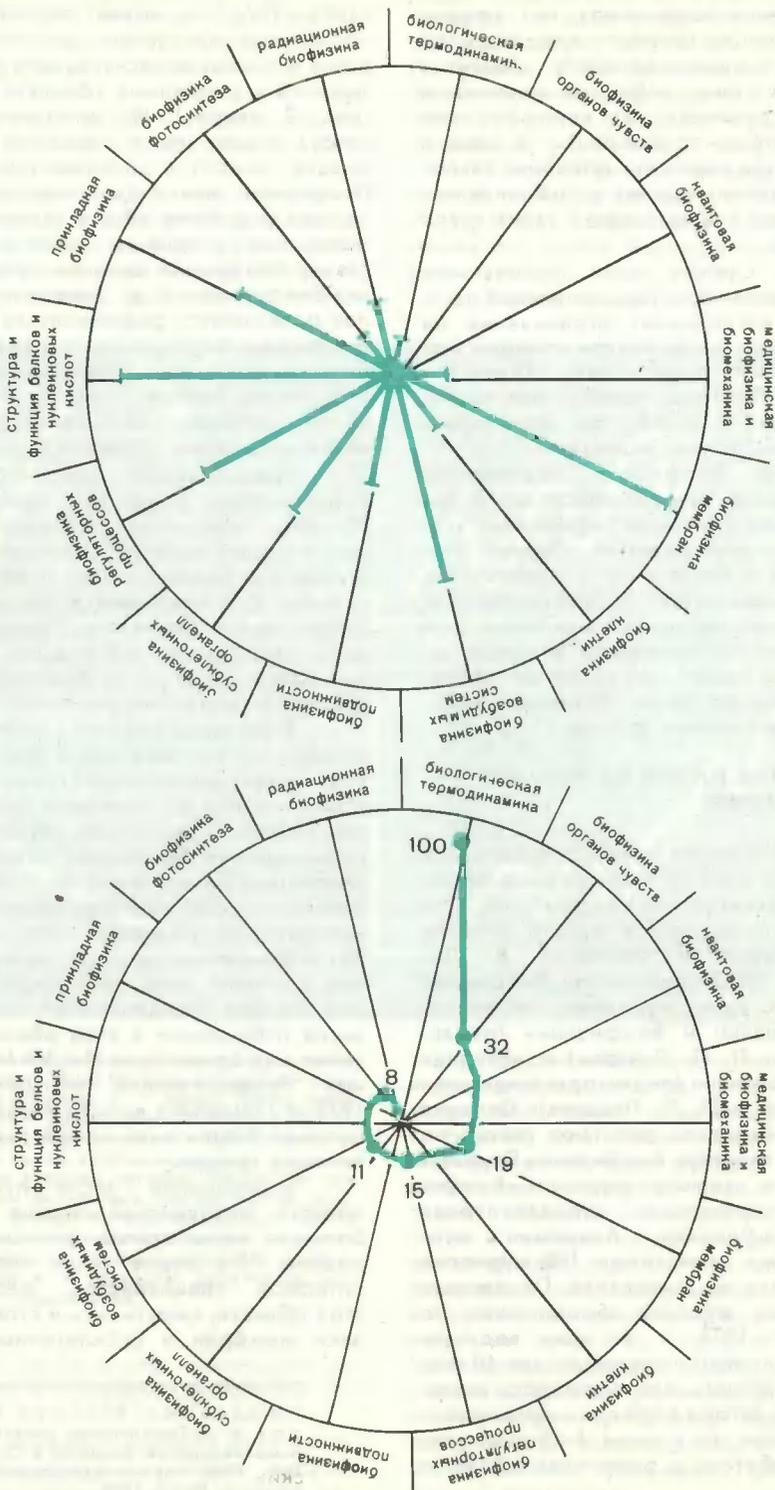


рис. 2. Распределение числа публикаций по различным разделам биофизики за 4 года в середине 70-х годов: вверху — круговая диаграмма распределения числа публикаций по различным областям биофизики; внизу — годограф (от греч. *óbos* — путь) скорости роста числа публикаций в различных областях биофизики. Самая большая скорость принята за 100 единиц, самая малая — за ноль, расположенные по окружности названия областей биофизики ранжированы по величине скорости.

Уменьшение числа публикаций в области изучения структуры и функции белков и нуклеиновых кислот, происходящее на 1975—1976 гг., определяется тем, что образовалась новая область науки — молекулярная биология, поэтому работы этого направления были исключены из раздела «Биофизика».

Следует сделать три замечания: во-первых, значения количественных показателей зависят от рубрикации; во-вторых, биофизика, как и любая другая наука, — это динамическая система, поэтому приведенные показатели справедливы на ограниченном временном интервале; в-третьих, закон экспоненциального роста справедлив лишь при усреднении, поэтому использование статистического материала за 4 года может оказаться недостаточным для достоверных выводов. А чтобы знать, как выглядит количественная картина развития биофизики в начале 80-х годов, необходимо было бы вновь проделать трудоемкую работу по анализу числа публикаций.

### МОДЕЛЬ ПРОЦЕССА ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ДВУХ ОБЛАСТЕЙ НАУКИ

Определим, какие данные следует заложить в модель, чтобы изменение количества научной продукции при взаимодействии двух областей науки соответствовало кривой, показанной на рис. 1 б. Можно записать шесть основных постулатов и составить схему взаимодействий двух областей биофизики (рис. 3 б):

1. Количество производимой научной информации  $I$  пропорционально числу сотрудников  $N$ , работающих в данной области науки.

2. Производство научной продукции (научной информации)  $I$  прямо пропорционально затратам средств (энергии)  $E$  на развитие данной области науки и обратно пропорционально удельным затратам на получение единицы научной информации

$D$ , например затратам на одну научную статью.

3. Количество научной продукции  $I$  и количество научных сотрудников  $N$  растет пропорционально средствам  $E$ , выделенным на развитие данной области, и уменьшается пропорционально росту удельных затрат  $D$  на получение единицы продукции, так как сотрудники уходят в более перспективное направление науки.

4. Чем больше сотрудников  $N$  работает в данной области науки, тем быстрее реализуются имеющиеся идеи, что приводит к росту удельных затрат на единицу научной продукции  $D$ , к падению выхода научной продукции  $I$  и, как следствие, к миграции научных сотрудников в соседние области науки.

5. Между областями науки существует положительная обратная связь. Рост количества научной продукции  $I$  (появление новых идей) в одной области науки стимулирует развитие другой области науки, так как уменьшает в ней удельные затраты на получение единицы научной продукции.

6. Общее количество средств  $E$ , отпускаемых на развитие науки, растет (рис. 3 а).

На схеме (рис. 3 б) стрелками показаны связи между отмеченными в постулатах параметрами.

Эти связи можно выразить через систему уравнений, которая определяет динамику изменения во времени выхода научной продукции:

$$\begin{aligned} \frac{dI_1}{dt} &= k_1 E_1 N_1 N_2 - k_2 N_1, \\ \frac{dI_2}{dt} &= k_3 E_2 N_1 N_2 - k_4 N_2, \end{aligned} \quad (*)$$

где  $\frac{dI_1}{dt}$  и  $\frac{dI_2}{dt}$  — скорости изменения количества научной продукции соответственно в области 1 и 2;  $E_1, E_2$  — средства, поступающие соответственно в область 1 и 2;  $N_1$  и  $N_2$  — число сотрудников, работающих в области 1 и 2;  $k_1, k_2, k_3, k_4$  — коэффициенты, зависящие от начальных условий.

Система уравнений (\*) — нелинейная, так как в правой ее части, наряду с линейными членами, фигурируют произведения  $N_1$  и  $N_2$ . Нелинейность является следствием постулата 5. Подобные уравнения в биофизике были исследованы еще Лоткой в приложении к колебательным химическим системам и Вольтера при описании экологических задач (взаимодействие хищников и жертв).

Зависимость изменения во времени выхода научной продукции, полученная на основе решения системы уравнений (\*), показана на рис. 3 в. Как мы видим, она совпадает с кривой на рис. 1 б. Таким образом, можно утверждать, что построенная модель может претендовать на модель реального процесса взаимодействия двух областей науки. Очевидно, что если разорвать связь между  $I_1$  и  $D_2$ , то выход количества научной продукции в области 2 начнет падать.

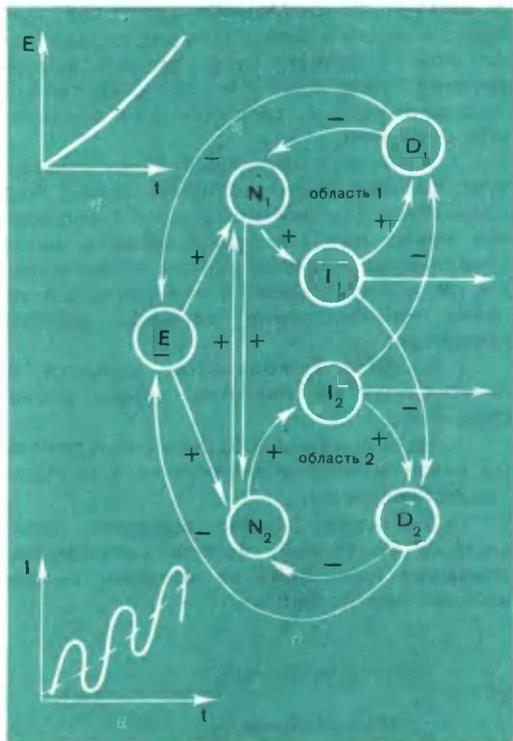


Рис. 3. Модель взаимодействия двух смежных областей науки: а — количественный рост средств (E), отпускаемых на развитие науки; б — связи (показаны стрелками) между отмеченными в постулатах параметрами; знаком «+» обозначается положительная связь между параметрами (увеличение одного из них приводит к увеличению другого); знаком «—» обозначается отрицательная связь (увеличение одного параметра приводит к уменьшению другого); в — зависимость изменения во времени выхода научной продукции, полученная на основе решения системы уравнений (справедливо для обеих областей).

В системе уравнений (\*) нет зависимости от пространственных координат, т. е. поведение системы рассматривается как бы в одной точке, в условиях активного «перемешивания» информации (функция одной переменной — времени). Реаль-

но это не так. Научная информация распространяется от одного ученого к другому, из одной страны в другую, но, к сожалению, в науковедении не проводилось исследований, которые позволили бы построить концептуальную модель развития различных областей науки с учетом распространения информации по всему земному шару.

Если одним взглядом удалось бы окинуть все многочисленные направления биофизики и понаблюдать за их изменением в течение десятилетий, то перед нами возник бы образ живого Океана, состоящего из тысяч физиков, математиков, химиков и биологов, который занят добычей, передачей и упорядочением научной информации. Различные области этого Океана периодически изменяются, увеличиваясь или уменьшаясь, сливаясь или разделяясь, а сам Океан живет по законам развития наук, которые до конца еще неизвестны<sup>6</sup>.

### МИГРАЦИЯ СПЕЦИАЛИСТОВ

Итак, неравномерность скорости развития различных областей науки сопровождается миграцией специалистов. Как формируются кадры, как идет их подготовка и миграция? Дадим ответ на этот вопрос, используя снова в качестве примера биофизику.

На первых этапах развития биофизики пополнение кадрами шло за счет притока из смежных областей науки. В дореволюционной России вопросы биофизики привлекали внимание крупнейших ученых: И. М. Сеченова, А. Ф. Вериги, А. Ф. Самойлова, Н. Е. Введенского, А. А. Ухтомского, В. Ю. Чаговца, С. Ф. Штейна, Н. А. Умова, К. А. Тимирязева, П. П. Лазарева, В. И. Вернадского. Эти ученые «приходили» из физики или медицины, либо получая двойное образование (оканчивая два факультета — физический и медицинский), либо путем дополнительного самообразования, стажирясь в физических и физиологических лабораториях. Приведем несколько примеров.

П. П. Лазарев (1878—1942) — крупный биофизик, академик, по его инициативе в 1919 г. был организован Институт

<sup>6</sup> Здесь имеет место аналогия с автоволновыми процессами. См.: Иваницкий Г. Р. Стратегия научного поиска. — Природа, 1981, № 6, с. 8. О «волнообразности развития» научной дисциплины см. также: Раутиан С. Г. Тенденции развития современной оптики. — Природа, 1978, № 11, с. 49.

физики и биофизики. Лазарев после окончания гимназии поступил на медицинский факультет Московского университета. С отличием окончив медицинский факультет, через два года он одновременно сдал два экзамена: один на ученую степень доктора медицины, а второй — за весь курс физико-математического факультета университета. В 1912 г. он был избран профессором физики Московского высшего технического училища, ныне носящего имя Н. Э. Баумана, а с 1919 г. стал директором Института биофизики.

Г. М. Франк (1904—1976) — академик, трижды лауреат Государственной премии, с 1957 г. — директор Института биологической физики АН СССР, директор-организатор Научного центра биологических исследований АН СССР в г. Пущино. Франк окончил естественное отделение Таврического (Крымского) государственного университета. В период учебы в университете и в аспирантуре занимался исследовательской работой под руководством известного биолога профессора А. Г. Гурвича, а с 1929 г. работал в Физико-техническом институте в Ленинграде у физика академика А. Ф. Иоффе, который вырастил целое поколение замечательных советских ученых. Кроме того, следует отметить влияние на образование Франка его отца — профессора математики.

Любопытна трансформация специальности крупного немецкого ученого Г. Гельмгольца (1821—1894), заложившего основы биофизики органов чувств, мышечного сокращения и возбудимых систем. Он окончил Военно-медицинский институт в Берлине и шесть лет работал врачом, затем преподавал и занимался исследовательской работой как физиолог в различных университетах Германии (Кенигсберг — 6 лет, Бонн — 3 года, Гейдельберг — 13 лет). После этого 7 лет преподавал физику в Берлинском университете, а с 1888 г. был директором Физико-технического института в Берлине.

Такой динамизм и разносторонний характер интересов свойствен многим крупным ученым. А. Сент-Дьерди — известный венгерский биофизик и биохимик (иностранный член АН СССР) в автобиографической статье писал: «Помнится, мои гистологические исследования продвигались вполне успешно, но на третьем году изучения медицины морфология перестала удовлетворять меня — она мало что говорила мне о живом. Я принялся за физиологию... Я хотел понять, что такое жизнь. Физиология казалась мне невероятно

сложной, и я занялся фармакологией: здесь можно было подступиться если не к пациенту, то к лекарству. Вскоре я убедился, что этого мало. И я переметнулся в бактериологию, но бактерии тоже не лыком шиты. Я взялся за физическую химию, т. е. за молекулы, которые в то время считались самой малой единицей. Несколько позже я пришел к выводу, что и молекулы слишком сложны, и принялся за электрон... Я решил одолеть эту лестницу — начиная от электронов, через более сложные системы, с надеждой выйти когда-нибудь на клеточный уровень организации. Видите, линия моей внутренней жизни представляет собой почти правильную синусоиду»<sup>7</sup>. Науковеды выяснили, что каждые 5 лет активно работающий специалист меняет направление своих исследований.

Читателю была предоставлена возможность взглянуть на развитие науки с двух позиций, что позволило ему, с одной стороны, целиком охватить макродинамику (пульсирующий характер) развития науки, и с другой — рассмотреть «пружинь», которые заставляют специалистов искать новые пути в науке и мигрировать по ее областям.

Кроме того, прогностические данные развития различных областей науки могут иметь практическое значение, так как они позволяют ориентироваться студентам при их специализации и аспирантам при выборе тем диссертаций, дают возможность учитывать опережающие потребности в специалистах для различных областей фундаментальной науки.

<sup>7</sup> Сент-Дьерди А. — Химия и жизнь, 1980, № 1, с. 78.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ И ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ПРОБЛЕМЫ БИОФИЗИКИ. М.: Наука, 1979.

СИСТЕМНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ (ежегодник). М.: Наука, 1980, 1981.

Вольтерра В. МАТЕМАТИЧЕСКАЯ ТЕОРИЯ БОРЬБЫ ЗА СУЩЕСТВОВАНИЕ. М.: Наука, 1976.

Хакен Г. СИНЕРГЕТИКА. М.: Мир, 1980.

Lotka A. ELEMENTS OF PHYSICAL BIOLOGY. N. Y., 1956.

## Эти загадочные тихоходки

М. С. Гиляров



Меркурий Сергеевич Гиляров, академик, академик-секретарь Отделения общей биологии АН СССР, заведующий лабораторией почвенной зоологии и экспериментальной энтомологии Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР, председатель Советского национального комитета по Международной биологической программе, Лауреат Государственных премий СССР 1951, 1967 и 1980 гг.

Представители широко распространенной, но сравнительно мало изученной группы беспозвоночных — тихоходки известны зоологам уже почти 300 лет, однако споры об их систематической принадлежности до сих пор не прекращаются.

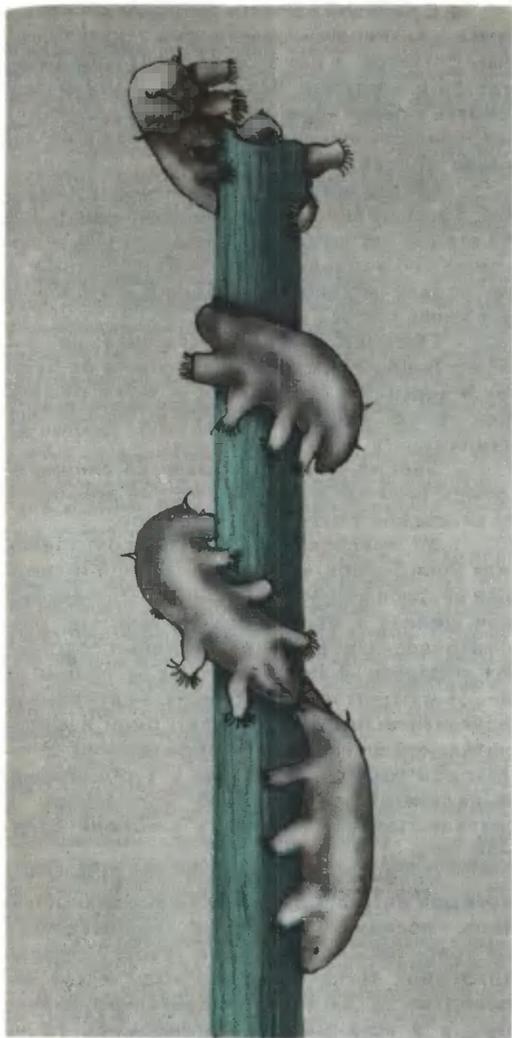
Этих мелких, нередко микроскопических беспозвоночных впервые увидел в конце XVII в. изобретатель микроскопа голландец Антон Левенгук в каплях собранной с крыши воды. Конец XVIII в. был периодом увлечения микроскопом, и немецкий пастор И. А. Геце, обнаружив тихоходок в прудовой воде, дал им название *Bärtierchen* (нем. — медвежата), вполне заслуженно сохранившееся за ними в немецкой литературе до сих пор. В 1777 г. известный итальянский зоолог Л. Спалланцани, изучавший произвольное зарождение и анабиоз, описал этих медленно передвигающихся животных, назвав их «*il tardigrado*» (итал. — тихоходка). Впоследствии латинизированная транскрипция *Tardigrada*, введенная Л. Дуайером в 1840 г., укоренилась в зоологии как название этой группы животных.

Своей ярко выраженной способностью к анабиозу тихоходки привлекли особое внимание исследователей прошлого века. Впервые была подробно описана ти-

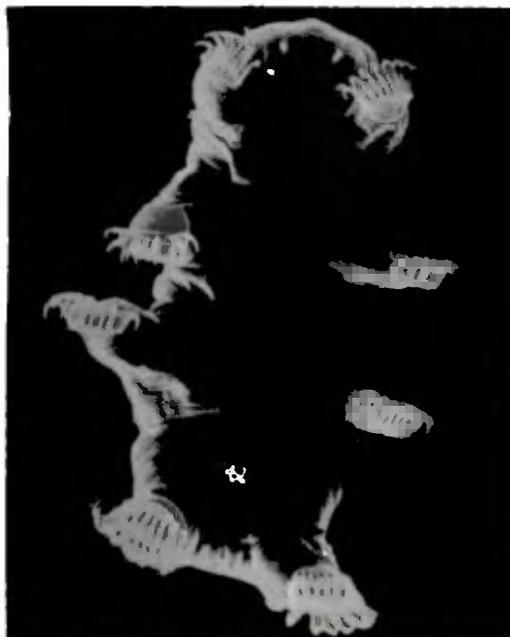
хоходка, встречающаяся во мху и способная после мнимой смерти сохранять жизнеспособность в высушенном состоянии в течение нескольких лет и оживать после увлажнения. К. Шульце, исследовавший крупный (до 1,2 мм) вид тихоходки, назвал его *Macrobiotus hufelandii*. Вид назван им в честь известного в свое время врача Х. В. Гуфеланда, а род — по названию его сочинения «*Macrobiotica*» (от лат. *macrobiotus* — долгожитель).

Тихоходки — обычно микроскопические двусторонне-симметричные животные. Тело их, округло-выпуклое со спинной стороны и более или менее плоское с брюшной, имеет головной отдел и 4 туловищных сегмента, каждый из которых несет на брюшной стороне по две пары нечленистых выростов стенок тела — конечностей. Они заканчиваются коготками или пальцеобразными отростками с лопастевидными расширениями на вершинах, напоминающими щетинки морских кольчатых червей. Видимое расчленение тела связано с развитием хитиноподобной, но не содержащей, в отличие от членистоногих, хитин кутикулы, которую выделяют клетки плоского эпителия.

Как и все беспозвоночные с прочной кутикулой, тихоходки линяют. В восстано-



Тихоходки, передвигающиеся по нити водоросли.



Тихоходка *Echiniscoides sigismundi* под растровым электронным микроскопом.

лении кутикулярных структур при линьке участвуют открывающиеся в ротовую полость так называемые стилетные железы.

У примитивных тихоходок кутикула тонкая и гладкая, а у некоторых (например, *Pseudechiniscus*) сильно развиты склеротизованные пластинки, придающие им отдаленное сходство с броненосцами. На теле расположены многочисленные придатки, занимающие постоянное для каждого вида положение. К ним относятся мягкие сосочки или волоски, которым приписывают зна-

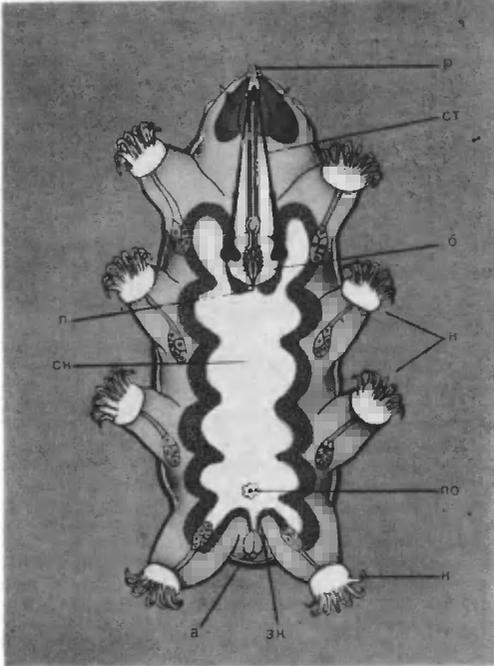
чение органов чувств, а также просто хитиновые выросты в форме шпиков или нитей.

Некоторые морские тихоходки имеют выросты вокруг ротового отверстия и на голове, причем в основании более длинных головных отростков находится мощная булавовидная папилла (от лат. *papilla* — сосок). У глубоководных тихоходок (*Taraxus dendriticus*) папилла на четвертой паре конечностей разрастается в громадный ветвящийся осязательный орган, выполняю-

щий ту же функцию, что и сильно развитые сенсорные выросты глубоководных рыб и многих беспозвоночных.

У большинства наземных форм, живущих в крохотных скоплениях воды в подушках мхов, лишайников и т. п., кутикула гладкая, не имеющая ни сосочков, ни щупиков, ни булавовидных отростков. Едва ли не единственное исключение среди этих форм — *Hypsibius opatus*, на теле которого имеются мелкие щетинки.

Коготки, которыми оканчиваются кожные выросты у более примитивных,



Тихоходка *Echiniscoides hoepneri*, паразитирующая на морских желудах [вид с брюшной стороны]. р — рот, ст — стилет, б — бульбус, п — пищевод, и — ноги, к — коготки, ск — средняя кишка, зн — задняя кишка, по — половое отверстие, а — анус.

в основном морских тихоходок *Heterotardigrada*, варьируют по форме и числу. Так, у живущих в песчаном грунте морской литорали *Batillipes mirus* Richter 6 пальцеподобных выростов на каждой ноге заканчиваются лопастевидными расширениями. У других видов тихоходок — коготки загнутые: у *Echiniscus* и близких родов — их 4 (у молодых — всего по 2), у *Thermozodium* — 6, у *Echiniscoides* — 11, а у *Eutardigrada* — на каждой ноге по 2 двухраздельных коготка.

В ротовой полости тихоходок имеется пара хитинозно-известковых кутикулярных стилетов. У некоторых тихоходок (*Mesogobiotus*, частично *Echiniscinae*) они развиваются в перетирающие кулачки, в какой-то мере напоминающие соответствующий аппарат коловраток.

Глотка образует насасывающий бульбус (расширение в форме луковицы), а в ее стенке располагаются известковые включения — зерновидные, палочковидные и др., различающиеся по форме и величине у разных видов.

Средняя кишка, состоящая из 5—6 пар боковых карманов, отделена от бульбуса коротким пищеводом и легко распознается по отсутствию кутикулярной выстилки.

Задняя кишка открывается анальным отверстием на брюшной стороне примерно у основания последней пары ног.

У пресноводных тихоходок, таких как *Eutardigrada*, на границе задней и средней кишки в кишечник открывается ректальная железа и два трубчатых выроста, рассматриваемых как мальпигиевые сосуды. Их развитие у пресноводных и наземных видов и отсутствие у морских — косвенное доказательство осморегуляторной и выделительной функций этих образований. У тихоходок точно так же, как у турбеллярий, выделительную функцию выполняют и железы ротовой полости и эпителий средней кишки.

Специальных органов дыхания у тихоходок нет, они дышат всей поверхностью тела, поскольку кутикула, покрывающая их тело, проницаема для газов. Покровы тихоходок легко испаряют воду, а так как поверхность их тела относительно велика (как и у всех мелких организмов), то на воздухе они быстро высыхают. Именно поэтому живут тихоходки только в воде: некоторые, в основном примитивные формы, обосновались в морях, большинство прогрессивных групп тихоходок — в пресных водоемах, а наземные — на субстратах, где образуются временные скопления капельной и капиллярной воды (почва, подушки мхов, корочки лишайников).

Обитая в водной среде, тихоходки не плавают, а передвигаются по поверхности твердого субстрата с помощью мешковидных выростов — конечностей. Принцип их движения отличается от принципа работы конечностей членистоногих. Мышцы, приводящие в движение коготки, прикрепляются не к ним, а к кутикуле рядом: сокращаясь, мышцы отводят коготки, а при расслаблении мускулатуры (благодаря

эластичности кутикулы) коготки цепляются за субстрат. Таким образом, кутикула тихоходок, так же, как и у нематод, является антагонистом мускулатуры.

Нервная система в общих чертах несколько напоминает лестнично-ганглиозную систему кольчатых. Головной мозг тихоходок — 4—5-лопастный — соединяется с подглоточным ганглием, который, в свою очередь, связан парными коннективами с 4 туловищными нервными узлами. У морских тихоходок *Heterotardigrada*, а также у некоторых хищников мозг иннервирует сосочки и чувствующие нити головы. С головным мозгом связаны два глазных пятнышка, состоящие каждое из одной клетки с красным, как у *Echiniscidae*, или черным, как у *Eutardigrada*, пигментом. Глазки тихоходки очень напоминают таковые у низших червей.

Тардиграды раздельнополы. Самцы обычно мельче самок и уступают им по численности. Половые железы непарны, и их протоки у некоторых видов открываются над анусом, а у других — в заднюю кишку — половую клоаку. Оплодотворение у тихоходок наружное, наружно-внутреннее и внутреннее.

Так, карликовые самцы тихоходок *Hypsidium megalonux* впрыскивают сперму в отслоившийся кутикулярный чехлик, сброшенный самкой при линьке. Туда же самка откладывает яйца, и следовательно их оплодотворение происходит вне организма самки.

У большинства пресноводных тихоходок самцы вводят сперму непосредственно в клоаку (внутреннее оплодотворение), либо тоже в сброшенный кутикулярный чехол, откуда сперматозоиды попадают в семеприемник, отходящий от яйцевода самки (наружно-внутреннее оплодотворение). В обоих случаях осеменение происходит до созревания яиц, и сперматозоиды остаются неподвижными до тех пор, пока яйцеклетки не будут готовы к оплодотворению. Как видим, у тихоходок наблюдается та же смена способов оплодотворения, которая характерна для членистоногих, переходящих от водного образа жизни к наземному<sup>1</sup>.

Некоторые тихоходки размножаются партеногенетически, и самцы у этих видов неизвестны. Вегетативное размножение и регенерация тихоходкам не свойственны.

Эмбриональное развитие тихоходок очень своеобразно. В процессе развития яйцеклетки одни ооциты поглощают другие, что характерно для низших групп многоклеточных, например губок. Яйца с равномерно распределенным в клетке желтком претерпевают полное, почти равномерное дробление. Позднее от зачатка кишки отщуровывается 5 пар целомических мешков. Такое энтероцельное образование мезодермы представляет исключение среди первичноротых беспозвоночных, но характерно для иглокожих и хордовых и показывает глубокую специфику тихоходок. Стенки 4 передних целомических мешков распадаются, давая начало мышечным волокнам и клеткам, которые запасают жиры и гликоген. Эти клетки, свободно плавающие в полости жидкости, выполняют и функцию «почек накопления». Постэмбриональное развитие тардиград — почти прямое без превращений. Только у некоторых видов увеличивается число коготков на выступах и несколько меняется скульптировка кутикулы.

Питаются тихоходки в основном хлорофиллсодержащими клетками низших растений. Прокалывая стилетами оболочку клеток водорослей, мхов, они высасывают их содержимое. Среди тихоходок есть и хищники, например род *Milnesium*, которые питаются нематодами, коловратками, мягкопоярными тихоходками прочих видов и т. п.

У морских тихоходок известен и паразитизм. Уже давно был описан эндопаразит *Tetrakentron synaptae* Chenot, живущий на ротовых щупальцах голотурий, а совсем недавно открыт вид, паразитирующий на морских желудях, *Echiniscoides hoerperi*<sup>2</sup>.

Интересны экологические особенности тихоходок: виды, обитающие в местах с меняющимся режимом влажности (зона прилива, пересыхающие водоемы, подушки мхов и т. п.) способны переносить неблагоприятные условия, например высушивание, переходя в состояние анабиоза. При постепенном подсушивании они образуют так называемые боченочки. Медленно высушая, тихоходки открывают ротовое отверстие так, что свободная вода испаряется не только через наружные покровы, но и через кишечник. При этом головной конец тела и кожные выросты втягиваются внутрь туловища, длина тела становится

<sup>1</sup> Гиляров М. С. Закономерности приспособлений членистоногих к жизни на суше. М.: Наука, 1970.

<sup>2</sup> Kristiansen R. M. — Zool. scripta. 1980, v. 9, p. 113.



Примитивная тихоходка *Pseudochiniscus suillus* с хорошо развитыми склеротизованными пластинками на гладкой кутикуле напоминает броненосца (а).

Тихоходки, живущие в песчаном грунте морской литорали *Batillipes mirus* (вид снизу); хорошо видны «пальцы» с лепестками (б).

*Thermozodium epakii* — тихоходка из горячих серных источников в Японии (в).

У глубоководной тихоходки *Tanarctus dendriticus*, найденной в Каролинской впадине Тихого океана на глубине 4 тыс. м, выросты на конечностях IV пары разрослись в огромный древовидный осязательный орган (г).

«Боченочек» — тихоходка в состоянии анабиоза (д).

Инцистированная тихоходка (е).

на 60% короче, высота и толщина — на 10% больше, и животное приобретает форму «боченочка». Полостная жидкость сгущается, поскольку в организме остается только связанная солями и белками вода, тело утрачивает прозрачность. Примечательно, что у разных видов тихоходок жизнестойкость «боченочков» различна. Если морские тихоходки, живущие в прибрежных зарослях водорослей, в стадии «боченочка» могут находиться в сухом состоянии около 10 дней, то такие наземные формы, как *Macrobiotus hufelandii*, выживают в сухом состоянии 2—3 года, а некоторые 6 лет, восстанавливая при увлажнении жизнеспособность. Устойчивость тихоходок в состоянии анабиоза потрясающа: они оживают после пребывания в течение 20 мес в жидком воздухе (около  $-200^{\circ}\text{C}$ ), переносят 8-часовое охлаждение жидким гелием ( $-272^{\circ}\text{C}$ ), выдерживают нагревание до  $60-65^{\circ}\text{C}$  в течение 10 ч и даже до  $100^{\circ}\text{C}$  — 1 ч; довольно долго могут находиться в атмосфере сероводорода, углекислого газа и т. п.

Другой способ перехода в неактивное состояние — инцистирование (менее глубокий покой), при котором эпидермис отслаивается от кутикулы в виде самостоятельной оболочки. Под ее защитой тело сжимается и лежит неподвижно. Через некоторое время эпидермис начинает выделять новую кутикулу, и покой под защитным покровом двойной кутикулы может продолжаться около 3 мес, после чего животное может выйти из состояния цисты. Интенсивность обмена у цист довольно высокая — всего раза в 4 меньше, чем

у активного животного (как известно, при анабиозе обмен веществ временно почти прекращается).

Физиологически все тихоходки — водные организмы, в том числе и те, которые встречаются в экосистемах суши. По уровню адаптации к жизни на суше они соответствуют свободноживущим наземным нематодам и коловраткам.

Широта адаптации тихоходок к разным средам обитания, несмотря на немногочисленность их видов (известно около 300), показывает, что это очень древняя группа животных. Их предки дали несколько филогенетических ветвей. На более низкой ступени, по-видимому, находятся морские формы, снабженные осязательными придатками на головном конце тела, у них нет мальпигиевых сосудов, и для них характерно наружное оплодотворение. Наиболее примитивные из них, вероятно, ведут интерстициальный образ жизни, т. е. обитают между частицами грунта в прибрежной зоне моря. Однако некоторые хорошо приспособились к жизни на больших глубинах: у этих видов обычно разрастаются осязательные отростки ножных выростов. По-видимому, от примитивных морских тихоходок, ведущих интерстициальный образ жизни, произошли пресноводные представители класса Eufardigrada, которые характеризуются внутренним оплодотворением, отсутствием осязательных отростков на головном конце тела, сросшимися двойными коготками на ножных выростах и сильно развитыми мальпигиевыми сосудами.

Обитатели водной среды тихоходки начали завоевывать сушу в начале силурийского периода (более 400 млн лет назад), как полагает Р. Лежандр<sup>3</sup>. Чувствительные к высыханию, они связали свое наземное существование с пленками воды, скапливающейся среди органов примитивных влаголюбивых растений и в почве. Новая среда обитания радикально не отличалась от прежней (моря и пресные водоемы), и у тихоходок практически не развились специальные приспособления, предохраняющие их от потери влаги, выработалась лишь покоящаяся обезвоженная стадия «боченочка».

Освоение новой среды началось у тихоходок еще до возникновения высших растений и формирования дифференцированных почв. Именно поэтому наибольшее

<sup>3</sup> Legendre R. — Soc. Hist. Nat. Moselle Bull., 1980, v. 42, p. 239.

число современных наземных видов, как и других примитивных беспозвоночных, составляют обитатели первичных обрастных скал (подушек мхов, печеночников и корочек лишайников) и формирующихся под ними первичных почв<sup>4</sup>. К жизни в почвах приспособились в основном пресноводные тихоходки и лишь некоторые виды морских.

Жизненные условия в почве для вышедших на сушу тихоходок близки к тем, в которых раньше обитали эти беспозвоночные, и способ передвижения в ее порах такой же, как между частицами грунта прибрежных участков литорали.

Тихоходки — малоподвижны, но тем не менее наземные виды их широко распространены. Обусловлено это пассивным расселением тихоходок: в пересохшей почве они находятся в состоянии «боченочка» и легко разносятся ветром на большие расстояния. Особенно густо заселили тихоходки первичные почвы на обнажениях известняков, но не редки и в развитых почвах<sup>5</sup>. Здесь тихоходки обитают не только в подстилке, но и в минеральных слоях, опускаясь на глубину до 10 см. Много тихоходок в лесных почвах с грубым гумусом, но в глинистых почвах они, как правило, не водятся.

Среди примитивных наземных форм, живущих в почвах и растительности, наблюдается строгая приуроченность отдельных видов к вертикальным слоям почв и растительным ярусам. По данным финского исследователя Т. Халласа<sup>6</sup>, каждому слою подушек мхов (зеленая часть, отмершие стебли и опад, ризоиды и почва в основании подушки) соответствует определенный комплекс тихоходок со своим доминирующим видом, и поэтому тихоходки могут быть индикатором условий местобитания.

Как было показано в начале статьи, систематическое положение тихоходок до сих пор остается неопределенным, несмотря на давнюю известность этой группы беспозвоночных и достаточные сведения об их строении и экологии, полученные в последние годы.

Обычно тихоходок рассматривают как членистоногих<sup>7</sup>, основываясь на не-

котором сходстве морфологических признаков и анатомического строения. Сходство с членистоногими, в сущности, ограничивается лишь одинаковым типом нервной системы (лестничный тип), сегментацией тела и способами оплодотворения. В то же время обязательный для членистоногих признак — наличие конечностей в составе ротового аппарата — у тихоходок отсутствует. Кроме того, их конечности отличаются по строению от таковых у членистоногих, и по принципу движения они совершенно иные и скорее напоминают ножки онихофор. Строение мышц тихоходок также отличается их от членистоногих: у последних локомоторные мышцы поперечно-полосатые, а у тихоходок — гладкие. На отсутствие истинной близости тихоходок с членистоногими указывает и формирование мезодермальных мешков, больше напоминающее их закладку у иглокожих.

Некоторые специфические черты тихоходок дают повод сближать их с представителями различных систематических групп<sup>8</sup>. Так, ротовой аппарат тихоходок функционально напоминает таковой у вооруженных нематод (тип — круглые черви), что обусловлено, по-видимому, сходным способом питания.

Постоянный клеточный состав (разные органы построены из определенного числа клеток) — общая черта тихоходок с такими систематически далекими от них мелкими беспозвоночными, как коловратки и нематоды.

Гладкая мускулатура, нечленистые конечности тихоходок — признаки, объединяющие их с онихофорами; некоторое сходство имеют тихоходки с брюхооресничными и другими группами. По числу пар конечностей (их четыре пары) тихоходок иногда относят к паукообразным или даже рассматривают их как один из отрядов этого класса<sup>9</sup>.

Приведенный краткий очерк строения, распространения, экологических характеристик тихоходок и сравнение их с другими организмами показывает, что это своеобразная группа беспозвоночных, которая давно и независимо от других типов приобрела неповторимый комплекс признаков. Это, несомненно, совершенно самостоятельный тип животного царства, как справедливо указывает и А. Кестнер<sup>10</sup>.

<sup>4</sup> Стебаев И. В. — Зоол. журнал, 1958, т. XXXVII, вып. 10, с. 1433.

<sup>5</sup> Michelčič W. *Pedobiologia*, 1962, В. 2, S. 46.

<sup>6</sup> Hallas T. E. — *Ann. Zool. Fennici*, 1978, v. 15, p. 66.

<sup>7</sup> Гертвиг Р. Учебник зоологии, изд. 7. Одесса, 1910; Догель В. А. Зоология беспозвоночных. М.—Л., 1945.

<sup>8</sup> Филатова З. А. Тихоходки. — В кн.: Руководство по зоологии, т. III. М.: Сов. наука, 1951.

<sup>9</sup> Borradaile I. A., Pott F. A. *The Invertebrata*. Cambridge, 1959.

<sup>10</sup> Kaestner A. *Lehrbuch der speziellen Zoologie*, В. 1. Jena, 1965.

# ПРИРОДА

ТРУДЫ 8-ГО МЕЖДУНАРОДНОГО СЪЕЗДА ЗООЛОГОВ В ГРАЦЕ 1910 ГОДА.

В этой книге, недавно вышедшей в свет, помещена речь известного швейцарского зоолога и путешественника П. Саразена..., посвященная вопросу охраны животного и растительного мира. Вопрос этот не может не волновать и не заинтересовать не только естествоиспытателя, но и всякого любителя природы. Справедливо Саразен указывает, что забота о спасении живой природы от гибели является обязанностью каждого биолога. За географическими открытиями следует бесцеремонная эксплуатация вновь открытых стран, которая ведет к обеднению земли.

Швейцария с 1906 года принялась за охранение закона альпийской флоры, которая заметно обеднела за последние десятилетия. Приобретением части Нижнего Энгадина с 1909 года положено начало «парка», в котором запрещено всякое нарушение естественного соотношения животного и растительного мира, независимо от пользы или вреда. Саразен предлагает сделать из Шпицбергена такую нейтральную землю, так как покуда эта группа островов еще не присоединена ни к одному государству. Между тем животный мир уже начинается, благодаря наводнению туристами-охотниками, и здесь вымирать. Осталось уже и здесь немного белых медведей, северных оленей и толеней. Настала необходимость защищать от истребления арктическую животную жизнь.

**Об энергии радиоактивных веществ и ее использовании.** Радий непрерывно выделяет из себя теплоту. Один грамм ( $\frac{1}{100}$  фунта) радия выделяет в течение часа 118 мал. калорий тепла. Атомы радия непрерывно распадаются, причем радий непрерывно превращается в другие вещества: гелий, эманацию и т. д. Это превращение совершается сравнительно медленно; но в конце концов кусочек радия исчезнет, превратившись в другие вещества. Можно вычислить, что один грамм радия в течение своей жизни до своего исчезновения выделит 2500 миллионов мал. калорий тепла. Один грамм урана, который тоже подвергается постепенному превращению, отдаст в течение своей жизни 3000 миллионов мал. кал.

Вот какие невероятно огромные количества энергии запасены в небольших количествах радия и урана.

При сгорании одного грамма каменного угля выделяется всего 8000 мал. кал. Значит, один грамм урана, исчезнув весь целиком, выделяет столько тепла, сколько выделяют, сгорая, 400 000 грамм каменного угля; для того чтобы использовать гигантские запасы энергии радиоактивных веществ, нужно заставить радиоактивные вещества раз-

лагаться во много раз скорее, чем они это делают теперь; нужно, чтобы они, по желанию человека, отдавали свою энергию в короткое время.

У нас есть средство ускорять обычные химические процессы, но мы до сих пор не в состоянии изменить скорость превращения радиоактивных веществ и использовать выделяемую при этом энергию.

**Об одном способе делать видимым путь ионизирующей частицы в газе.** Как известно, водяной пар, находящийся в совершенно свободном от пыли газе, можно охладить ниже температуры его сгущения, не вызывая самого сгущения. Если же газ ионизирован, то ионы, подобно пылинкам, являются ядрами, на которых может оседать пар. Вильсон воспользовался этим свойством ионов для того, чтобы сделать видимым путь  $\alpha$ ,  $\beta$  или  $\gamma$ -частицы во влажном воздухе. Способ его основан на следующем: когда ионизирующая частица, напр.  $\alpha$ -частица, движется во влажном воздухе, то она ионизует все встреченные молекулы воздуха. Если теперь расширить насыщенный парами газ, не давая притекать извне теплу, то он охлаждается и наступает конденсация пара на ионах. Фотографический снимок образовавшихся капелек воды даст поэтому изображение пути частицы.

Камера, в которой происходило сгущение, имела вид цилиндра с диаметром 7,5 сантиметра. Высота равнялась 4—5 миллим. до расширения и 6,2 миллим. после расширения. Самое расширение производилось выдвиганием дна камеры. Крышка камеры была сделана из стекла, чтобы дать возможность наблюдать образование тумана. Газ в камере ионизировался исследуемыми лучами, и полученные ионы устранялись электрическим полем, имевшимся между дном и крышкой камеры. Ионы, образующие облако, получались таким образом менее чем за  $\frac{1}{40}$  секунды до расширения. Фотографический снимок производился при освещении электрической искрой через 1—2 секунды после расширения.

**Вращение Урана.** Астроному Лоуэллу удалось установить смещение линий в спектре Урана, которое указывает на вращение планеты в обратном направлении. Время вращения определяется в  $10^3 \frac{1}{4}$  часа.

**Самая большая батарея аккумуляторов.** Едва ли нужно говорить, что эта батарея — американская. Ее устанавливают в Балтиморе; в ней 152 аккумулятора и в каждом 133 пластинки. Размеры аккумуляторов: высота 1 м. 30 ст., ширина 50 ст., длина 1 м. 70 ст. Вес батареи около 500 000 килограммов.

## Теоретические проблемы геологии океанов

А. В. Пейве, Ю. М. Пуцаровский



Александр Вольдемарович Пейве, академик, директор Геологического института АН СССР, автор фундаментальных работ в области изучения структур земной коры, ее движений и эволюции. В «Природе» опубликовал статьи: Офолиты и земная кора (1974, № 2); Геология сегодня и завтра (1977, № 6); Мобилизм и тектоническая расчлененность литосферы (совместно с В. Г. Трифоновым, 1981, № 8). Лауреат Государственных премий СССР. Герой Социалистического Труда.

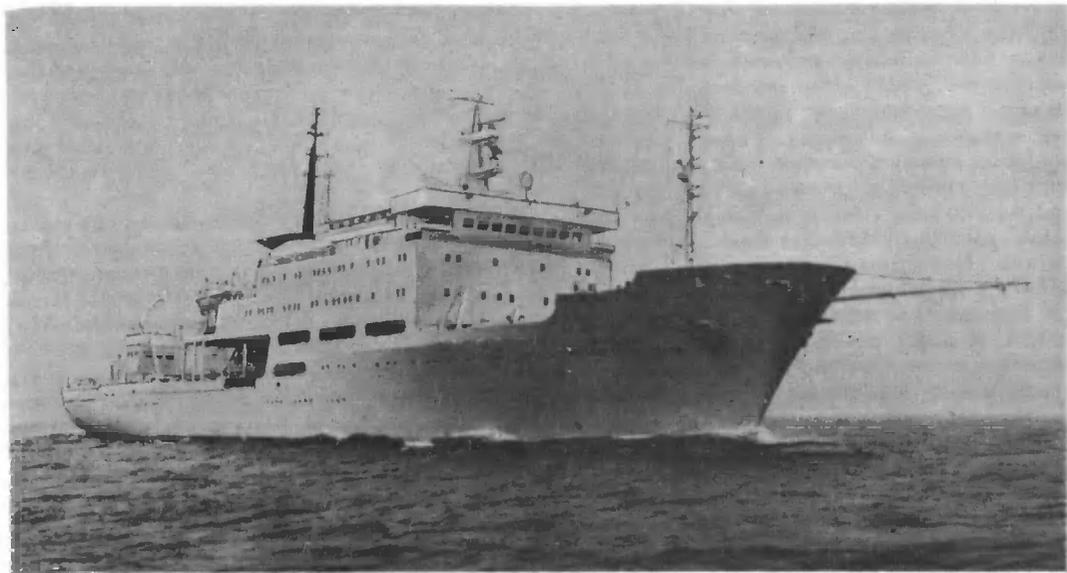


Юрий Михайлович Пуцаровский, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией тектоники приокеанических зон того же института. Автор ряда тектонических карт крупных регионов земного шара, нескольких монографий, в том числе: Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли. М.: Наука, 1972, а также многих статей в журнале «Природа». Лауреат Государственной премии СССР. Заместитель главного редактора журнала «Природа».

Еще несколько десятилетий назад представления о геологии океанов были самыми приблизительными. Развиваться эти знания начали после второй мировой войны, когда в нашей стране и за рубежом стали систематически организовывать морские экспедиции.

Проведенные ими исследования дали богатейший материал прежде всего по рельефу дна Мирового океана. Для геологии данные о рельефе поверхности Земли всегда были важны, так как они в той или иной степени позволяют выявить структурные элементы и зоны, из которых состоит земная кора, например складчатые пояса (горные зоны) и платформы (равнинные области), определяющие строение

континентов. Но данные о рельефе океанического дна для геологических построений имеют совершенно исключительное значение, потому что здесь элементы рельефа и элементы тектонической структуры, как правило, совпадают. В результате изучения рельефа дна и обобщения мирового материала в Советском Союзе был опубликован целый ряд батиметрических карт, отражающих большую сложность строения океанического и морского дна. Полученная картина наглядно показала, что дно океанов не инертно, а тектонически подвижно, что в ходе его структурного развития возникают разнообразные поднятия, происходят погружения, образуются разломы; причем



Новое научно-исследовательское судно АН СССР «Академик Мстислав Келдыш», ведущее наряду с другими геологические исследования в океанах.

по характеру сочетания тектонических элементов океаны в целом и их отдельные крупные районы отличаются друг от друга. Такое представление пришло на смену идее о стабильности и жесткости структуры океанического дна, породившей в свое время и соответствующий термин, введенный в 1955 г. Д. Фэйрбриджем, — «талассократон» (от греч. — океанская крепость), теперь уже вышедший из употребления.

Параллельно с изучением рельефа дна в значительном объеме проводились геофизические исследования. Они разделяются на две группы — глубинное сейсмическое зондирование и комплексное изучение геофизических полей (гравиметрического, магнитного, геотермического). Эти исследования создали чрезвычайно важный базис для геологических построений — представление о геофизических неоднородностях океанической земной коры и ее отдельных слоев не только по вертикали, но и, как оказалось, по площади. Эти представления привели многих геологов к мысли, что глубинные массы перемещаются на значительные расстояния и что в строении дна ярко проявляются горизонтальные тектонические движения.

Геологические исследования сосредоточивались на изучении вещественного

состава и тектонических деформаций слоев океанической земной коры и подстилающих ее пород мантии. Если для изучения осадочного слоя (первого слоя коры океанов) и верхней части его базальтового субстрата (второго слоя океанической коры) самое важное значение имели буровые работы, проводившиеся с американского бурового судна «Гломар Челленджер» (в последние несколько лет на международной основе с участием Академии наук СССР), то для исследования пород нижних частей второго слоя, а также пород третьего слоя и мантии первостепенное значение принадлежит отбору проб с помощью драг на крутых уступах. Здесь можно добыть породы на разных уровнях и получить представление о вертикальном разрезе коры. В этом смысле исключительный интерес представляют материалы, полученные советскими экспедициями в разломных зонах, пересекающих Восточно-Тихоокеанское поднятие, на подводных уступах в северо-западной части Тихого океана, в глубочайших желобах — Марианском и Яп, в районе Восточно-Индийского поднятия, в разломе Оуэн на севере Индийского океана и в ряде разломных зон Северной Атлантики. Можно сказать, что советские геологи обладают сейчас наиболее представительной коллекцией глубинных пород дна Тихого океана.

Обработка собранных материалов позволила внести ясность в понимание геологического разреза океанических недр.

В основании земной коры залегают ультраосновные породы верхней мантии — ультрабазиты. Они наиболее бедны кремнекислотой, обогащены магнием и состоят из таких железо-магнезиальных минералов, как оливин и пироксен. Различные соотношения между оливином и разновидностями пироксена определяют принадлежность ультраосновных пород к тому или иному типу: дунитам, перидотитам и пироксенитам. Перидотиты, в свою очередь, делят на гарцбургиты, лерцолиты и верлиты. Перидотиты наиболее распространены среди пород, обнаруженных в океанической мантии. Обычно мантийные породы существенно изменены, деформированы и раздроблены. В некоторых случаях, вдоль крупных разломов, они высоко подняты. Например, по данным 19-го рейса «Академика Вернадского», в разломе Оуэн породами верхней мантии сложена стена 3-километровой высоты.

Поверх ультрабазитов мантии в обычных разрезах залегают породы уже не ультраосновного, а основного состава, отличающиеся несколько более высоким содержанием кремнекислоты, такие как габбро, а также метаморфические (преобразованные и перекристаллизованные) породы и прежде всего амфиболиты. Возникновение этих пород — результат преобразования главным образом основных, отчасти ультраосновных магматических пород и в некоторой степени осадочных слоев. Этот разнородный комплекс составляет самый нижний слой океанической коры — третий. Над ним располагается второй слой, главная составная часть которого — базальтоиды, в первую очередь толеитовые базальты. Эта разновидность базальтов отличается сравнительно небольшим содержанием  $\text{Na}_2\text{O}$  и  $\text{K}_2\text{O}$ . За петрохимические особенности их часто называют «примитивными базальтами». Базальты с относительно повышенным содержанием щелочных металлов называют щелочными. Они также присутствуют в разрезе коры.

Во время 23-го рейса научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев» по данным о составе пород, извлеченных драгами с уступов поднятия Хесса в Тихом океане, был составлен разрез второго слоя океанической коры толщиной 2,5 км. Поверх базальтов в центральных районах океанов лежат глубоководные осадочные отложения — глинистые, кремнистые и карбонатные, возраст которых не более 150 млн лет. Толщина этого слоя в различных местах варьирует, но в общем

невелика и редко превышает 1000 м. Толща осадочных отложений по содержанию в ней микроорганизмам дробно расчленена на сопоставимые по возрасту пачки во всем Мировом океане, что является теперь надежной основой для глобальной корреляции геологических явлений.

Суммарная толщина всех трех слоев (т. е. толщина коры) неодинакова. Под абиссальными, т. е. расположенными глубоко под водой, равнинами она составляет всего 6—8 км. Это в 5—6 раз меньше, чем толщина коры на континентах.

Все эти данные создали прекрасную основу для углубленных геологических исследований океанического и морского дна, чему в настоящее время в советской геологии уделяется значительное внимание.

### ОСНОВНЫЕ СТРУКТУРНЫЕ КАТЕГОРИИ ЗЕМЛИ (Рис. 3)

Океаны и континенты, различающиеся по типу коры, — это две главные структурные категории Земли. Существуют также зоны, в которых в настоящее время формируется континентальная или океаническая земная кора, идет ее аккреция. Вдоль континентальных окраин, в зонах сочленения океанической и континентальной коры сиалический слой<sup>1</sup> нарастает, а в зонах растекания, раздвигания, или, иначе, спрединга, мафических<sup>2</sup>, или сиалических, масс формируется новая океаническая кора.

Аккреция коры — процесс сложный и многофазный; в нем большую роль играет тектоническое скупивание горных масс. Он достаточно хорошо изучен на континентах и в зонах сочленения их с океанами, а также в районах, где цепочки островов вытянуты дугой, — островных дугах. Гораздо меньше известно о механизме аккреции мафической коры, но вряд ли можно сомневаться, что ее наращивание происходит в результате горизонтального тектонического подтекания, скупивания и подъема мафического материала.

Многие геологи, придерживающиеся идей мобилизма, процесс аккреции континентальной коры до сих пор называют геосинклинальным процессом, не обращая внимания на то, что представление о

<sup>1</sup> Внешний слой земной коры, в состав которого входят преимущественно Si и Al.

<sup>2</sup> Массы, в состав которых входят преимущественно Mg и Fe.



Строение континентальной окраины на северо-западе Тихого океана. Продолжение зон суши в океане показано полосами.

Континентальная кора континента и шельфа возрастом:

более 1700 млн лет

290 млн лет

100 млн лет

65 млн лет

Гранитно-метаморфический слой краевых морей и островных дуг возрастом:

140 млн лет

70 млн лет

50 млн лет

25 млн лет

Гранитно-метаморфический слой, формирующийся в настоящее время

Глубоководные впадины с субокеаническим типом коры

Система глубоководных желобов и краевых океанических валов.

геосинклинали основывается на гипотезе контракции, согласно которой Земля остывает, что приводит к ее сжатию и смятию горных пород в складки. Эта гипотеза давно уже не пользуется признанием геологов. Поэтому понятнейшую основу геосинклинальной теории, базирующуюся на классической доктрине фиксизма, фактически нужно пересматривать.

В любом крупном, молодом или древнем складчатом сооружении, таком  
2 Природа № 1

как Урал, Альпийский горный пояс, Тянь-Шань, Монголо-Охотский пояс, Сихотэ-Алинь и т. п., геологическими методами устанавливается несколько вещественно-структурных комплексов, последовательно сменяющих друг друга во времени. Нижний из этих комплексов — офиолитовый. Он образован ультрабазитами, перекрывающими их разнообразными габброидами и амфиболитами, сильно измененными толеитовыми базальтами, а также кремнистыми и другими породами, обра-

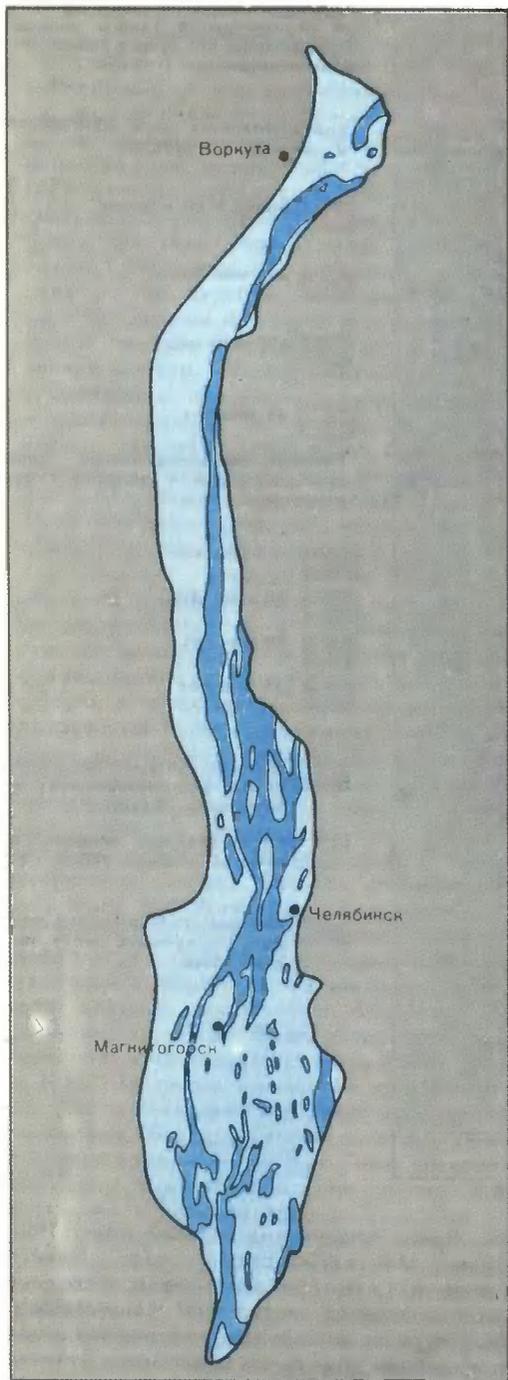


рис. 2

Офиолитовые зоны (показаны синим цветом) — следы раздавленных областей с океанической корой, существовавшей в палеозое. Урал.

зовавшимися в глубоководных условиях. Это не что иное, как аналоги слоев современной океанической коры и ее субстрата. Этот вывод, сформулированный в Геологическом институте АН СССР еще в 1969 г., носит основополагающий характер в современной мобилистической тектонической теории. Если в пределах современных континентов можно видеть фрагменты древней океанической коры, то совершенно естественно заключить, что в соответствующих районах первоначально располагались области с океаническим строением коры.

Что же с этими областями произошло дальше? Каким путем их фрагменты оказались внутри континентов? Современная тектоника отвечает на эти вопросы однозначно: со временем в таких областях тем или иным способом был сформирован гранитно-метаморфический слой. Процесс этот был длительным и мог занимать несколько сотен миллионов лет. В нем выделяются две фазы. В течение первой, наиболее протяженной во времени, образовался следующий за океаническим вещественно-структурный комплекс, весьма разнообразный по составу. В нем также распространены вулканиты, но уже иного типа, преимущественно среднего состава (андезиты), встречаются кислые лавы (дациты, липариты) и осадочные породы (граувакки, глинистые сланцы, туфы). В них, особенно в верхних частях разреза, довольно часто встречаются ритмично переслаивающиеся толщи, такие как флиши и так называемая нижняя моласса. Среди осадочных пород имеются и типичные толщи лавинного осадконакопления. Это турбидиты — отложения мутьевых потоков, движущихся с большой скоростью.

В этом сложном комплексе вулканических и осадочных пород уже появляются различные интрузии магматических пород, в том числе гранитов, обедненных калием, — плагиогранитов. Их внедрение и есть главный показатель уже идущего процесса формирования гранитно-метаморфического слоя. Последний достигает наиболее полного развития под континентами, где его толщина — 15—20 км. Породы этого второго комплекса распространяются зонально, причем зональность эта соответствует той, которая наблюдается в настоящее время в зонах развития островных дуг, краевых морей и глубоководных желобов. Можно считать, что в очень отдаленное геологическое время, около млрд лет назад, на Земле местами

существовали тектонические условия, в общем сходные с теми, которые характерны для современных активных континентальных окраин, где образовывались структурные комплексы островных дуг. Для земной коры таких областей характерно сложное, пятнистое строение, где есть участки с океанической, субокеанической и субконтинентальной корой, отличающиеся друг от друга степенью развития или отсутствием гранитно-метаморфического слоя, толщиной и составом осадочных и вулканогенных образований, особенностями строения глубоких частей коры и толщиной земной коры в целом. Тектонически — это весьма динамичные области Земли, области, находящиеся в процессе формирования континентальной коры. Если здесь и имеются блоки с типичной для материков корой, то они оторвались от материков, сместились и оказались вовлеченными в процесс преобразования океанической коры в континентальную. Так называемые пассивные окраины континентов, характерные для обрамления Атлантики, — также места аккреции континентальной коры. После накопления вдоль этих окраин весьма мощных осадочных толщ, смятия их в складки и метаморфизма и здесь появится новый гранитно-метаморфический слой.

В последней фазе преобразования океанической коры в континентальную массы земной коры интенсивно скучиваются в результате горизонтального сжатия, происходит внедрение типичных для континентов калиевых гранитов и образуются свои собственные специфические геологические комплексы (грубые континентальные толщи, протяженные вулканоплутонические пояса). Процессы скучивания коры и гранитизации в конце концов приводят к становлению монолитно спаянных континентальных массивов с типично материковой земной корой, отличающейся повсеместно распространенным зрелым гранитно-метаморфическим слоем.

Образовавшиеся материи не есть неизменные и вечные структурные образования Земли. Они тектонически развиваются и при этом образуют особые, свойственные только им структурные формы и вещественные геологические комплексы. Главную основу материков составляют древние платформы, образовавшиеся 1—1,7 млрд лет назад. В изучение тектоники платформ большой вклад был сделан советскими геологами. Исследовано строение осадочного покрова (чехла) и кристаллического фундамента,

на котором осадочный покров покоится. Чехол платформ, таких как Восточно-Европейская, Сибирская, формируется медленно, но в конце концов в нем образуются крупные и разнообразные структурные формы с характерными толщами горных пород, контролирующие распространение многих видов полезных ископаемых, в том числе нефти, горючего газа, угля, фосфоритов, солей, некоторых металлических полезных ископаемых и др.

Что касается строения фундамента древних платформ, то в его изучении в последние годы получены сенсационные результаты. Выяснилось, что в образовании его сложнейшей структуры очень важная роль принадлежала горизонтальному сжатию с проскальзыванием утолщенных и тонких пластин друг относительно друга. При бурении Кольской сверхглубокой скважины, прошедшей по кристаллическому фундаменту около 11 км, на ряде уровней обнаружены тектонические брекчии — свидетели горизонтальных перемещений.

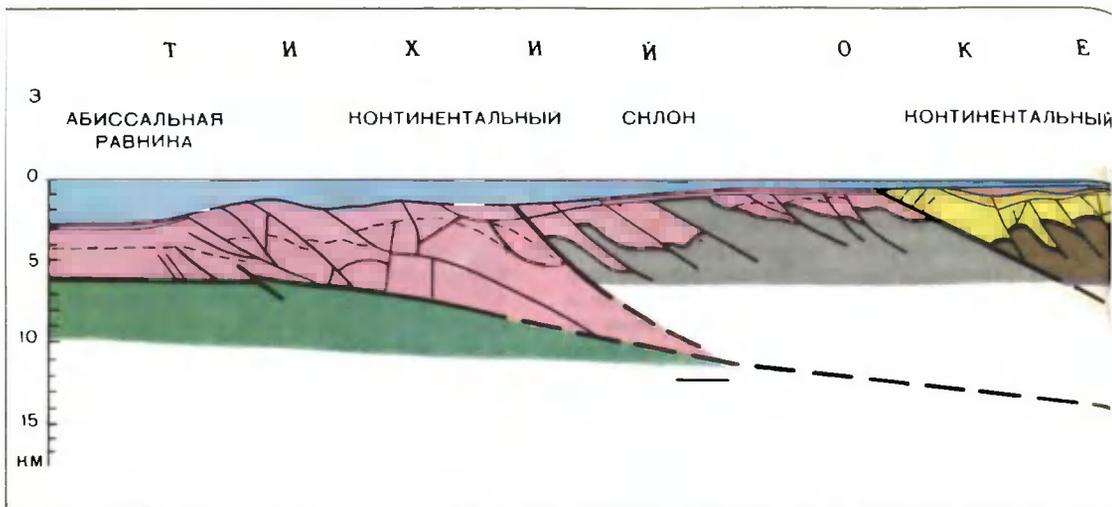
Материи всегда разбиты разломами, по которым их части могут далеко отходить одна от другой. Между ними образуются впадины с океанической корой.

Таким образом, можно выделить три основные стадии в эволюции земной коры континентов — океаническую, переходную и собственно континентальную. Переходную стадию в континентальных окраинах с островными дугами считают адекватной геосинклинальной в полном смысле этого слова. На пассивных окраинах (без островных дуг) она в таком случае может приравниваться к миогеосинклинальной (т. е. слабogeосинклинальной).

## СОВРЕМЕННЫЙ МОБИЛИЗМ

В 1980 г. исполнилось сто лет со дня рождения выдающегося ученого Альфреда Вегенера, который 70 лет назад высказал предположение о расколе древних континентальных масс, их дрейфе и образовании между их частями (современными материками) океанов. Если континентальный дрейф ныне получил многочисленные подтверждения, то механизм и причины его остаются до сих пор загадочными.

В конце 60-х годов для объяснения такого механизма океанологами и геофизиками была предложена мобилистская концепция тектоники литосферных плит. Согласно этой концепции, литосфера Земли, располагающаяся над астеносферой, разбивается на несколько плит. Последние



Строение западной окраины Северной Америки в районе центральной части штата Орегон (по данным П. Снейджи и др., 1980, упрощено). Виден крупный надрыв континентальной пластины на океаническую.

-  Океанические базальты
-  Базальты, слагающие Береговой хребет
-  Различные по составу и возрасту геологические толщи с возрастом от 50 млн лет до современных
- 
- 
- 
-  Граница земной коры и верхней мантии (Мохоровичича)
-  Разрывные нарушения

охватывают огромные области океанов, либо одновременно океаны и континенты. Плиты движутся от осевых зон срединно-океанических хребтов в противоположные стороны поверх размягченной астеносферы до тех пор, пока не достигают глубоководных желобов, местами находящихся на краях океанов, где литосферные плиты «ныряют», засасываясь в мантию. В то же время в осевой зоне срединных хребтов постоянно поднимаются базальтовые магмы, которые непрерывно наращивают плиты, отодвигающиеся от хребта с тыльной стороны. Получается нечто вроде конвейерной системы. Литосферные плиты при этом должны вести себя как однородные жесткие тела, имеющие гигантскую площадь и очень небольшую толщину — под океанами десятки, а под

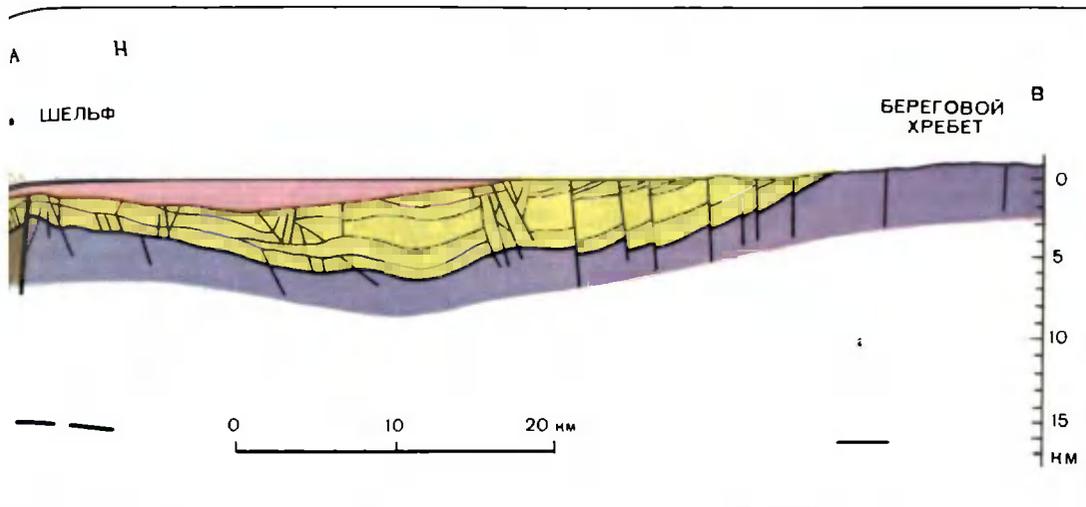
континентами не более нескольких сотен километров.

Многие из тех, кто принимает такую геодинамическую модель, считают, что именно она и только она развивает мобилизм Вегенера.

Нужно отдать должное этой модели, которая наглядно, просто и с точки зрения механики легко объясняет развитие в литосфере некоторых тектоно-магматических процессов. Однако модель приспособлена прежде всего для объяснения тектоники океанов. Но там, где речь идет о континентах, в частности об областях со сложной структурой, возникшей в течение длительного геологического времени, приложить эту модель достаточно трудно. Да и в океанах она, как показывают новые факты о деформациях пород океанической земной коры, «работает» не всегда. Однако нельзя не признать, что в развитии современного учения о мобилизме концепция тектоники плит сыграла исключительно большую роль.

По какому же пути развивается современный мобилизм? Вернемся к главному положению концепции тектоники плит — противопоставлению литосферы и астеносферы. Литосфера — это верхняя оболочка Земли, состоящая, как предполагается, из жестких, твердых и реологически<sup>3</sup> однородных гигантских, но сравнительно тонких плит. Астеносфера обладает пониженной вязкостью. Предполагается, что в астеносфере горные породы частично плавятся. Свойства текучести астеносферы определяют возможность

<sup>3</sup> Реология — наука о текучести вещества.



и.з

конвективных течений в мантии Земли, вызывающих движение литосферных плит.

В последнее время, однако, получены данные, показывающие, что литосфера отнюдь не однородна, а расслоена на отдельные пластины, отличающиеся по физическим, и в том числе реологическим, свойствам, причем поверхности раздела пластин представляют собой зоны, где массы горных пород передвигаются в горизонтальном направлении. Таким образом, горизонтальное движение происходит не только по астеносфере, но и по многим другим слоям также относительно пониженной вязкости т. е. по тектоническим разделам, находящимся внутри литосферы. Эти данные существенно осложняют упрощенную картину движения по схеме тектоники плит.

Литосфера охватывает земную кору и верхнюю часть мантии Земли. Горизонтальные движения — срывы — происходят и в мантии, и в коре. Во всех горных системах Альпийского пояса, будь то Гималаи, Памир, Кавказ или Альпы, во многих районах обрамления Тихого океана, на Урале, в Аппалачах, в Скандинавии и во многих других местах обнаружены сорванные с их первоначального места и перемещенные на значительные расстояния массы горных пород, — тектонические пластины, чешуи, шарьяжи или покровы. Такие массы мы называем коровыми аллохтонами, если они охватывают верхние толщи литосферы, или мантийными аллохтонами, если они охватывают мантию. Эти смещения масс горных пород — главное геологическое доказательство горизонтальных срывов.

Многие крупноамплитудные сдвиги (такие, например, как по разлому Сан-Андреас в Калифорнии) образовались в результате срыва масс в коре и не проникают в глубь мантии.

Коровые аллохтоны часто залегают один на другом, образуя сложные по строению тектонические ансамбли. Наиболее значительны по протяженности смещения масс глубинных кристаллических пород гранитно-метаморфического слоя, которые в результате движения оказываются наверху, перекрывая значительно более молодые образования осадочной оболочки. Такие покровы установлены в Карпатах, Динаридах, Восточных Альпах, Гималаях и других районах.

Мантийные глубинные аллохтоны сложены офиолитовыми сериями. Как уже отмечалось, офиолиты — это комплексы пород океанической земной коры, включающие также ультраосновные породы мантии. Такого типа аллохтоны (чешуи, крупные покровы) хорошо изучены на Корякском нагорье, Камчатке, Сахалине, в Японии, на Филиппинах, в Новой Каледонии, на о-вах Новая Гвинея, Куба и во многих других районах, окаймляющих океаны, где распространены островные дуги. Изучение выдернутых и перемещенных вверх пластин океанической коры, а также результаты исследования офиолитов внутри континентов (Урал, Кавказ, Тянь-Шань, Памир и др.) убеждают, что и в данном случае (в условиях верхней мантии) глубинные срывы происходили на разных уровнях.

В последнее время получены доказательства срывов горных масс в зоне

раздела коры и мантии Земли, называемой разделом Мохоровичича. В сорванных и смещенных комплексах этой зоны глубокие породы верхней мантии отсутствуют. Таким образом, становится ясным, что раздел Мохоровичича важная зона структурной расслоенности литосферы, зона структурной дисгармонии между корой и мантией. По ней идет пространственное перераспределение большого количества материала литосферы. Очень характерный пример такого перераспределения — западный край Северной Америки, где континентальная кора перекрывает океаническую и скользит по ней, погребая под собой океанические толщи, в том числе очень молодые. Другими словами, в зоне раздела Мохоровичича континент скользит по своему основанию.

Если процессы подобного характера хорошо устанавливаются по периферии океанов, то во внутренних их областях, под большой толщей воды, распознать признаки передвижения масс значительно труднее. Однако, несомненно, что оно происходит и здесь. В довольно многих районах океанического дна драгами были подняты сильно измененные динамометаморфизмом<sup>4</sup> раздробленные породы океанической коры. При глубоководном бурении с корабля «Гломар Челленджер» в нескольких скважинах также были обнаружены пачки раздробленных пород, происхождение которых легко объяснить, если считать их результатом дробления при горизонтальном движении пластин. Скучиванием пластин можно объяснить и многие океанические структурные формы, толщина коры которых в 3—5 раз больше обычной. Более того, происхождение таких гигантских тектоно-магматических форм океанического дна, как срединные хребты, вряд ли можно объяснить без учета горизонтального тектонического скупивания мафических и ультрамафических горных масс.

Итак, мы хотим обратить внимание на то, что не только сама литосфера движется и дислоцируется дисгармонично по отношению к астеносфере, но и внутрилитосферные коровые и мантийные плиты и пластины движутся и сминаются дисгармонично, образуя, в конечном счете, очень сложную внутреннюю текто-

ническую структуру литосферы в целом. На протяжении фаз крупных тектонических движений, одновременно охватывающих всю литосферу (не только кору), а по площади очень большие области Земли, происходит дифференциальное перемещение плит и пластин. Это перемещение вызывает скупивание земной коры в одном месте и ее растяжение в другом. При этом в литосфере формируются новые крупные неоднородности, определяющие специфику ее строения, структурной эволюции и магматических процессов.

В последнее время появляются работы, в которых делается попытка доказать, что плиты, сложенные тяжелыми мантийными породами, перемещаются в несколько раз быстрее более легких сиалических коровых плит, хотя и те, и другие движутся в одном и том же направлении. Это неизбежно должно приводить к срыву и дисгармоничному смятию таких разнородных плит.

Изложенная концепция глобальной структурной расслоенности литосферы основана на признании большой роли разного типа физико-химических неоднородностей в литосфере, которые и определяют течение геологических процессов в ней и ее внутреннюю структуру. Большое значение должно быть придано изучению такой неоднородности, как раздел Мохоровичича, в пределах которого происходит значительное пространственное перераспределение материала в литосфере. Этим можно объяснить как дрейф континентов, так и многие явления магматической деятельности и металлогении, и в частности необычайное разнообразие магматических и металлогенических явлений на континентах, что невозможно сделать, если считать, что существуют единые огромные литосферные плиты.

Модель тектонической расслоенности разрабатывается в Геологическом институте АН СССР. Именно она, на наш взгляд, и представляет собой развитие классического мобилизма Вегенера в современной геологии.

## ОБРАЗОВАНИЕ ОКЕАНОВ

Как континентальная, так и океаническая кора подвержены разламыванию. При этом на поверхности могут возникать разнообразные структурные формы, чаще всего прямолинейные. В последние годы наибольший интерес среди таких форм вызывают рифты. Этим термином обоз-

<sup>4</sup> Динамометаморфизм — структурное и в меньшей степени минералогическое преобразование горных пород под воздействием тектонических сил в процессе образования складок.

начают узкие и протяженные впадины, образовавшиеся в результате растяжения земной коры и соответственно обладающие повышенной проницаемостью для магматических масс. Рифты распространены очень широко и на континентах, и в океанах. Они привлекают внимание потому, что расхождение стен таких впадин в стороны от оси может привести к возникновению глубоких трещин в континентальной коре вплоть до образования в экстремальных случаях океанических пространств.

Классической рифтовой структурой в СССР является озеро Байкал. На его дно в 1978 г. до глубины 1410 м погружался подводный аппарат «Пайсис» с тремя акванавтами на борту<sup>5</sup>. Экспедицией Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР были собраны новые данные, свидетельствующие о рифтовой природе озера. Чрезвычайно существенно, что толщина коры под Байкалом, по данным глубинного сейсмического зондирования, составляет 34—35 км, а под окружающими озеро хребтами — 41—46 км. Здесь зафиксирован и повышенный тепловой поток, идущий из недр. Заметим, что Байкальский рифт — это часть Байкальской рифтовой зоны, состоящей из серий рифтовых долин и простирающейся на 2500 км.

Более далеко процесс рифтообразования зашел в Красном море. В начале 1980 г. здесь также работала советская экспедиция, совершавшая подводные исследования на глубине около 2 км с помощью того же «Пайсиса» и необитаемых аппаратов<sup>6</sup>. В осевой зоне Красного моря, ширина которой несколько десятков километров, земная кора имеет океаническое строение, в то время как к западу и востоку от нее лежат континентальные массы Африки и Аравии. Подсчитано, что стены Красноморского рифта в течение последних 3 млн лет раздвигались со скоростью 1,6 см в год. На дне моря выходят горячие рассолы, порождающие металлоносные осадки. В поперечном разрезе дно моря представляет две системы ступеней, спускающихся к осевой зоне. С уступов dna экспедицией была собрана большая коллекция базальтовых пород, присущих океанам.

Рифт Красного моря — это часть сложной по строению и огромной по протяженности Восточно-Африканской рифтовой зоны. Нетрудно предвидеть, что при увеличении скорости раздвига и в течение более длительного времени узкая полоса океанической коры может превратиться в широкую и возникнет обширная океаническая область. Такой механизм чрезвычайно подходит для объяснения происхождения Атлантического океана.

Этот океан состоит из двух частей: северной и южной. Южная Атлантика образовалась в результате распада древнего материка Гондваны и раздвига таких крупных ее частей, как Африка и Южная Америка. Имеется много геологических и палеонтологических доказательств былого единства Африки и Южной Америки. Распад древнего материка начался 135 млн лет назад. На протяжении первых 35 млн лет он происходил сравнительно медленно. Но затем скорость образования океана возросла, и вскоре очертания Южной Атлантики стали близки современным. Северная Атлантика сформировалась несколько позднее, а ее арктическая часть значительно позднее — примерно 65 млн лет назад. Геологическая ситуация здесь была существенно иной. В пределах современного океана ранее находились расположенные вблизи друг от друга палеозойские складчатые сооружения, Аппалачи и Скандинавские горы, по происхождению и строению весьма похожие друг на друга. В свою очередь, эти сооружения возникли на месте более древней Атлантики — Праатлантики, существовавшей 450 млн лет назад и в еще более древнее время. Такая разница в истории сказалась на особенностях строения Южной и Северной Атлантики, в том числе на различном химическом составе базальтов, который, скорее всего, свидетельствует о крупных вещественных неоднородностях мантии.

Столь же убедительно, как в случае Африки и Южной Америки, доказан разрыв Австралии и Антарктиды, а также Африки и Мадагаскара. Поэтому можно считать, что ряд районов Индийского океана образовался так же, как Южная Атлантика — в результате раздвижения блоков древних материков. Хорошо обосновывается раздвиговая природа происхождения и западной, европейской части Северного Ледовитого океана. В то же время Восточная Арктика образовалась иным способом. Впадины Бофорта и цепочки впадин, вытянутых вдоль восточного края хребта Ломоносова, обладают

<sup>5</sup> Монин А. С., Мирлин Е. Г. Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов. — Природа, 1978, № 10, с. 58.

<sup>6</sup> Монин А. С., Ястребов В. С. Экспедиция в Красное море. — Природа, 1980, № 9, с. 25.

субокеаническим типом земной коры и возникли вследствие сложных процессов перемещения глубинных масс на фоне растяжения коры и ее прогибания на протяжении поздней юры — позднего мела. Такой вывод вытекает из тектонического анализа океанической области, шельфа и континентальных областей Арктики и Субарктики.

Разрыв сплошности земной коры, ее разрушение, нарушение сложившихся в ней соотношений слоев в сторону деградации коры мы называем тектонической деструкцией. Это очень широко распространенное явление на Земле, сопровождающее развитие континентов и океанов. В конце концов, смена одного структурного плана в той или иной области другим обусловлена проявлением тектонической деструкции коры. Вот почему исследование этого очень важного комплекса процессов привлекает сейчас внимание многих советских геологов, которыми уже открыто большое число древних деструктивных тектонических образований.

Однако, несмотря на то что и деструкция и аккреция — весьма масштабные геологические явления, причину их раскрыть до конца пока не удалось. Вероятно, эти процессы вызваны сложным взаимодействием как космических, так и внутривоздушных сил.

Пока что объяснить происхождение зон аккреции и деструкции проще всего, предположив, что кора и мантия имеют многослойную структуру и течение материала в каждом из слоев идет с разной скоростью — дифференциально. Понятно, что при дифференциальном перемещении плит любое изменение скорости перемещения одной из них вызовет изменение конструкции всех плит данного региона, одновременное образование зон скручивания и деструкции, а также зон разнообразного магматизма.

Обращает на себя внимание то, что все современные и древние зоны аккреции и деструкции на Земле в поперечном разрезе имеют асимметричное строение: асимметричны все зоны складчатости на континентах, асимметричны островные дуги «активных» окраин и зоны деструкции на «пассивных» окраинах континентов, асимметричны зоны континентальных и океанических рифтов и даже горные хребты океанов, что выражается, в частности, в разной крутизне и длине склонов океанических хребтов и рифтовых зон. Эти особенности строения земной коры еще не объяснены, но и они вряд ли могут

быть поняты, если не учитывать столкновения дифференциальнодвигающихся плит.

Ряд исследователей придает большое значение асимметрии Земли в целом — в одной половине земного шара, Индо-Атлантической, сосредоточены материки, а в другой, Тихоокеанской, — лишь окраины материков и величайшая океаническая область Земли. Впервые на такую асимметрию (диссимметрию) почти 60 лет назад обратил внимание В. И. Вернадский. Позднее идея асимметрии была развита Н. С. Шатским, Н. П. Херасковым, А. Л. Яншиным и другими исследователями.

Структурная асимметрия установлена теперь и на других планетах земной группы (Марс, Меркурий) и на Луне. Развивая идею дальше, один из авторов этой статьи<sup>7</sup> пришел к заключению, что поскольку планеты земной группы, а также спутник Земли Луна находятся на разных стадиях эволюции от самой ранней (Луна) до самой зрелой (Земля) и практически на каждой имеются признаки асимметрии, структурная асимметрия является первичным свойством планет и отражает первичную глобальную неоднородность их строения. Таким образом, черты первичной неоднородности не стертые на Земле за всю ее огромную геологическую историю, насчитывающую 4,55 млрд лет.

Очень важно, что в последнее время о первичной (аккреционной) неоднородности планет начали говорить геохимики<sup>8</sup>. Основанием для этого послужили данные об изотопных аномалиях в метеоритном веществе. По ним сделано заключение, что примитивная солнечная туманность обладала крупными неоднородностями химического и изотопного состава элементов и что эти неоднородности наследовались при конденсации планет. Возникновение же неоднородностей в солнечной туманности связывается с неполным перемешиванием продуктов сверхновых взрывов, происшедших за  $10^6$ — $10^8$  лет до конденсации.

Таким образом, тектонические, сравнительно-планетологические и геохимические данные отлично согласуются друг с другом. Нельзя сомневаться, что у этого направления исследований большие перспективы.

<sup>7</sup> Пуцаровский Ю. М., Козлов В. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. Тектоническая асимметрия Земли и других планет. — Природа, 1978, № 3, с. 32.

<sup>8</sup> Барсуков В. Л. Ранняя история планеты Земля. — Природа, 1981, № 6, с. 30.

Тихий океан свою древнюю геологическую историю «держит» в глубокой тайне. Более или менее ясна его структурная эволюция только за последние 100—150 млн. лет. Именно за это время сложились основные черты современного структурного плана океана, который сложен и разнообразен в разных областях. Здесь есть и гигантские разломные зоны, протягивающиеся на тысячи километров, по которым происходили большие сдвиговые смещения, и громадные линейные вулканотектонические хребты, и разбитые на блоки поднятия неправильных очертаний с утолщенной корой, и разные по размерам котловины, под которыми кора самая тонкая. Но наиболее крупный элемент из океанических структур — огромное Восточно-Тихоокеанское поднятие, тектонически наиболее подвижная и молодая зона океанической коры. Очень важно, что эти океанические структуры возникли не одновременно — одни раньше, другие позже. Следовательно, океаническая кора не есть что-то застывшее, а подвержена тектоническому преобразованию. На фоне старых структур формируются новые. Так, несомненно, было и в более раннее время существования Земли. Интересно, что этапы усиленной тектонической активности в Тихом и других океанах по времени часто совпадают с фазами тектонической активности в пределах материковых окраин.

Но если считать, что Тихий океан и его обрамление тектонически развиваются взаимосвязанно, то из этого будут следовать очень широкие выводы о тектонической эволюции Тихоокеанского сегмента Земли вообще. Тем самым открывается новое и очень важное направление работ: корреляция геологических событий в океанической области и на ее периферии.

Заканчивая статью, отметим, что в последнее время на страницах некоторых журналов появились высказывания, что в недалеком будущем проблемы тектогенеза на Земле, в том числе в океанах, будут решаться не геологами, а физиками, химиками и математиками. Геологи при решении глобальных проблем всегда использовали данные этих наук, но из всего предшествующего опыта видно, что именно геологам как это и было до сих пор, надлежит разрабатывать кардинальные проблемы строения, эволюции и геодинамики Земли и, конечно, происхождения ее главнейших структурных особенностей.

# ПРИРОДА

**Наибольшая морская глубина.** Наибольшая морская глубина 9780 метров найдена немецким судном «Планет», которому с 1905 года поручены исследования этого рода специально в Великом океане. Найденная впадина лежит в 40 морских милях к северу от Минданао, одного из крупных Филиппинских островов. Найденная до сих пор глубина достигала 9635 метров. Она была зарегистрирована в 1901 году американским пароходом «Неро» во впадине, расположенной к югу от острова Гуам, одного из Марианских.

Обе эти глубины относятся к области впадин, целый ряд которых был открыт тем же судном «Планет» (со времени начала его работ 1907 года).

★

ИЗ СТАТЬИ «УСПЕХИ ГЕОЛОГИИ»  
ПРОФ. А. В. НЕЧАЕВА

...Изучение глубин морей и открытых океанов приобретает систематический характер. Различные государства, не жалея средств, снаряжают специальные экспедиции. Исследуются как океаны, так и внутренние моря. Во главе всех этих исследований по всесторонности и плодотворности результатов должны быть поставлены четырехлетние (1872—1876 гг.) изыскания экспедиции английского судна «Челленджер». Этими исследованиями к нашему времени накопился богатейший материал, характеризующий как образование осадков в различных частях морских бассейнов, так и распределение в них органической жизни. Полученные данные проливают новый свет на водоосадочные отложения прошлых геологических эпох и дают геологии возможность изучить их глубже и детальнее. Анализ геолога вызывает к жизни окаменелое дно давно исчезнувших морей, оно как бы покрывается водами, расчленяется, различные его части получают характеристику в соответствующей комбинации физико-географических особенностей, наполняются фауной. Пред нашим умственным взором восстанавливается и связь между отдельными бассейнами, мы видим обмен между их фаунами, следим за совершающимися в них эмиграциями и иммиграциями. Такого рода исследования дают начало новой отрасли геологии — палеогеографии.

1912

## Управляемый термоядерный синтез — 1981

(Интервью с участниками X Европейской конференции по физике плазмы и управляемому синтезу)

Исследования по управляемому термоядерному синтезу (УТС) начались примерно 30 лет назад одновременно в СССР, США и Великобритании. «Природа» систематически освещает ход этих исследований, публикуя статьи ведущих советских специалистов в этой области.

14—19 сентября 1981 г. в Москве проходила X Европейская конференция по физике плазмы и управляемому синтезу. В ней приняли участие более 500 советских и 200 иностранных ученых. Воспользовавшись этим событием, редакция «Природы» обратилась к ряду иностранных ее участников с вопросами, почему, несмотря на длительный характер исследований по УТС и большие трудности на пути осуществления управляемого синтеза, интерес к этим работам год от года возрастает? Какой прогресс достигнут за последнее десятилетие? Каковы задачи следующего десятилетия и когда можно ожидать завершения исследований?

Стремясь получить максимально широкий спектр ответов, редакция обратилась к представителям всех континентов, где ведутся исследования по УТС, и всех научных школ и подходов.

В интервью приняли участие Гюнтер Григер (ФРГ), директор отделения Института физики плазмы в Гархинге; Роберт Борчерс (США), заместитель начальника отдела термоядерных исследований по планированию и технологии Ливерморской лаборатории им. Лоуренса; Владимир Копецкий (ЧССР), заместитель директора Института физики плазмы Чехословацкой академии наук; Чийоэ Яманака (Япония), директор Института лазерной техники университета в Осаке; Джеральд Йонас (США), руководитель программы импульсного термоядерного синтеза Национальной лаборатории «Сандия»; Себастьян Лиз (Англия), руководитель термоядерной программы Великобритании (Калемская лаборатория); Бо Ленард (Швеция), профессор Королевского технологического института; Серджио Сегре (Италия), начальник плазменного отдела лаборатории Фраскати.

По окончании конференции председатель Оргкомитета вице-президент Академии наук СССР академик Е. П. Велихов и член Оргкомитета директор Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР академик Н. Г. Басов любезно согласились прокомментировать для «Природы» основные результаты конференции и охарактеризовать развитие исследований по УТС в нашей стране.

---

**Корреспондент.**

Почему, несмотря на большие трудности, которые встретились на пути к осуществлению управляемого термоядерного синтеза, интерес к этой проблеме год от года возрастает?

**Ч. Яманака.**

Для человечества очень важно овладеть новыми энергетическими ресурсами. Ведь ископаемого топлива хватит еще на 20—30 лет, а потом нужно

**Ч. Яманака.**

будет использовать новые источники энергии. К этому нужно готовиться уже сейчас. Это серьезная международная проблема. Народам Африки, Латинской Америки требуется гораздо больше топлива, чем они расходуют сейчас. То же относится к Японии и даже к СССР.

**Б. Ленард.**

Долгосрочных источников энергии немного. Это реакторы на быстрых нейтронах (бридеры), солнечная энергия и, конечно, управляемый термоядерный синтез.

**С. Пииз.**

Что касается солнечной энергетики, то у нас в Англии, как и во многих районах СССР, солнечных дней, особенно зимой, очень немного. Так что такой подход к решению энергетической проблемы не кажется для нас особенно привлека-

тельным. Угля, нефти и газа, несмотря на наличие отдельных крупных месторождений, в Западной Европе немного. Поэтому мы ожидаем роста цен на ископаемое топливо и, в конечном итоге, его нехватку. Сейчас в Англии и других странах Западной Европы проводится программа развития атомной энергетики, базирующаяся на реакторах деления. Они, по-видимому, и будут основными источниками энергии в ближайшие десятилетия. Цель наших исследований по УТС — убедиться, сможем ли мы в XXI в. обеспечить человечество еще одним источником энергии. Программа термоядерных исследований Великобритании является частью общей программы, осуществляемой странами ЕЭС совместно со Швецией и Швейцарией. Основой этой программы является сооружение установки «JET» (Joint European Torus) — токамака, в котором предполагается достичь условий, требуемых для термоядерного реактора и работать с дейтерием и тритием.

**Корреспондент.**

Какие же преимущества имеет УТС как источник энергии?

**Б. Ленард.**

Термоядерный реактор — это компактный источник энергии. Для него также характерна высокая степень безопасности при авариях, разгонах и аварийных выключениях, минимальны проблемы, связанные с радиоактивными отходами, столь острые для реакторов деления. Ведь при термоядерном синтезе радиоактивность, в основном, создается в результате взаимодействия нейтронов с окружающими плазму стенками. А их материал может быть выбран с известной свободой.

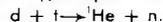
**С. Пииз.**

Несмотря на то что реакторы деления уже много лет работают и у нас, в Англии, и в других странах, зарекомендовав себя как весьма безопасные устройства, я думаю, что потенциальная экологическая опасность при использовании синтеза гораздо меньше. Кроме

**КОММЕНТАРИИ РЕДАКЦИИ.**

Ядерная энергия может выделяться в процессах двух типов: при делении тяжелых ядер и при слиянии (синтезе) легких ядер. При делении образуются электрически заряженные осколки и нейтроны, которые могут вызвать новые акты деления — цепную реакцию. Основная энергия деления уносится осколками и превращается в тепло. В современных атомных электростанциях используется деление урана замедленными нейтронами. Естественный уран состоит из двух изотопов:  $^{238}\text{U}$  (99,3%) и  $^{235}\text{U}$  (0,7%). В атомных реакторах на медленных нейтронах может делиться только  $^{235}\text{U}$ , поэтому при подготовке ядерного топлива природный уран обогащают изотопом  $^{235}\text{U}$ . Уран, обедненный изотопом  $^{235}\text{U}$ , называют отвальным и не используют. В качестве делящегося материала можно также использовать изотоп  $^{239}\text{Pu}$ , получаемый путем облучения  $^{238}\text{U}$  нейтронами. Ядерное горючее можно производить в реакторах на быстрых нейтронах (бридерах) или другими способами, например облучая  $^2\text{H}$  протонами, ускоренными до энергии в несколько ГэВ в специальном ускорителе, и генерируя таким образом нейтроны, которые захватываются ураном  $^{238}\text{U}$  с образованием плутония. Такой метод производства ядерного топлива называют электроядерным. В реакциях синтеза также образуются нейтроны. Чтобы их использовать для получения делящихся изотопов, плазму надо окружить урановой оболочкой (бланкетом). Такие реакторы синтеза называют гибридными (или гибридерами).

Известно много реакций синтеза с выделением энергии. Наиболее простые условия требуются для осуществления реакции синтеза ядер тяжелых изотопов водорода — дейтерия и трития:



В такой реакции образуется быстрый нейтрон, ядро гелия ( $\alpha$ -частица) и при этом выделяется энергия 17,6 МэВ. Так как тритий в природе отсутствует, его получают с помощью ядерных реакций, облучая нейтронами литий.



## КОММЕНТАРИИ РЕДАКЦИИ

Для осуществления реакции синтеза необходимо сблизить ядра на расстояние порядка  $10^{-11}$  см; тогда вступают в действие ядерные силы притяжения и с заметной вероятностью происходит слияние ядер. Электрическое отталкивание между одноименно заряженными ядрами мешает их сближению, и, чтобы его преодолеть, ядрам нужно сообщить энергию в несколько десятков кэВ. Например, ускорить ядра дейтерия в ускорителе и направить их на тритиевую мишень. В этом случае реакции синтеза будут иметь место, но выделение энергии будет много меньше, чем потребуется ее затратить на ускорение ядер дейтерия. Большинство частиц при движении внутри мишени «остынет» раньше, чем успеет вступить в реакцию. Чтобы предотвратить «остывание» быстрых ядер при движении по мишени, необходимо нагреть мишень до температуры в несколько киловольт. При этом мишень превратится в плазму. Оказывается, что достаточно нагреть до высокой температуры только электроны мишени. Такое устройство будет работать как усилитель мощности падающего пучка. При выключении ускорителя реакции прекратятся. Существует, однако, условия, при которых внешний ускоритель нужен лишь для инициирования реакций. Плазма, состоящая из ядер дейтерия, трития и электронов может нагреваться самими продуктами реакции синтеза — быстрыми  $\alpha$ -частицами. Такой режим называется **зажиганием**. Он осуществляется, если выделение энергии превышает потери. Для этого необходимо нагреть плазму до температуры порядка 100 млн град. и обеспечить хорошую термоизоляцию при достаточно высокой плотности плазмы ( $n$ ), так чтобы **параметр удержания**  $\tau$  (где  $\tau$  — время охлаждения плазмы) превышал  $3 \cdot 10^{11}$  с/см<sup>3</sup>.

Достичь нужных значений параметра удержания можно двумя способами: или увеличивая время  $\tau$  — это можно сделать за счет термоизоляции плазмы магнитным полем (**магнитное удержание**) — или увеличивая плотность плазмы  $n$  до таких значений, когда реакции синтеза успеют произойти раньше, чем плазменное облачко разлетится (**инерционное удержание**). При этом, очевидно, нагрев вещества, называемого **мишенью**, должен быть осуществлен за время, меньшее времени разлета, что требует источников энергии — **драйверов** — большой мощности. При таком импульсном нагреве произойдет термоядерный микровзрыв.

**Магнитное удержание.** Однородное магнитное поле препятствует движению заряженных частиц поперек силовых линий. Для



С. Пиаз.

того, возвращаясь к первому вопросу, мне хотелось бы подчеркнуть, что важность поисковых источников энергии трудно переоценить. Западная Европа тратит в настоящее время порядка 100 млрд долл. в год на энергетику, поэтому очень важно знать, на какие новые методы получения энергии мы можем рассчитывать в будущем, каковы их преимущества и недостатки. Сейчас необходимо всесторонне исследовать все возможности долгосрочного получения энергии.

Дж. Йонас.

Исследования по УТС — мощный катализатор научного и технического прогресса. В синтезе все новое — и наука, и технология. И все это очень быстро развивается, причем в самых разных направлениях. Сейчас мы находимся еще на той стадии, когда исследуются самые разные подходы к решению проблемы управляемого синтеза, для того чтобы в нужный момент можно было бы предложить человечеству действительно конкурентоспособный реактор. В конечном счете все будет определяться экономическими нуждами и экономическими возможностями. В нашей лаборатории исследуется инерционное сжатие мишеней с помощью пучков легких ионов. Цель на-

ших исследований — сконструировать небольшой (и не очень дорогой) демонстрационный реактор.

Ч. Яманака.

Мне представляется, что в вечном стремлении к лучшему человечество не остановится на реакторах деления, хотя сейчас это, безусловно, важный и очень богатый источник энергии. Это временное, промежуточное решение. Ведь продукты деления урана создают длительную опасность. Этого нельзя не учитывать. Поэтому в конечном итоге будет синтез.

Корреспондент.

Когда же синтез станет реальностью?

Ч. Яманака.

Это очень сложный вопрос. Для решения проблемы нужны концентрированные усилия ученых. В данном случае традиционное последовательное развитие чрезвычайно удлинит срок достижения конечной цели. Я думаю, что в течение 80-х годов будет продемонстрирована научная осуществимость управляемого синтеза, но, конечно, для создания экономически конкурентоспособного реактора потребуются гораздо более длительное время.

Б. Ленард.

Если бы время осуществления эффективного термоядерного реактора можно было



Б. Ленард.



Лазерная установка «ГЕККО» (Университет в г. Осака, Япония). Снимок любезно предоставлен Ч. Яманакой.

точно предсказать, это означало бы, что не осталось проблем для исследований. Правда, исследования по УТС могли бы быть расширены и ускорены, если бы в них вкладывались более значительные средства.

### С. Сегре.

У меня нет сомнений, что когда-то термоядерный синтез будет использоваться как источник энергии. Вопрос только — когда? Это зависит от скорости научно-технического прогресса и экономики. Однако, если возникнет настоятельная необходимость в новом источнике энергии, то разработки будут значительно ускорены.

### С. Пинз.

Несмотря на то что полученные результаты достаточно многообещающи, я должен констатировать, что продвижение идет довольно медленно. Следует заметить, однако, что известный советский физик академик Л. А. Арцимович еще в 1971 г. говорил, что человечество осуществит УТС, когда действительно будет в нем нуждаться. Путь технического развития, по которому мы идем, сроки научной демонстрации УТС — все это, в конечном счете, будет зависеть от нужд человечества.

### Корреспондент.

8 лет назад здесь, в Москве, проходила VI Европейская конференция по физике плазмы и УТС. Что же произошло за эти 8 лет? Каковы наиболее важные и интересные результаты исследований по УТС?

### КОММЕНТАРИЙ РЕДАКЦИИ

устранения потерь плазмы вдоль силовых линий можно использовать области с более сильным магнитным полем — **магнитные пробки** — или свернуть плазменный шнур в тор.

**Ловушки с магнитными пробками** могут удерживать частицы, движущиеся лишь под достаточно большим углом к силовым линиям поля.

Так как при столкновениях друг с другом частицы меняют направление движения, они достаточно быстро покидают ловушку. Удержание можно улучшить, используя электрические поля, возникающие в плазме вследствие неравенства скоростей ухода ионов и электронов. Электрическое поле, тормозя частицы одного сорта и ускоряя другие, выравнивает эти скорости, делает уход частиц «амбипольным», т. е. одинаковым для частиц с разным зарядом. Принцип удержания плазмы с помощью **амбипольных ловушек** был предложен в прошедшем десятилетии и сейчас интенсивно исследуется.

При замыкании плазменного шнура в тор магнитное поле становится неоднородным и плазма начинает смещаться поперек поля. Поэтому чисто **тороидальное поле** недостаточно для удержания плазмы и к нему нужно добавить **полоидальное** магнитное поле — с вектором напряженности, лежащим в плоскости, перпендикулярной тороидальному полю. Такое поле проще всего создать, пропуская электрический ток по плазменному шнуру. При этом, если поле тока много меньше тороидального поля, получится **токамак**. В обратном случае — **тороидальный пинч** (т. е. система типа «Зета»). Тороидальные пинчи технически просты, но при слабом тороидальном поле ток в плазме неустойчив, «завивается» в шнур и соприкасается со стенками камеры. В последнее время появились надежды на улучшение удержания плазмы в таких системах. В установках токамак неустойчивости плазменного шнура как целого устраивают.



## КОММЕНТАРИИ РЕДАКЦИИ

Поле, аналогичное полю тока, текущего по шнуру, можно создать и другими способами, например, с помощью внешних винтовых обмоток с током. Системы такого типа называют **стеллараторами**. Так как ток во внешних обмотках можно поддерживать сколь угодно долго, удержание плазмы в таких системах может быть стационарным. В токамаках же ток поддерживается индукционными методами и длительность удержания плазмы принципиально ограничена.

Ток, протекающий по плазме, не только удерживает ее своим полем, но и нагревает. Однако с ростом температуры сопротивление плазмы падает и мощность нагрева при заданном токе уменьшается. Для нагрева плазмы в токамаках (и других системах) до высоких температур используют дополнительные методы нагрева: инжекцию быстрых атомов, ускоренных в специальных ускорителях (**нейтральную инжекцию**), поглощение в плазме высокочастотных электромагнитных волн, быстрое (адиабатическое) сжатие плазмы нарастающим магнитным полем. Использование дополнительных методов нагрева позволило достичь температур в 80 млн град. на установке «PF-6» (Принстон, США).

Взаимодействие плазмы со стенкой приводит к тому, что из стенки в плазму поступают примеси. Атомы примеси сильно излучают свет и тем самым охлаждаются плазму. Для борьбы с примесями применяют различные ухищрения. Например, с помощью специального устройства (**дивертора**) удаляют пристеночный слой плазмы в вакуумную камеру, изолированную от основного объема плазмы.

Движение плазмы как целого можно описать на основе магнитогидродинамической (МГД) теории, рассматривающей плазму как проводящую жидкость с током, движущуюся под действием магнитного поля. Для равновесия плазмы как целого необходимо, чтобы ее давление было сбалансировано давлением магнитного поля. Отношение давления плазмы к давлению магнитного поля принято обозначать буквой  $\beta$ . Очевидно, что для плазмы, находящейся в равновесии, величина  $\beta$  не может быть больше 1. При этом чем больше  $\beta$ , тем проще и дешевле магнитная система удержания. Для ловушек с магнитными пробками  $\beta$  может быть порядка 1, для токамаков — несколько сотых.

Микроскопические процессы внутри плазмы — теплопроводность, диффузия — определяются столкновениями между частицами и **микронеустойчивостями** (мелкомасштабной турбулентностью).



В. Копецкий.

## В. Копецкий.

За последние 10 лет мы многое узнали о поведении плазмы. Были уточнены законы подобия, мы научились нагревать плазму до высоких температур, подавлять неустойчивости и т. д. Все это позволило серьезно думать о демонстрационном термоядерном реакторе и приступить к разработке его проекта.

## Г. Григер.

Действительно, за последние годы мы достигли значительного улучшения параметров



Г. Григер.

плазмы. В экспериментах широко стали использоваться средства дополнительного нагрева большой мощности. Мы все ближе подходим к пониманию и предсказанию свойств горячей термоядерной плазмы. Кроме того, и, я думаю, это очень важно, не прекратились, а даже скорей расширились исследования альтернативных подходов к УТС, дающих возможности существенно улучшить реактор. Физика, лежащая в основе некоторых из этих подходов, была изучена именно в прошедшее десятилетие. В этом аспекте я хотел бы в первую очередь отметить стеллараторы, на которых получены весьма многообещающие результаты. Не исключено, что именно они окажутся более простыми системами для использования в качестве реактора, чем токамаки.

## Корреспондент.

Даже несмотря на то, что в настоящее время они выглядят значительно сложнее токамаков?

## Г. Григер.

Я могу разъяснить это положение. Если говорить очень коротко, то, во-первых, магнитную систему стелларатора можно сделать гораздо проще, чем это делается сейчас — из однотипных несколько изогнутых в пространстве катушек. И во-вторых, стелларатор, в отличие от токамака, стационарная система.

## Ч. Яманака.

Если говорить об инерционном удержании, то тут прежде всего нужен источник энергии очень большой мощности — драйвер, а также совершенные мишени и точная диагностика. Десять лет назад лазеры были маломощными, исследования по релятивистским электронным пучкам только начинались, мощных ионных пучков не было совсем. Сегодня сверхмощные лазеры имеют около 10 кДж энергии в импульсе; ионные пучки дают возможность вкладывать в мишень 100 кДж, так что в области драйверов произошли существенные сдвиги.



С. Серге.

## С. Серге.

Улучшение термоизоляции плазмы с увеличением плотности — вот, по моему мнению, наиболее важное открытие последнего десятилетия. В результате мы можем уже сегодня получать требуемые для реактора значения параметра удержания  $nT$  — произведения плотности на время удержания энергии. Сначала это было сделано на токамаках с сильным магнитным полем, таких как «АЛКАТОР» (Массачусетский технологический институт, США) и «FT» (Фраскати, Италия); а затем и на установках с более слабыми полями.



Р. Борчерс.

## Р. Борчерс.

В прошедшее десятилетие вновь вернулся интерес к открытым магнитным ловушкам. И самое существенное достижение в этой области — открытие принципа эмбиоплярного удержания плазмы и его блестящее экспериментальное подтверждение. Такие результаты позволили нам приступить к сооружению очень крупной установки «MFTF», предназначенной для достижения реакторных параметров плазмы.

## Дж. Яонас.

Основное достижение последних лет, это, несомненно, получение высоких температур плазмы в токамаках.

## С. Пииз.

Чтобы наиболее полно охарактеризовать самое интересное, что произошло в области управляемых термоядерных реакций за последнее десятилетие, нужно остановиться на трех основных пунктах. Первое: мы научились получать более горячую плазму — температура возросла с 20 до 80 млн град. в лучших установках. И этого удалось добиться без ухудшения термоизоляции. По сравнению с 1973 г. значения параметра удержания  $nT$  возросли в 3 раза. Второе: в 1973 г. мы имели лишь одну систему магнитного удержания в качестве кандидата на термоядерный реактор — токамак. Сегодня у нас есть еще несколько работоспособных систем магнитного удержания, которые также могут претендовать на то, чтобы их рассматривали как основу будущего реактора. Третье: с 1973 г. мы гораздо больше стали думать о конкретных проблемах, связанных с осуществимостью реактора. На конференции мы прослушали ряд докладов относительно успешной работы устройств, предназначенных для уменьшения количества примесей в плазме и откочки отработанного топлива. В 1973 г. на этот счет были лишь туманные теоретические идеи. В частности, очень серьезная проблема — откочка гелия из реактора. Конференция показала, что в этом направлении произошли существенные сдвиги.

## КОММЕНТАРИИ РЕДАКЦИИ

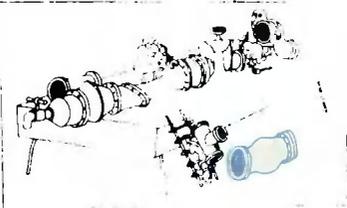
Диффузия и электронная теплопроводность в токамаках и других тороидальных системах существенно выше, чем предсказывает классическая теория, учитывающая только парные столкновения. Причем с увеличением плотности плазмы радиальный перенос вопреки теории не растет, а падает. Этот важный факт был установлен на токамаке «АЛКАТОР» в Массачусетском технологическом институте (США), где для получения плазмы с высокой плотностью были использованы значительно более сильные, чем обычно применяемые, тороидальные поля (60—80 кГс). Максимальное значение параметра  $n_i = 4 \cdot 10^{11}$  в настоящее время достигнуто на другом токамаке с сильным магнитным полем — «FT» (Фраскати, Италия).

В будущих термоядерных реакторах-токамаках магнитное поле будет создаваться с помощью сверхпроводящих обмоток. Первый такой токамак «T-7» успешно работает в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова.

В настоящее время в СССР, США, Англии и Японии сооружаются крупные токамаки, в которых планируется получить плазму с параметрами, необходимыми для термоядерного реактора.

Первый экспериментальный термоядерный реактор — «ИНТОР» — разрабатывается в настоящее время международной группой, созданной Международным агентством по атомной энергии по инициативе Советского Союза.

**Инерционное удержание.** При микровзрыве плазменное облачко удерживается от разлета только силами инерции. Поэтому термоядерные системы, использующие микровзрывы, иногда называют системами с инерционным удержанием (т. е. фактически без всякого удержания). В настоящее время для осуществления микровзрывов разрабатываются различные способы подведения энергии к мишеням. Для этой цели используются разнообразные драйверы — лазеры, электронные и ионные пучки (причем рассматриваются разные возможности: от самых легких ионов — протонов — до самых тяжелых — ионов урана). Кроме того, существуют также электродинамические методы передачи энергии на мишень.



## КОММЕНТАРИЙ РЕДАКЦИИ

Чтобы микровзрыв был действительно микровзрывом, очень важно не только нагреть мишень, но и сжать ее, так как мощность термоядерных реакций возрастает пропорционально квадрату плотности вещества, т. е. обратно пропорционально шестой степени радиуса мишени, а время разлета уменьшается линейно с радиусом. Следовательно, при сжатии можно получить тот же термоядерный выход, нагревая меньшим количеством энергии меньшую мишень. Сжатие мишеней происходит за счет реактивной силы, возникающей при испарении внешних ее слоев. Мишени для осуществления микровзрывов могут иметь весьма сложную оболочечную конструкцию, что позволяет наилучшим образом использовать подводимую энергию для сжатия мишени, предотвращать преждевременный нагрев мишени, препятствующий сжатию, осуществлять пространственную и временную кумуляцию энергии. В экспериментах уже получены сжатия в сотни раз. Сейчас созданы мощные лазеры с энергией порядка 10 кДж в импульсе длительностью в несколько наносекунд.

Методы осуществления микровзрывов находятся на разных стадиях исследований, и в каждом из них есть свои проблемы. Лазеры позволяют легко фокусировать свет в малые объемы и подводить к мишеням большие мощности, но имеют недостаточно высокий КПД. КПД преобразования электрической энергии в энергию электронных и ионных пучков близок к единице, но здесь существуют трудности, связанные с их транспортировкой и фокусировкой, а для электронных пучков — еще и проблема торможения частиц в малых мишенях.

В настоящее время в СССР готовится эксперимент по сжатию мишени электронным пучком с энергией около МДж в импульсе длительностью порядка 100 нс — установка «Ангара-5».

Возможность применения пучков тяжелых ионов находится пока в стадии обсуждения.

Ближайшее будущее покажет, какой тип драйвера наиболее приемлем для создания термоядерного реактора на его основе. Однако уже сегодня очевидно, что мощность, необходимая для такой системы, должна быть порядка  $10^{11}$  Вт, а энергия — от нескольких сот кДж для лазеров до десятка МДж для пучков.

ги, более того, оказалось, что осуществить это можно достаточно простыми способами.

Таким образом, плазма стала горячее, термоизоляция лучше и люди стали больше думать о том, как же реально сделать реактор. Но я бы хотел сказать еще об одном: за последние годы значительно улучшилось международное сотрудничество в области УТС. Особенно в Европе, где мы имеем сегодня большие совместные проекты, такие, например, как «JET». Я думаю, что такое объединение усилий сыграет исключительно положительную роль в будущем управляемого синтеза.

**Корреспондент.**

Тогда обратимся от прошлого к будущему: какие основные проблемы предстоит решить в ближайшее время; что может существенно повлиять на прогресс в области управляемого синтеза?



Дж. Йонас.

**Дж. Йонас.**

Основная задача заставить плазму «гореть» — получить самоподдерживающуюся реакцию. Любым способом. Если этого не сделать в ближайшие десять лет, то общество разуверится в УТС.

**С. Пииз.**

Конечно, это задача № 1. Для этого нужны большие установки и огромная работа, но до тех пор пока мы не сможем продемонстрировать контроль и удержание плазмы, которая действительно выделяет больше энергии, чем затрачивается на ее нагрев, нельзя серьезно говорить о термоядерном реакторе.

**Корреспондент.**

Вы имеете в виду именно самоподдерживающуюся термоядерную реакцию, или достаточно получить выделение энергии, превышающее ее затраты?

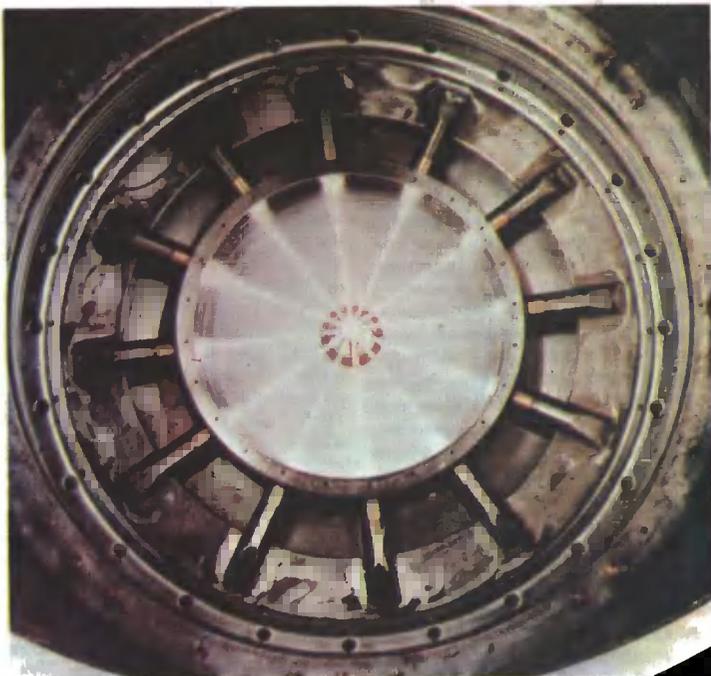
**С. Пииз.**

Нет, я говорю именно о зажигании. Важно показать, что плазма может сама себя поддерживать, т. е. сохранять свою температуру за счет термоядерных реакций. Я согласен, что имеются предложения и о создании таких устройств, в которых не может быть зажигания в принципе (их называют усилителями, или умножителями, энергии). И, конечно, добиться просто усиления энергии тоже было бы значительным шагом, но я совершенно уверен, что, если мы хотим создать практически приемлемый термоядерный реактор, мы должны получить самоподдерживающееся горение плазмы. Сможем ли мы достичь требуемых температур и параметров удержания, и если да, то удастся ли контролировать горящую плазму? Это самый важный вопрос, на который следует получить ответ в следующем десятилетии. Надеюсь, что это будет сделано.

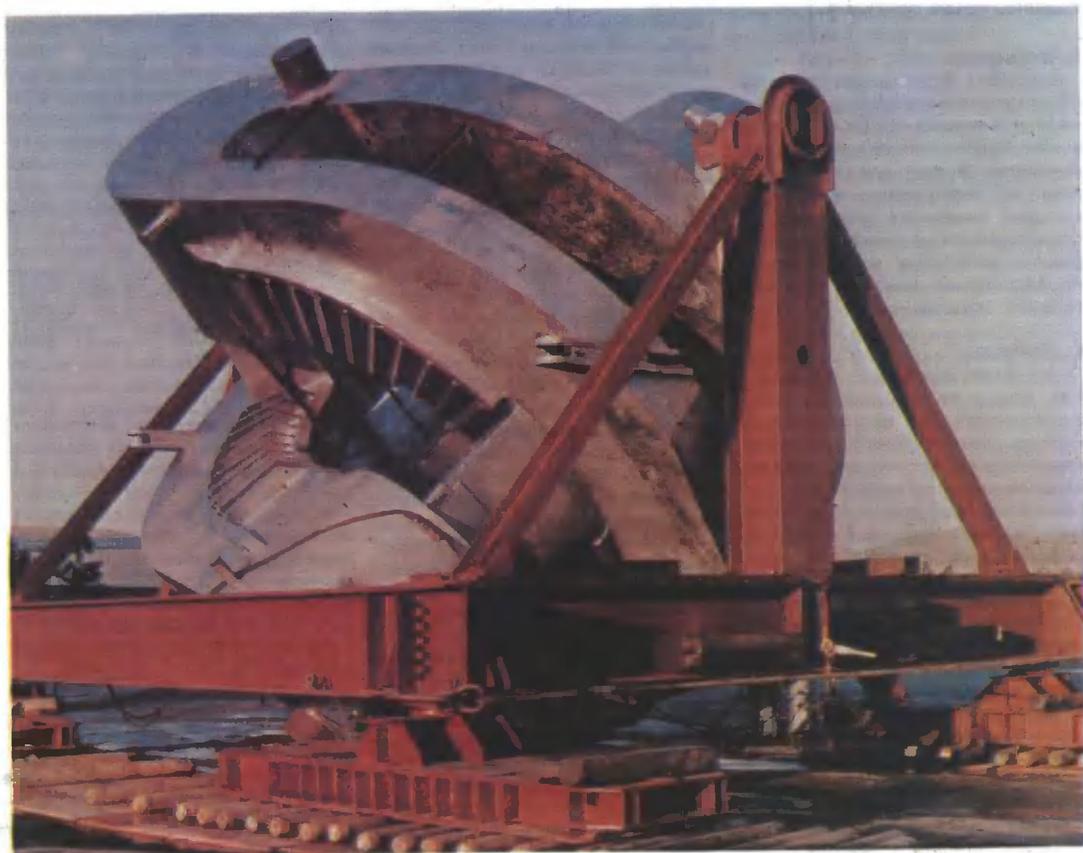
**Д. Сегре.**

Для токамаков с сильным магнитным полем это означает нагреть плазму до температур порядка 100 млн град., сохраняя при этом условия хорошего удержания плазмы (такие же, как в настоящее время существуют при температурах 10 млн град.). Это позволит нам изучить физические явления, происходящие в горячей плазме, и в частности поведение заряженных продуктов термоядерных реакций.

Фокусировка двенадцати электронных пучков на термоядерную мишень [Лаборатория «Сandia», США] Снимок любезно предоставлен Дж. Йонасом.



Даже при создании самой современной техники трудно обойтись без технологии, разработанной еще при строительстве пирамид. Сверхпроводящий магнит диаметром 6 м и весом 300 т перевозится по территории Ливерморской лаборатории. Магнит предназначен для амбиполярной ловушки «MFTF». Испытания магнита [ $B \approx 8T$ ] начались осенью 1981 г. Снимок печатается по любезному разрешению Р. Борчерса.



#### С. Пизз.

Я хотел бы еще добавить, что получение больших значений  $\beta$  и конструирование реакторов оказалось задачей очень непростой. Исследования по проекту «ИНТОР» показали, насколько важно снизить магнитное поле у поверхности катушек с тем, чтобы уменьшить силы, действующие на них, при неизменном давлении удерживаемой плазмы. Вот почему я всегда выступал за исследование систем со слабыми магнитными полями у катушек. Если можно так сказать, систем с высоким техническим  $\beta$ .

#### Р. Борчерс.

Плазма с большими значениями  $\beta$  относительно легко получается в ловушках с магнитными пробками, которыми мы занимаемся в Ливерморе. Для нас задача следующего десятилетия — это подготовка физических основ и технологии для создания экономически выгодного реактора на основе амбиполярной ловушки.

#### В. Копецкий.

Хотя еще нельзя сказать, что в физике управляемого синтеза нам окончательно все ясно, в последующие годы больше внимания будет уделяться вопросам технологии. В конце концов именно техническая осуществимость идей физиков решит вопрос о возможности использования синтеза как источника энергии.

#### Б. Ленард.

Поскольку цель наша — это создание технически осуществимого и экономически конкурентоспособного термоядерного реактора, то и важнейшие задачи ближайшего десятилетия надо рассматривать с этих позиций. И здесь я хотел бы выделить три группы проблем, наиболее критических:

разработка схем магнитного удержания, которые дадут возможность устойчиво удерживать плазму с высокими средними значениями  $\beta$ , желательного порядка 20% и более;

исследования взаимодействия плазмы со стенками и контроль за примесями;

поиск материалов и разработка методов, позволяющих

использовать большие потоки энергии на единицу поверхности, желательно около 10 МВт/м<sup>2</sup>.

#### Ч. Яманака.

Задача исследований по инерционному удержанию плазмы — сжать плазму до необходимых плотностей и быстро нагреть ее. До недавнего времени этот метод основывался на применении лазеров на стекле. За последнее десятилетие такие лазеры были существенно усовершенствованы. В лучших из них значение энергии в импульсе было доведено до 1—10 кДж. Это очень большая энергия, а сейчас сооружаются еще более мощные системы. Однако лазеры на стекле хороши лишь как инструменты для научных исследований. Они не годятся для инженерных приложений. Поэтому следующим шагом в этой области должно быть привлечение газовых лазеров или пучков легких ионов. Но они пока еще находятся, если так можно сказать, в «детском возрасте». Им еще далеко до лазеров на стекле, но именно здесь и можно ожидать бурного прогресса. Поскольку эффективность лазеров достаточно низкая, то нужно добиваться значительного усиления энергии в мишенях. Это как два колеса в велосипеде: нужны мощные лазеры и хорошие мишени. К сожалению, мишени сейчас гораздо хуже лазеров, технология их не развита. В общем вся система на данном этапе не сбалансирована.

Поэтому следующим шагом, я считаю, должна быть разработка хороших мишеней с большим усилением. И, конечно, изучение физики взаимодействия. Инерционный синтез зиждется на трех китах: драйвер, мишень, физика. К концу десятилетия мы надеемся осуществить положительное выделение энергии и, возможно, приблизиться к зажиганию.

#### Г. Григер.

В области магнитного удержания плазмы нам предстоит решить в ближайшее время несколько задач. В первую очередь, ввести в действие четыре больших токамака: установку «JET» в Англии, «T-15» в СССР,

«JT-60» в Японии и «TFTR» в США. Все они предназначены для получения плазмы с реакторными параметрами. Во-вторых, интенсифицировать технологические разработки так, чтобы к моменту, когда будут достаточно исследованы физические процессы, имеющие место при термоядерных реакциях, мы были готовы к практическому использованию энергии синтеза. Это мы должны делать немедленно, и именно эта задача будет решаться при разработке и сооружении «ИНТОР» — установки, в которой принимают участие практически все страны, где ведутся исследования по УТС. Она должна стать испытательным стендом для исследования технологических проблем, возникающих при термоядерном синтезе. Здесь мы имеем единственный шанс собрать вместе все элементы термоядерной технологии — системы нагрева и очистки плазмы, производства трития, преобразования энергии нейтронов в тепло и т. д. Термоядерный реактор будет в высокой степени модульной конструкцией, и хотя для исследования взаимодействия каждого модуля с термоядерной плазмой будет нужна лишь небольшая часть установки, для получения самой термоядерной плазмы нужна вся установка в целом.

#### Корреспондент.

Не можете ли Вы добавить несколько слов о современном состоянии проекта «ИНТОР»?

#### Г. Григер.

Мы только что закончили концептуальный проект установки. Он создан общими усилиями представителей всех стран-участниц. Сейчас мы собираемся перейти ко второй фазе проекта — изучению наиболее критических элементов конструкции с тем, чтобы улучшить уже существующий проект. Дело в том, что уже в том виде, в каком он есть, наш проект осуществим, но он еще не является оптимальным.

#### Корреспондент.

Каковы же, по Вашему мнению, наиболее критические точки?

**Г. Григер.**

В первую очередь конфигурация магнитного поля в камере токамака и проблема ее реализации наиболее рациональным образом. Мы хотим сделать установку более компактной и тем самым удешевить ее. В настоящее время она все еще достаточно велика и дорога, так как при конструировании мы исходили в первую очередь из необходимости обеспечить возможность дистанционной разборки и ремонта активированной нейтронами конструкции.

Вторая столь же критическая проблема — это дивертор — устройство для удаления примесей и откочки сгоревшего топлива. На решении этих задач мы и будем концентрироваться.

**Корреспондент.**

Таким образом, это в основном технические проблемы?

**Г. Григер.**

Не только. Что касается дивертора, то здесь нужно преодолеть главным образом чисто научные трудности — исследовать процесс образования пограничного (диверторного) слоя, физику взаимодействия плазмы со стенкой, течение плазмы в дивертор и образование обратного потока газа, рост давления в диверторной камере и т. д. Причем от физиков требуются довольно точные данные. Инженеры сейчас не удовлетворяются приближенными результатами. Они требуют знака после запятой. Эти новые требования в большой степени и определяют дальнейшее направление исследований.

★

**Корреспондент.**

Николай Геннадиевич, не могли бы Вы рассказать о программе лазерного термоядерного синтеза (ЛТС) в нашей стране?

**Н. Г. Басов.**

В настоящее время проблема ЛТС — несмотря на то что решающий эксперимент еще не сделан — достигла такого состояния, когда мы обладаем,

**Н. Г. Басов.**

практически, исчерпывающей физической информацией о процессах лазерного синтеза — нагреве, сжатии, термоядерном горении лазерной плазмы. Нам представляются достаточно ясными критерии построения оптимальных систем лазер — мишень в зависимости от уровня вкладываемой энергии и коэффициента термоядерного усиления.

Другими словами, в СССР существует определенная концепция ЛТС, хорошо обоснованная как теоретически, так и экспериментально. Суть ее, совсем кратко, заключается в следующем: лазерный импульс простой формы и наносекундной длительности с плотностью мощности, не превышающей  $10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>, и тонкие оболочечные мишени с отношением радиуса оболочки к ее толщине порядка  $10^2$ , обеспечивающие при достаточно высоком уровне энергии излучения высокое сжатие и нагрев термоядерного горючего. При этом удается (при длине волны излучения менее 1 мкм) избежать ряда неблагоприятных эффектов, главным из которых является предварительный прогрев мишени быстрыми электронами. Последнее обстоятельство, в частности, не позволило американским исследователям на десятикилоджоульной установке «Шива» достигнуть планируе-

мого нейтронного выхода (последний оказался на четыре порядка меньше предсказываемого). Это связано с высокой плотностью мощности облучения мишени (порядка  $10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>) в экспериментах Ливерморской лаборатории (режим «взрывающейся оболочки»).

Многоканальные лазерные установки, созданные в СССР («Кальмар», «Дельфин») в соответствии с данной концепцией, полностью ее подтвердили. На опыте удалось осуществить стабильное сжатие оболочек с объемным сжатием в тысячу раз, хорошее классическое поглощение лазерного излучения, отсутствие надтепловых частиц.

Указанные обстоятельства позволяют думать, что дальнейшее развитие ЛТС будет связано с выбором типа лазера для демонстрационного эксперимента, т. е. для достижения эффективной термоядерной вспышки и создания в конечном счете коммерческого термоядерного реактора.

Какими основными характеристиками должен обладать мощный высокоэнергетичный лазер для ЛТС? Прежде всего достаточно большим КПД (5—10%), большой скоростью повторения импульсов (3—10 Гц), высокой надежностью и ресурсом до  $10^8$  имп/год. Среди разрабатываемых сейчас лазеров наиболее перспективными представляются эксимерный (KrF) и CO<sub>2</sub>-лазер. Что касается KrF-лазера, то короткая длина волны его излучения, согласно теоретическим представлениям, является весьма благоприятной для оптимального сжатия и нагрева мишени (высокая гидродинамическая эффективность, отсутствие предварительного прогрева надтепловыми частицами). Проблемами здесь являются получение достаточно короткой длительности импульса (наносекунды), требуемой частоты повторения и надежности.

Основная проблема в случае CO<sub>2</sub>-лазера (при наличии высокого КПД и частоты повторения) связана с неизбежной генерацией быстрых электронов при воздействии на мишень десятимикронного излу-

чения (при плотности мощности  $\sim 10^{14}$  Вт/см<sup>2</sup>). Однако эта трудность, как показали расчеты, выполненные в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР и Институте прикладной математики им. М. В. Келдыша АН СССР, может быть преодолена путем специального выбора мишени, в результате чего гидродинамический режим сжатия осуществляется вследствие испарения внешнего слоя мишени под действием надтепловых электронов.

Другие мыслимые возможности, связанные, например, с использованием 4-й гармоники ( $\lambda=0,25$  мкм) неодимового лазера, а также с иодным лазером представляются мало-перспективными вследствие низкого КПД (<1%).

Итак, выбор типа лазера для эффективного ЛТС и его создание — главная задача лазерного направления в термоядерном синтезе на сегодняшний день.

Задача, несомненно, трудная, но, как нам кажется, разрешимая.

Вторая проблема — это разработка проектов лазерных термоядерных реакторов. Здесь, по-видимому, уместно подчеркнуть принципиальное преимущество лазерного подхода (по сравнению с магнитным удержанием и пучковым синтезом): в случае ЛТС источник энергии (лазер) может быть достаточно удален от камеры реактора и полностью отсутствует материальная связь лазер — мишень.

Сейчас рассматриваются проекты трех типов ЛТС — «чистый» реактор, гибридный реактор и реактор-наработчик ядерного топлива для АЭС. Очень интересной представляется идея «гибрида» — одновременного использования реакции синтеза и деления. В этом случае существенно снижаются требования к «чистой» термоядерной части такого реактора — достаточными оказываются КПД лазера порядка 1% и коэффициент усиления мишени около 20.

★



Е. П. Велихов.

#### Корреспондент.

Евгений Павлович, мы хотели бы попросить Вас начать разговор с вопроса, который мы задавали на конференции: зачем нужен управляемый термоядерный синтез и когда, по Вашему мнению, он станет реальностью.

#### Е. П. Велихов.

В легких ядрах запасено очень много энергии. Невозможно себе представить, чтобы человечество прошло мимо такого энергетического источника. Конечно, сегодня мы должны рассуждать, может быть, не только с точки зрения запасов топлива, потому что для ядерной энергетики, я имею в виду использование бридеров, топливо уже не играет ограничивающей роли. Мы должны рассуждать с позиций капитальных затрат и общих свойств энергетики в целом.

Термоядерная энергия, действительно, имеет определенные преимущества именно тогда, когда нужно много энергии. Конечно, это — общее заключение. Что касается конкретных выводов, то, например, в токамаках, где нейтроны будут использоваться просто для выделения тепла, проблема капитальных затрат не решается, зато решается целый ряд других проблем. И это делает такой выбор притягательным, скажем, с точки зрения его безопасности. Нельзя обойти и вопрос

наработки ядерного топлива. Ведь использование нейтронов при переработке отходов урана или естественного необогащенного урана — важный элемент в развитой ядерно-термоядерной энергетике. И термоядерные реакторы наверняка должны найти в ней свое место, поскольку по цене нейтрона они должны быть существенно экономичнее, чем, например, электроэнергетический способ производства электроэнергии и плутония, и в то же время при той же самой тепловой мощности, дадут больше ядерного топлива, чем, скажем, бридеры.

Но самое главное — термоядерные реакторы открывают массу новых возможностей. Мы впервые получаем, например, источник энергии, в котором разделены место, где происходит реакция, и место, где выделяется тепло: нейтроны, в отличие от осколков деления, имеют достаточно большую длину свободного пробега в веществе. Это позволяет представить себе такую схему (и она не абсурдна): где-то нарабатывается тритий, а в городах работают очень простые реакторы, например с чисто графитовым бланкетом, без всякого производства трития и практически без радиоактивности.

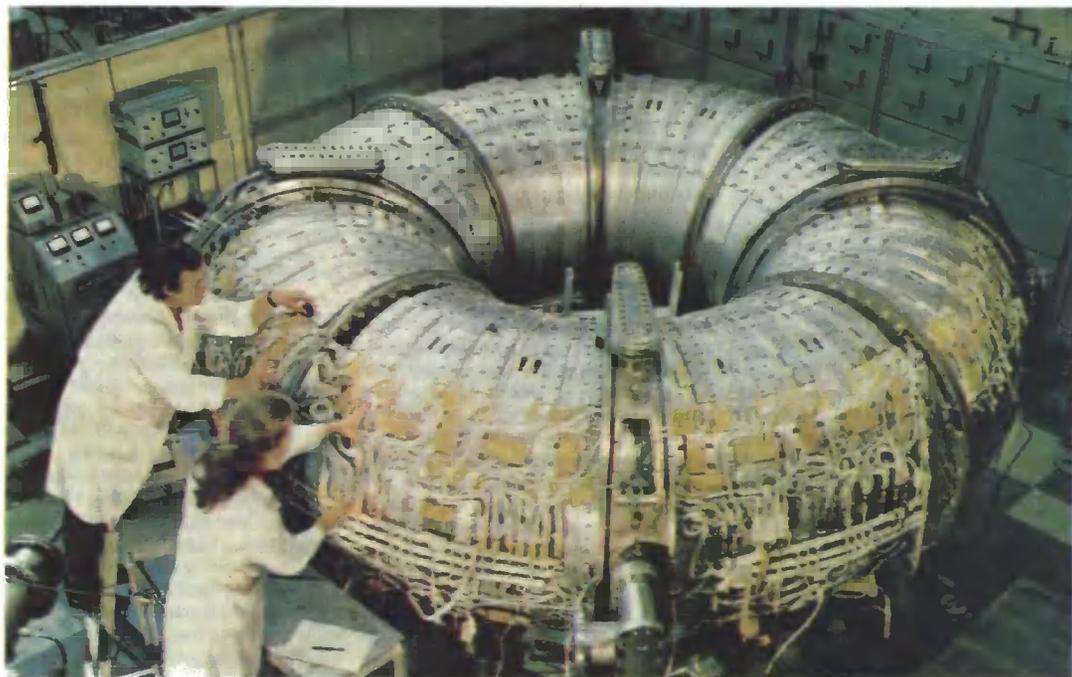
Выбор термоядерного способа получения энергии — это выбор интенсивного способа в отличие от экстенсивного. И как интенсивный, он должен обязательно очень серьезно изучаться. Здесь много возможностей: есть схемы прямого преобразования энергии, например с помощью микровозрывов или МГД-генераторов. И поскольку плазма — проводящая среда, то не исключена возможность прямого преобразования тепловой энергии в электрическую прямо в плазме.

Надо сказать, что вообще энергетика — это область, которая очень медленно эволюционирует. Один джоуль энергии с каждым годом становится все дороже (а вот, например, выполнение одной операции на ЭВМ за последние десять лет подешевело в десять раз). В какой-то момент нам нужно будет иметь выбор путей получения энергии, чтобы найти наиболее оптимальный. С этой



Монтаж первого модуля установки «Ангара-5» (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова).

Сборка камеры первого токамака со сверхпроводящими обмотками «Т-7» (Институт атомной энергии им. И. В. Курчатова).



точки зрения, конечно, сейчас имеется определенное противоречие в программах исследований. С одной стороны, мы хотим в разумные сроки создать термоядерную технологию (это действительно очень важно), с другой — жертвуем иногда возможностью выбора и продвигаем вперед, может быть, далеко не лучший вариант. Но бывают такие ситуации, когда, если браться только за лучшее, можно просто ничего не сделать. Или, по крайней мере, это будет далеко не кратчайший путь к достижению цели. Поэтому сегодня, мне кажется, выбор токамака в качестве основы для первого термоядерного реактора разумен.

Прошедшая конференция показала, что если мы хотим вместо токамака выбрать какую-нибудь другую схему, то нужны те же миллиарды рублей и то же количество человеко-лет, которые вкладываются в токамаки, чтобы довести ее до «зрелого» состояния и окончательно сделать выводы об их пригодности. С помощью токамаков мы заложили основы технологии термоядерной энергетики, а дальше ее можно будет применять в различных вариантах.

Что же касается сроков, то фантазировать здесь можно сколько угодно, но я считаю, что в этом вопросе надо становиться на более формальную позицию. Сегодня мы имеем заявление группы ИНТОР. В нем утверждается, что в начале 90-х годов можно построить испытательный термоядерный реактор для доказательства технологической осуществимости термоядерного синтеза на основе токамака. У нас есть для этого и физическая, и техническая база. Как видите, в этом заявлении не содержится ответа на вопрос, будет он построен или нет.

Когда же будет коммерческий реактор? Я думаю, что для осуществления плавного перехода к неисчерпаемому источнику энергии уже в этом столетии, нам следовало бы общими усилиями сделать экспериментальный термоядерный реактор. Это было бы, конечно, существенным шагом вперед. Мы бы точнее узнали, на что можно рассчитывать и какие



**П. Л. Капица рассказывает о работе Института физических проблем АН СССР по управляемому синтезу.**

дальнейшие усилия нужно прилагать.

#### **Корреспондент.**

Пятнадцать лет назад на вопрос «в каком году будет построен термоядерный реактор?», тоже отвечали, что через двадцать лет. По-видимому, речь шла несколько о другом?

#### **Е. П. Велихов.**

Конечно, имелась в виду физическая демонстрация возможности управляемого термоядерного синтеза. Сейчас многие считают, что с физической демонстрацией покончено. Безусловно, это не совсем так. Предстоит еще большая работа, чтобы ее завершить, но мы действительно уверены в том, что продемонстрируем, как «горит» термоядерная плазма.

#### **Корреспондент.**

Каковы задачи на следующее десятилетие? Мы задавали этот вопрос на конференции, и на девяносто процентов мнение было единым: осуществить зажигание.

#### **Е. П. Велихов.**

Ну, конечно. Желательно даже, чтобы это произошло не по истечении десяти лет, а не-

сколько скорее. Десять лет это многовато.

#### **Корреспондент.**

Вы имеете в виду именно зажигание, а не просто усиление вкладываемой энергии?

#### **Е. П. Велихов.**

Видите ли, можно работать и в таком режиме. Уже это позволит многое понять. Но, конечно, главное — осуществление зажигания. Десять лет на решение этой задачи — хороший срок, но с учетом того, что еще надо будет изучить, что при этом получается, как «горит» плазма.

#### **Корреспондент.**

Каковы, по вашему мнению, основные достижения последних десяти лет?

#### **Е. П. Велихов.**

Прежде всего за это десятилетие была развита физика токамаков. У нас уже есть некая реальная теория устойчивости, например, МГД-устойчивости плазмы в токамаках. И эта теория хорошо согласуется с экспериментом. Кроме того, за это время прояснилась физика микропроцессов в токамаках. Правда, физических результатов все-таки маловато, и это вызывает некоторое неудовлетворение. Настоящего теоретического осмысления в этой области пока нет. Мы, например, не понимаем электронную диф-



На одной из стендовых секций конференции.

физию. Не вполне ясно представляем, как плазма в токамаках взаимодействует со стенками установки. И здесь исследование следовало бы значительно расширить. Мне кажется, что эксперименты по адиабатическому сжатию нарастающим магнитным полем, проводимые в Ленинграде на токамаках серии «Туман», очень важны для дальнейшего понимания этого взаимодействия. Наконец, я должен сказать, что мы ведь только-только подошли к исследованиям движения плазмы в токамаках. Наверняка наряду с ее макроскопическим вращением существуют еще и конвективные движения. Очень интересны и еще не поняты данные, полученные при измерении электрических полей в плазме токамаков.

Так что, как видите, сейчас чрезвычайно широко изучается физика токамаков. И здесь нужно глубокое теоретическое осмысление. Причем, теория уже нужна нелинейная, поскольку очевидно, что в эксперименте мы реально наблюдаем нелинейные эффекты.

Вообще культура эксперимента чрезвычайно возросла. Появились дополнительные методы нагрева, которые позволи-

ли нам приблизиться к температурам, нужным для термоядерного синтеза, новая диагностика... Важным достижением является то, что мы экспериментально убедились в возможности работы со сверхпроводящими системами. Нынешний инженерный уровень для этого вполне достаточен.

#### Корреспондент.

Каковы особенности советской термоядерной программы в ближайшие десять лет?

#### Е. П. Велихов.

Во-первых, мы стремимся сделать ее достаточно разнообразной, чтобы были представлены и другие физические идеи, не только токамаки. При этом программа исследований должна быть достаточно целенаправленной. Токамаки должны быть существенно выделены.

Здесь можно идти двумя путями: либо строить одну крупную установку и пытаться на ней разрешить все вопросы (правда, это сужает поле эксперимента, а установку делает очень дорогой), либо строить несколько взаимодополняющих установок. В результате мы остановились на том, чтобы строить, по крайней мере, две установки типа токамак. На одной (токамак Т-14) осуществлять широкий физический поиск, на другой (Т-15) — более четко направленной — стремиться достичь термоядерных параметров.

Существенная особенность установки Т-14 — осуществление адиабатического сжатия плазмы и применение разнообразных методов дополнительного нагрева. Это позволит понять, как зависят макроскопическое движение шнура, ограничения на предельное давление плазмы, устойчивость от методов нагрева. Можно будет изучать поверхностные явления, учиться как-то воздействовать на них, по крайней мере, попытаться «оторвать» границу плазмы от стенок.

Теперь о программах инерционного сжатия. Ситуация здесь такова: чтобы выяснить, как строить такую программу (целевую), нам не хватает понимания физики сжатия. Сейчас грубо из всяких расчетов и оценок нам известно, что в мишень нужно вкладывать мощность около 100 ТВт независимо от уровня вложенной энергии. От носителя энергии это зависит в меньшей степени, в какой-то степени зависит от физических свойств самой мишени. Из грубых физических соображений (объем разлетающейся мишени растет, как куб времени) следовало бы ожидать, что энергия, требуемая для сжатия и нагрева мишени, пропорциональна третьей степени длительности импульса нагрева. На самом же деле зависимость получается линейной. Это дает преимущество «медленным», но более экономичным средствам «доставки» энергии — пучкам заряженных частиц и лайнерам по сравнению с лазерами. Правда, прежде чем выбрать между пучками и лазерами, надо выбрать наиболее разумную альтернативу среди лазеров. Применение  $\text{CO}_2$ -лазеров для сжатия вещества по своей идее уж очень близко к заряженным частицам. Они требуют таких же методов, близких по строению мишеней. Пучки легких ионов имеют свои преимущества, если, конечно, их удастся хорошо фокусировать. Сейчас один из самых интересных подходов в инерционном сжатии — это лайнерный подход. В предстоящие годы нам важно провести целый набор экспериментов: с электронными и ионными пучками, фольгой (ускоренный лайнер), ла-

зерные эксперименты. Потребуются лазеры с энергией в  $10^5$  Дж в наносекундном импульсе, а может быть и с большей. Надо будет построить кривую зависимости мощности, необходимой для термоядерного микровзрыва, от вложенной энергии, реальную кривую. Тогда мы сможем выбрать оптимальную схему и начинать придумывать реактор.

Что касается пучков тяжелых ионов, то это все еще только на бумаге. Схема с последовательным накоплением пучков очень дорогостоящая, и ни у кого в мире рука не поднимется что-нибудь сейчас строить. Надо еще поработать.

Очень красивая физическая идея — мезонный катализ. Но это есть на самом деле некая добавка к электроядерному методу, и пока не вполне ясно, как это осуществить реально. Тут есть определенные проблемы: необходимо много трития, с которым трудно работать, и низкотемпературные мишени, чтобы можно было осуществлять стационарный режим. Так что пока мое впечатление таково, что есть некая красивая идея, которую, конечно, нужно разрабатывать, но этот метод, по видимому, будет на уровне электроядерного метода, т. е. существенно хуже термоядерных реакций. Впрочем, здесь тоже может появиться что-нибудь неожиданное.

В заключение я хотел бы сказать несколько слов о международном сотрудничестве в области управляемого термоядерного синтеза. То, что это сотрудничество всемерно расширяется — одно из главных достижений последнего десятилетия, а его дальнейшее развитие — важнейшая задача на будущее. Это сотрудничество гармонично развивалось, хотя возникали и серьезные разногласия, например, когда Лев Андреевич Арцимович резко выступил против ошибочной трактовки экспериментов в Ливермор. Взаимная критика здесь всегда была, даже порой слишком острая. Так, в свое время остро критиковалась международное сообществом установка «Зета». Сейчас, на новом этапе знаний пришли к заключению, что ее нужно опять строить. Аналогичная ситуация была со стеллара-

торами. Так что иногда сотрудничество приводит и к тому, что совершаются коллективные ошибки. Но это, как говорят, издержки производства.

Значение международного сотрудничества огромно: мы не пытаемся особенно поразить или переиграть друг друга, ставим взаимодополняющие эксперименты, хорошо информированы о работах, которые ведутся в мире. Если мы потеряем это доверие и перейдем на уровень чистого соревнования (иногда такие попытки делаются), будет очень неприятно. Очевидно, что в такой дорогостоящей области исследований, как термоядерный синтез, работать в одиночку очень сложно. Не будь международного сотрудничества, результаты были бы беднее: в других условиях мы бы вообще не подошли к той стадии, в которой находится проект «ИНТОР», когда уже пройдены нулевой и первый этапы и мы имеем эскизный проект установки. Ничего подобного в научной практике еще не было, и ни одна страна самостоятельно такого эскизного проекта не смогла бы сделать. Субъективно и объективно управляемый синтез — уникальная область для сотрудничества. К военным целям исследования по магнитному удержанию плазмы отношения не имеют, коммерческой тайной это еще не стало. Все понимают, что управляемый синтез нужен и сотрудничество выгодно всем. Сотрудничество доказало свою жизнеспособность. И на него надо в дальнейшем опираться.

Организовали интервью и подготовили публикацию И. Н. Друтюнян и В. А. Чуянов.

Фото Н. Н. Алексеева,  
В. И. Ободзинского.  
Рисунки И. Л. Максимова.

#### ОСНОВНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ «ПРИРОДЫ» ПО УПРАВЛЯЕМОМУ ТЕРМОЯДЕРНОМУ СИНТЕЗУ

Попков Г. Н. ТОКАМАК-10. 1976, № 1.

Басов Н. Г. ЛАЗЕРНЫЙ ТЕРМОЯДЕРНЫЙ СИНТЕЗ — СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ. 1976, № 10.

Афанасьев Ю. В., Басов Н. Г., Гамалый Е. Г., Крохин О. Н., Розанов В. Б. ПРОГРЕСС В ФИЗИКЕ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА. 1976, № 10.

Крохин О. Н., Склизов Г. В., Шканов А. С. ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ В ЛАЗЕРНОМ СИНТЕЗЕ. 1976, № 11.

Басов Н. Г., Крохин О. Н., Склизов Г. В., Федотов С. И. МОШНЫЕ ЛАЗЕРЫ ДЛЯ ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА. 1976, № 1.

Стрелков В. С. ИССЛЕДОВАНИЯ ГОРЯЧЕЙ ПЛАЗМЫ НА ТОКАМАКЕ-10. 1977, № 11.

Рудаков Л. И. ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ЭЛЕКТРОННОМУ ТЕРМОЯДУ В ИАЭ. 1978, № 2.

Басов Н. Г. СОСТОЯНИЕ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ЛАЗЕРНОГО ТЕРМОЯДЕРНОГО СИНТЕЗА В ЭНЕРГЕТИКЕ БУДУЩЕГО. 1978, № 6.

Иванов Д. П. «Т-7» — ПЕРВЫЙ ТОКАМАК СО СВЕРХПРОВОДЯЩИМИ ОБМОТКАМИ. 1978, № 12.

Кадошцев Б. Б. ФИЗИКА ТОКАМАКОВ. 1979, № 2.

Галицкий В. М. ПЕРВЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ТОКАМАКЕ «Т-7». 1979, № 12.

Пономарев Л. И. МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ ЯДЕРНЫХ РЕАКЦИЙ СИНТЕЗА. 1979, № 9.

Легасов В. А., Кузьмин И. И. ПРОБЛЕМЫ ЭНЕРГЕТИКИ. 1980, № 2.

В этом году редакция предполагает опубликовать:

Чуянов В. А. ВТОРОЕ РОЖДЕНИЕ ОТКРЫТЫХ ЛОВУШЕК.

Петров Ю. В. ГИБРИДНЫЕ ЯДЕРНЫЕ РЕАКТОРЫ И МЮОННЫЙ КАТАЛИЗ.

Кадошцев Б. Б. ПРОЕКТ «ИНТОР».

## Получение и перспективы практического использования генетических копий тутового шелкопряда

В. А. Струнников



Владимир Александрович Струнников, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией биологии размножения 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 1981 г.

На протяжении многих тысячелетий одомашнивания животных воображение человека, видимо, не раз поражали редко возникающие исключительно выдающиеся по хозяйственной ценности индивидуумы — быстроходные лошади, коровы с высокими удоями, овцы с большим настригом шерсти и хорошие куры-несушки. Вероятно, человеку не однажды приходила смелая мысль о том, чтобы сделать таких удивительных животных «бессмертными» путем воспроизводства их в следующих поколениях в виде совершенно идентичных копий. Но тогда эта идея была не чем иным, как фантазией. В действительности же рекордисты заканчивали свой жизненный путь, оставив после себя новое поколение, каждый член которого никогда не повторял ни одного из своих предков, точно так же, как и его никогда не повторял ни один из потомков следующих поколений. Это происходит потому, что сельскохозяйственные животные размножаются половым способом, при котором потомки одновременно наследуют признаки и материнского и отцовского организмов.

Отбор лучших производителей позволяет повысить и даже сохранить в следующих поколениях необходимые человеку качественные и количественные признаки. Однако на это уходят многие годы интен-

сивной селекции, да и не всегда это возможно. Например, такое свойство, как гетерозис (гибридная мощность) проявляется только у потомков первого поколения — гибридов, полученных при скрещивании генетически отдаленных форм. При половом размножении в последующих поколениях гетерозис затухает, и потому для его практического использования у сельскохозяйственных животных необходимо каждый раз вновь получать гибриды первого поколения, производя сложные и не всегда выполнимые в промышленных масштабах межпородные скрещивания. Поэтому проблема воспроизводства из поколения в поколение свойств особо выделившихся гибридов является насущной проблемой животноводства. Ее решение позволило бы закрепить гетерозис и имело бы огромное практическое значение.

Общей закономерностью воспроизводства организмов, полностью повторяющих уникальный по продуктивности генотип исходной особи, является передача наследственной информации в неизменном состоянии от родителей потомству. Казалось бы, достигнуть этого сравнительно легко, ведь все клетки любого организма, и неполовые — соматические (сома — тело) в том числе, имеют полный набор генов. И действительно, клонирование (получе-

ние генетически однородного потомства одной особи, например, вегетативным размножением) довольно просто осуществляется, и в растениеводстве достигнуты огромные успехи в этой области, давшие большой экономический эффект. Однако у высокоорганизованных животных начало новому организму могут дать только половые клетки, соматические же, будучи обособленными от родительского, не могут развиваться в новый организм.

В связи с этим клонирование у животных основывается на искусственном запуске такого типа начального развития яйцеклетки, которое обеспечило бы полную преемственность задатков родителя потомством.

Поставленная задача сейчас решается наукой тремя различными способами. Два из них — цитогенетические. Эти методы разработаны в нашей стране на тутовом шелкопряде, и с их помощью впервые в истории науки получены генетически идентичные копии как матери, так и отца. В общих чертах о предпосылках и первых результатах этих исследований сообщалось в «Природе»<sup>1</sup>.

Третий способ — хирургический. Этот метод, разработанный У. Р. Бриггсом и Т. Дж. Кингом в 1952 г., основан на замене гаплоидных ядер яйцеклеток лягушки диплоидными ядрами, взятыми из соматических клеток эмбрионов другой лягушки. После такой пересадки яйцеклетки с новыми ядрами нормально развиваются и из яиц вылупляются головастики, являющиеся генетическими копиями эмбрионов, ядра которых были пересажены в яйцеклетки. Следует оговориться, что цитоплазма яйца у позвоночных животных не играет существенной роли в передаче наследственной информации.

Д. Б. Гердон в начале 60-х годов существенно усовершенствовал методику трансплантации соматического ядра в яйцеклетку лягушек. В своих опытах Гердону удалось получить нормально плодовитых лягушек, выросших из половины яиц, подвергнутых хирургической операции. Этим же методом К. Ильмензее получил генетических двойников мыши.

Результаты этих опытов исключительно впечатляющи: впервые из соматических клеток были получены животные, генотип которых идентичен донорским. Хотя сам

метод сложен, но клонирование им выдающихся особей крупных животных даже в сравнительно небольшом числе, несомненно, будет иметь большое практическое значение в племенном деле. Оно позволит сохранить высокопродуктивные генотипы, чтобы использовать их для улучшения стада.

Что касается тутового шелкопряда, то со времени получения генетических копий генетико-селекционные исследования на нем продвинулись вперед не только в разработке методов получения самих копий, но и в изучении их биологических свойств. Открываясь при этом возможность использовать клонирование в практическом шелководстве, как полагает автор, может вызвать интерес у читателей.

## ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОПИЙ САМОК ТУТОВОГО ШЕЛКОПРЯДА

Генетические копии самок можно получить партеногенетическим (от греч. *παρθενοσ* — девственница и *γενεσις* — происхождение) способом. Как правило, при партеногенезе организм развивается из неоплодотворенной яйцеклетки, имеющей двойной (диплоидный —  $2n$ ) набор хромосом. Известно, что в процессе своего созревания (мейоз) женские половые клетки проходят два деления: редукционное и эквационное. Первое деление приводит к образованию клеток с уменьшенным вдвое (против исходного) числом хромосом, которое при втором делении сохраняется. Следовательно, созревшая яйцеклетка имеет одинарный (гаплоидный —  $n$ ) набор хромосом.

Задача экспериментатора в получении генетических копий заключается в том, чтобы в процессе созревания половых клеток исключить редукционное деление, оставив лишь одно эквационное, сохранив таким образом диплоидность ядра, и затем заставить яйцеклетку развиваться без оплодотворения. Такое развитие яиц называют амейотическим партеногенезом. К сожалению, искусственная активация яиц к партеногенетическому развитию у животных, как правило, приводит к возобновлению обоих делений созревания — и редукционного и эквационного.

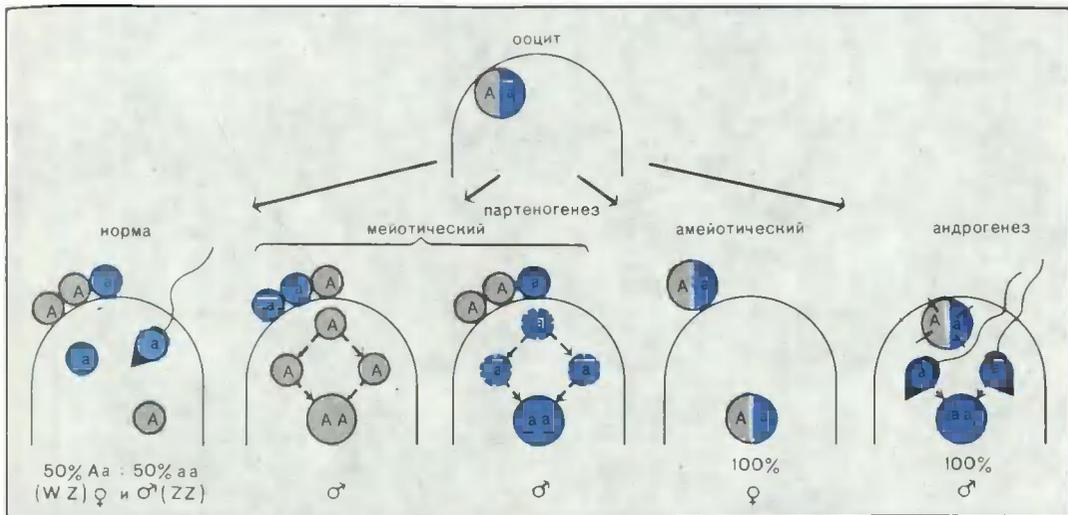
И только в опытах с тутовым шелкопрядом выдающийся советский биолог Б. Л. Астауров (1940 г.) сумел активировать неоплодотворенные яйца к партеногенетическому развитию амейотического типа, действуя на них высокой температурой. Полученные таким способом партеногенетические гусеницы полностью повторяли

<sup>1</sup> Струнников В. А., Терская Е. Р. Мейотический партеногенез у тутового шелкопряда и проблемы генетики и селекции. — Природа, 1977, № 1, с. 57.

генотип своей матери, и, по существу, это были первые в истории науки генетические копии самок<sup>2</sup>.

К сожалению, полученное потомство характеризовалось пониженной жизнеспособностью на эмбриональных и постэмбриональных стадиях (гусеницы, куколки, бабочки): гусеницы развивались неравномерно, среди них было много уродливых, а завиваемые ими коконы значительно различались по весу. Между тем Астауров установил, что при низкой частоте вылупле-

ния партеногенетических гусениц их жизнеспособность в постэмбриональном развитии понижена. Следовательно, если бы удалось вывести клоны с высокой частотой выхода партеногенетических гусениц, то в таких клонах, вероятно, как предполагал Астауров, жизнеспособность гусениц повысилась бы до уровня, обычного при половом размножении шелкопряда. Это предсказание подтвердилось. Начатая Астауровым в 1965 г. селекция на способность к искусственному термическому партеногенезу



Цитогенетические схемы наследования генетической информации на примере двух аллельных генов Аа при половом размножении, мейотическом и амеютическом партеногенезе и андрогенезе.

В норме проникающие в яйца спермии с геном а стимулируют и редукционное и эквационное деление ядра ооцитов Аа. При оплодотворении женское ядро с геном А или а и мужское ядро с геном а сливаются. Возникающая в результате одна половина потомков имеет генотип Аа, а другая — аа.

При мейотическом партеногенезе женское гаплоидное ядро, не встретив мужского ядра, делится еще раз. Образовавшиеся два сестринских идентичных ядра сливаются вместе, и половина потомства, возникшего от такого самооплодотворения, имеет гомозиготный генотип АА, а другая — аа.

Амеютический партеногенез протекает с нередуцированным ядром Аа, совершенно идентичным генотипу материнского ядра. Все партеногенетическое потомство представлено самками, генетически повторяющими своих матерей.

При андрогенезе эмбрион развивается за счет слившихся вместе двух гаплоидных ядер, внесенных спермиями, поэтому андрогенетические потомки наследуют только отцовские признаки.

привела в 1973 г. к получению клонов с частотой вылупления гусениц выше 90%. Действительно, жизнеспособность этих гусениц (в лабораторных условиях) в постэмбриональном периоде возросла и в ряде клонов достигла 90—95%, что практически соответствует норме.

Еще в начале селекционной работы обратили внимание на то, что партеногенетические самки завивают коконы с пониженным весом. Поскольку эта закономерность была обнаружена на клонах с относительно низким процентом вылупления гусениц, естественно, возникло предположение, что в клонах с высокой частотой партеногенеза вес коконов повысится до нормы (вспомним о жизнеспособности). В связи с этим мы провели специальный опыт, в котором сравнили вес коконов от партеногенетических гусениц и от гибридов первого поколения, полученных при половом размножении. Однако, несмотря на то что выход партеногенетических гусениц был высоким (90%), вес их коконов составил 82,6% от веса коконов гибридного поколения. Кроме

<sup>2</sup> Астауров Б. Л. Искусственный партеногенез у тутового шелкопряда. М. — Л.: Изд-во АН СССР, 1940.

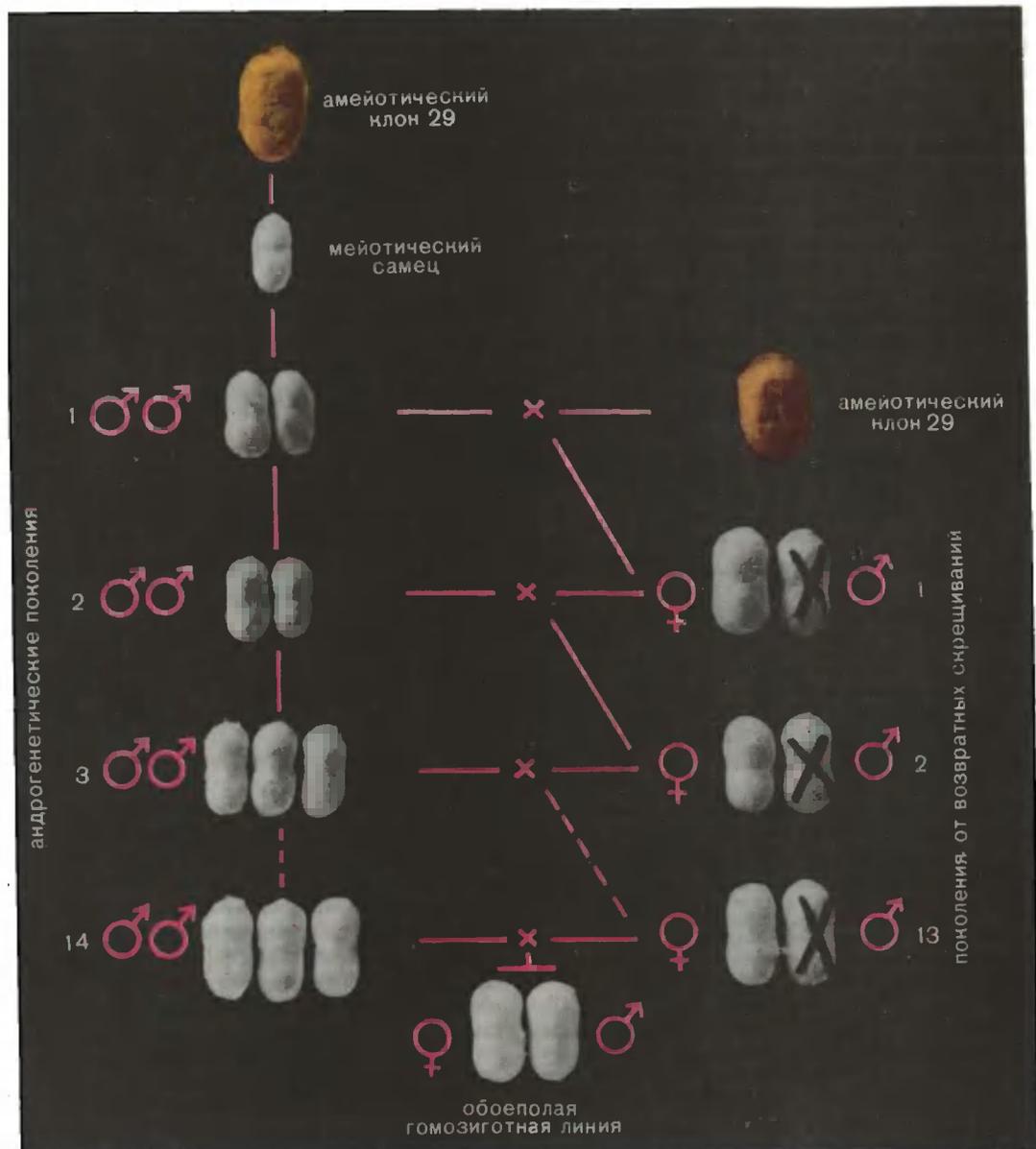


Схема получения генетически идентичных копий абсолютно гомозиготного самца тутового шелкопряда посредством андрогенеза и превращение андрогенетического клона в обоеполоую линию путем возвратных скрещиваний. Не взятые на племя коконы самцов перечеркнуты.

того, жизнеспособность гусениц партеноклона оказалась более низкой (90% вместо 96% у гибридов), а коконы значительно различались по весу.

Все эти отрицательные качества существенно осложняли использование партеногенетических копий женского пола в практике. Вероятно, дальнейшей селекцией можно было бы повысить жизнеспособность партеноклонов и увеличить вес коконов до нормального уровня, однако такая

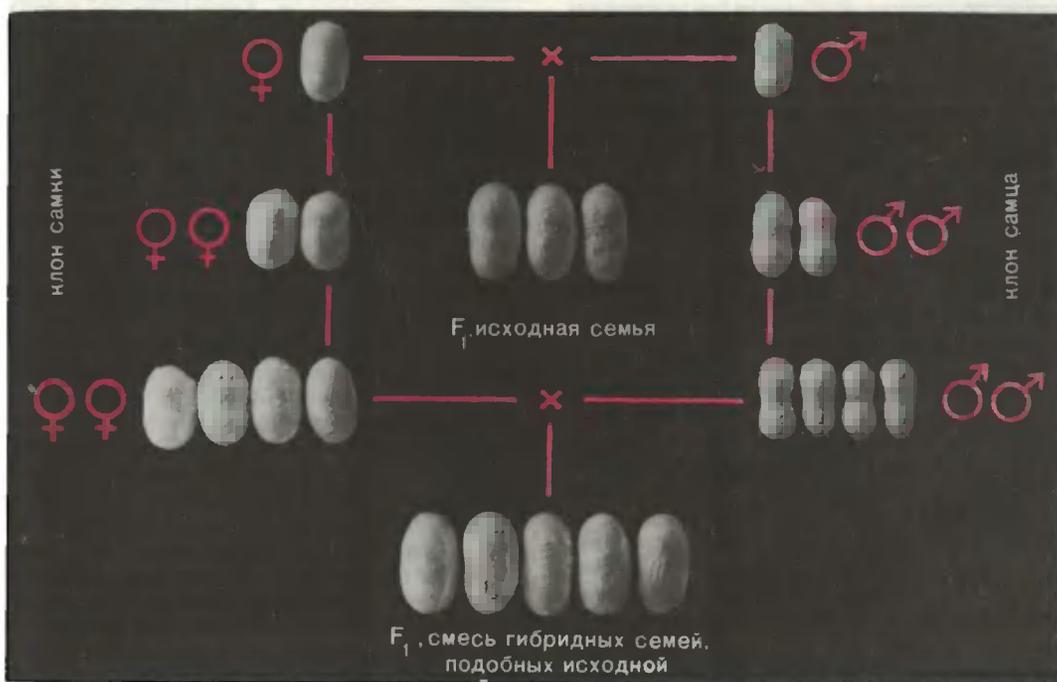


Схема получения генетически идентичных близнецов тутового шелкопряда в результате скрещивания двух абсолютно гомозиготных родителей (в в е р х у).

работа нерациональна, так как промышленное разведение самок вообще нерентабельно, поскольку содержание шелка в их коконах на 20% меньше, чем у самцов.

Схема раздельного клонирования партеногенезом и андрогенезом двух потенциально высокогетерозисных родителей тутового шелкопряда и последующее получение от размноженных клонов численно неограниченного гибрида с таким же мощным гетерозисом и высокой шелковой продуктивностью, как и у исходной семьи (в н и з у).

Получение генетических копий самок, несомненно, весьма перспективно для клонирования животных, у которых самки продуктивнее самцов. Неудачные попытки клонирования некоторых лабораторных и сельскохозяйственных животных мы считаем следствием несовершенства отдельных

звеньев методики, а не принципиально иной, чем у тутового шелкопряда, реакцией клеток этих животных на стимулирующее воздействие.

### ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОПИЙ САМЦА

Клонирование самцов оказалось гораздо более сложной задачей, чем клонирование самок. Ее нам удалось решить с помощью двух искусственных способов размножения: мейотического партеногенеза и андрогенеза.

Уже давно было известно, что примерно из 1 млн неоплодотворенных яиц спонтанно вылупляется одна гусеница мужского пола и возникает она в результате мейотического партеногенеза (партеногенетическое развитие яйцеклетки, в процессе своего созревания претерпевшей полный мейоз). Индуцировать мейотический партеногенез с высокой частотой вылупления гусениц долго не удавалось никому из исследователей. И даже обширные целенаправленные опыты Астаурова завершились, как мы уже отмечали, разработкой не мейотического, а амейотического партеногенеза.

Несмотря на отрицательные результаты, Астауров все же был уверен в возможности индуцирования мейотического партеногенеза. Его предсказание сбылось: в середине 70-х годов этот способ был наконец разработан у тутового шелкопряда автором данной статьи совместно с Е. Р. Терской. Оказалось, что малые дозы некоторых агентов, таких как высокая (+46°C) и низкая (-11°C) температуры, углекислота, электрошок — активируют партеногенетическое размножение мейотического типа. При этом в процессе созревания женские половые клетки претерпевают оба деления созревания — и редукционное и эквационное — и в результате ядро созревшей яйцеклетки имеет гаплоидный набор хромосом. Такая яйцеклетка, не встретив мужского спермия, делится на две идентичные (сестринские) также гаплоидные клетки, которые, слившись затем вместе, образуют клетку с диплоидным ядром, с ним и протекает дальнейшее развитие яйцеклетки.

Напомним, что самки тутового шелкопряда имеют две разные половые хромосомы — W и Z, и потому в одной половине готовых к оплодотворению яиц образуется ядро с W-хромосомой, а в другой — Z-хромосомой. После слияния сестринских ядер (W с W, Z с Z) одни яйца имеют набор

WW-хромосом, а другие ZZ-хромосом. Яйца с WW-хромосомами нежизнеспособны, а из яиц с ZZ-хромосомами развиваются самцы, гомозиготные по всем генам.

Отметим, что партеногенетическое поколение самцов, возникшее от гетерозиготных по многим признакам самок было представлено двумя фенотипическими группами по каждому признаку: например, от гетерозиготы Aa возникает одна группа с доминантным признаком AA, а другая — с рецессивным — aa.

Принципиально сходным методом американский биолог К. Л. Маркерт в 1977 г. получил мейотическое потомство мышей. Он выделил осемененные яйца самки, в которых уже началось развитие, но женские и мужские ядра еще не слились, и удалил из каждой яйцеклетки мужское ядро. Оставшееся гиплоидное женское ядро в результате делений приобретало двойной набор идентичных парных хромосом, поскольку под действием цитохолазина-B, примененного Маркертом, хромосомы при делении не расходились. Первые стадии эмбрионального развития яйца протекали вне организма матери, а затем эмбрион был введен в матку другой самки, где он и развивался вплоть до формирования и рождения мышонка. Таким способом Маркерт получил несколько мышей, строго гомозиготных по всем генам. Выведенные им мыши были самками, так как их пол, в отличие от самок тутового шелкопряда, определяется наличием двух одинаковых хромосом — XX. Полученные самки-гомозиготы, как и партеногенетические самцы тутового шелкопряда, унаследовали только половину генотипа матери, поэтому разработанный способ называют «полуклонированием». Гомозиготные самки мыши, как полагает экспериментатор, могут быть размножены еще раз этим же способом и тогда новые партеногенетические потомки окажутся полными генетическими копиями гомозиготной матери. Пока неизвестно, удалось ли исследователю реализовать этот план.

Поскольку партеногенетические потомки мейотического типа у тутового шелкопряда, в отличие от мышей, представлены особями мужского пола, то, следовательно, их нельзя размножить партеногенетически. Неискушенному читателю покажется, что клонирование у тутового шелкопряда заходит в тупик. Но полная гомозиготность партеногенетических самцов и генетическая идентичность их половых клеток позволили получить от них, как предсказывал Астауров еще в 1940 г., генетически идентичных им сыновей особым искусственным

способом размножения — андрогенезом (от греч. *ανδρῶν* — мужчина и *γενεσις* — происхождение).

Этот вид размножения буквально изобретен человеком. Вероятно, только в редчайших случаях, в порядке аномалий андрогенетические особи могут возникать самопроизвольно.

Иногда под действием различных факторов ядро яйцеклетки с уже имеющимся в ней спермием (или спермиями) теряет способность к оплодотворению. Тогда развитие яйца начинается с одним или несколькими мужскими ядрами. В случае полиспермии (осеменения яйцеклетки несколькими сперматозоидами) гаплоидные ядра двух спермиев (с Z и Z хромосомами) сливаются, образуется диплоидное ядро (ZZ) и начинается эмбриональное развитие. Такое размножение без участия ядра яйцеклетки и называют андрогенетическим. Полученные в результате андрогенеза потомки (у тутового шелкопряда — самцы) наследуют только отцовские признаки.

Андрогенез был осуществлен еще в прошлом веке у морских примитивных животных, однако это направление экспериментальной биологии стало успешно развиваться лишь после независимо выполненных в тридцатых годах нашего столетия исследований Х. Хасимото и Б. Л. Астаурова. Действуя высокой температурой на свежесложенные оплодотворенные яйца, эти ученые добились андрогенетического развития тутового шелкопряда. В первых опытах выход андрогенетических гусениц из обработанных яиц составлял лишь доли процента, затем повысился до нескольких процентов, а сейчас разработанным нами способом можно получать 15—20% андрогенетических самцов. Так как обычные самцы тутового шелкопряда гетерозиготны по многим генам и их половые клетки не идентичны, следовательно андрогенетические потомки самца не являются его точными генетическими копиями. Правда, сходство между ними бывает большее, чем у потомства, полученного при половом размножении, потому что андрогенетическое (как, впрочем, и партеногенетическое) развитие фактически представляет собой самооплодотворение.

Совсем другой результат получается при андрогенетическом размножении абсолютно гомозиготных самцов. Ни обмен между парными хромосомами, ни случайное распределение хромосом по гаплоидным клеткам в период редукционного деления не могут повлиять на генотип андрогенетического потомства, и потому

все особи полностью наследуют генотип отца. Само собой очевидно, что при слиянии двух одинаковых мужских ядер при андрогенезе образуется диплоидное ядро, генетическая информация которого полностью совпадает с отцовской.

Полученные нами в 1974 г. андрогенетические потомки от абсолютно гомозиготных партеногенетических самцов были первыми в мире генетическими копиями самцов. В последующие годы мы получили 15 последовательных андрогенетических поколений, ведущих начало от одного абсолютно гомозиготного самца. Вылупление андрогенетических гусениц колебалось по поколениям от 5,2 до 17,6% (среднее — 10,6%), жизнеспособность на постэмбриональных стадиях менялась от 13 до 63,7% (среднее — 41,2%). Гусеницы развивались довольно дружно, завивали, хотя и мелкие, но достаточно выравненные по весу коконы в пределах каждого поколения. Этот опыт свидетельствует о возможности размножения андрогенезом в течение многих поколений генетических копий одного самца.

#### ПОЛУЧЕНИЕ ОБОПОЛОЙ ГОМОЗИГОТНОЙ ЛИНИИ МЕТОДОМ ВОЗВРАТНЫХ СКРЕЩИВАНИЙ

Техника андрогенетического размножения сложна и неприемлема в обширной практике шелководства. Поэтому уже первые андрогенетические копии мы начали превращать в обоеполюю легко размножаемую линию с такой же степенью гомозиготности, как и у андрогенетических клонов, но, как надеялись, более жизнеспособную. Вначале от партеногенетического самца, назовем его исходным, мы заложили андрогенетический клон, полностью повторяющий во всех последующих поколениях генотип исходного родителя. Затем от андрогенетических самцов первого поколения получили два вида потомства: второе андрогенетическое поколение и гибридное потомство  $F_1$ , возникшее при половом размножении. Самки и самцы последнего содержали половину хромосом, ведущих начало от исходного самца и половину от исходной матери. Затем андрогенетических самцов второго поколения еще раз размножили андрогенезом и скрестили с самками «полукровками» (из потомства  $F_1$ ). Потомство от этого скрещивания содержало, в среднем, уже три четверти хромосом исходного самца. Такие возвратные, или поглотительные, скрещивания мы повторили 14 раз.

Так как парные отцовские и материнские хромосомы у самок тутового шел-

копряда не обмениваются участками в период созревания половых клеток (т. е. у них отсутствует кроссинговер), то в процессе возвратных скрещиваний хромосомы материнского происхождения целиком вытесняются отцовскими, и благодаря этому выведенную обоеполюю линию можно считать, без всяких сомнений, абсолютно гомозиготной и точно повторяющей генотип исходного партеногенетического самца. Это безоговорочно относится и к самкам линии, за исключением лишь полового признака, определяемого у самок наличием WZ-хромосом. W-хромосома, полученная потомками от матери, определяет лишь их пол и, к счастью, не несет каких-либо генов и поэтому не влияет на развитие других признаков. В одном из рядовых опытов жизнеспособность гомозиготной обоеполюю линии составила на эмбриональной стадии — 69,4%, а на постэмбриональной — 68,9% против соответствующих показателей 9,8% и 45,5% у андрогенетического клона и 1,8% и 20% у амейотического. Так как все три клона имеют одинаковый генотип, то пониженную жизнеспособность двух последних клонов можно объяснить только угнетающим действием искусственных способов размножения. Полученная половым размножением гомозиготная линия имеет сравнительно высокие показатели жизнеспособности, но, конечно, далеко не достаточные для промышленного шелководства. К тому же коконы от гусениц этой линии все еще мельче коконов, завитых обычными гусеницами. Вес коконов снижается в результате действия «вредных» генов, перешедших в гомозиготное (I/I) состоянии у партеногенетических самцов. Очевидно, этих генов так много, что среди десятков тысяч коконов от партеногенетических самцов мы пока не нашли ни одного, который по весу приблизился бы к норме. Приведенные данные говорят о том, что генетические копии строго гомозиготных самцов на этом этапе исследований нельзя применять в шелководстве из-за низкого урожая коконов.

### ПОЛУЧЕНИЕ ГЕНЕТИЧЕСКИ ИДЕНТИЧНЫХ БЛИЗНЕЦОВ

Итак, радужные надежды на использование в шелководстве клонов, полученных непосредственно от выдающихся индивидуумов, не оправдались из-за депрессии, вызванной искусственным способом размножения и переходом «вредных» генов в гомозиготное состояние у партеногенетических самцов. Поэтому наш следую-

щий шаг в генетических и селекционных работах на тутовом шелкопряде был направлен на получение генетически идентичных близнецов при нормальном половом размножении.

Для получения близнецов тутового шелкопряда достаточно скрестить гомозиготных самок с генетически им неродственными, но также гомозиготными самцами. Поскольку половые клетки каждого родителя одинаковы, то совершенно ясно, что их потомки генетически идентичны между собой, но в то же время гетерозиготны. Эти близнецы не повторяют генотип ни одного из своих родителей и подобны однояйцевым близнецам у человека, за исключением того, что представлены не одним, а двумя полами. Братья и сестры отличаются только по признакам, проявление которых зависит от пола. Следовательно, можно смело сказать, что все близнецы шелкопряда «отштампованы на одной матрице». То сильное впечатление, которое производит огромная масса близнецов шелкопряда, может понять читатель, если мысленно умножит одну известную ему пару однояйцевых близнецов до несметной толпы.

Таким образом, на основе уже имеющихся у нас гомозиготных клонов, мы впервые смогли производить генетически идентичных близнецов в неограниченном количестве.

Особый интерес представляют близнецы, полученные от скрещивания генетически отдаленных гомозиготных родителей. Эти гибриды, в отличие от партеногенетических и андрогенетических клонов, не испытывают угнетения ни от искусственного способа размножения, ни от вредных генов, перешедших в гомозиготное состояние у клонируемых самцов. Такие гибриды проявляют мощный гетерозис, сочетание которого с генетической тождественностью приводит к удивительной, ранее никогда не наблюдавшейся у тутового шелкопряда выравненности потомства не только по качественным, но и по обычно более изменчивым количественным признакам. Например, отклонение от среднего веса шелковой оболочки снижается у близнецов почти в три раза по сравнению с весом колебанием коконов, завитых нормальными гибридами или партеногенетическими самками.

Близнецы, помимо практического значения, представляют большой методический интерес. Использование близнецов во всевозможных опытах (не только селекционных) революционизирует экспериментальную работу на тутовом шелкопряде,

позволяя проводить исследования на небольшом числе особей. Особенно ценны близнецы в феногенетике, изучающей относительную роль генетических и внешних факторов в развитии признаков. Если фенотипические признаки шелкопряда меняются при содержании его в различных условиях, то эти изменения следует относить за счет именно этих условий, поскольку генотипы испытываемых гусениц идентичны и к тому же получены обычным половым размножением.

### ГЕТЕРОЗИСНЫЕ СВОЙСТВА ГЕНЕТИЧЕСКИХ КОПИЙ ПРИ ПЕРЕХОДЕ К ПОЛОВОМУ РАЗМНОЖЕНИЮ

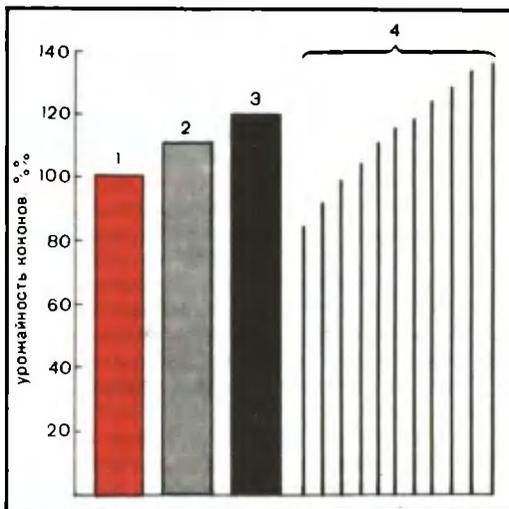
Занимаясь селекционно-генетическими исследованиями, мы давно уже заметили, что непосредственно использовать в шелководстве генетические копии шелкопряда нерентабельно. Однако мы продолжали работу, так как одновременно с этим все четче и четче открывались несколько иные, более заманчивые перспективы использования клонов в практике.

Прежде чем детально разрабатывать намечающиеся новые направления клонирования, необходимо было точно установить, будут ли обладать гибриды, полученные в результате полового размножения генетически идентичных копий самца и самки, теми же ценными качествами, которые присущи потомству от скрещивания нормальных особей шелкопряда.

Вначале мы высказали предположение, а затем экспериментально подтвердили, что партеногенетические особи тутового шелкопряда как амеитического, так и мейотического типа при половом скрещивании их с обычными особями дадут потомство с повышенным уровнем гетерозиса.

Такое предположение основывалось на выдвинутой нами гипотезе становления гетерозиса, суть которой состоит в следующем. Различные генетические и физиологические факторы могут угнетать развитие организма, например рецессивная полулетаель (l) в гомозиготном состоянии (l/l), ставит несущие его организмы на грань гибели. Выживают только те особи, в генотипе которых есть достаточный запас благоприятных генов (условно названных нами генами жизнеспособности), компенсирующих вредное действие полулетаели. Длительный отбор на жизнеспособность линии, несущей полулетаельный ген в гомозиготном состоянии, приводит к образованию мощ-

ного комплекса «генов жизнеспособности», которые действуют удивительно скоординированно и почти полностью гасят вредное действие полулетаели. Если выживших благодаря этому особей скрестить с другими, не несущими полулетаели, то у полученного гибрида полулетаель перейдет в гетерозиготное состояние (+/l) и перестанет оказывать губительное действие, но комплекс доминантных «генов жизнеспособности» все же сохранится, хотя нужды в нем больше не будет. Избыточное количество благоприятных генов, теперь не уравновешен-



Урожайность родительских форм тутового шелкопряда и их гибридов. 1 — усредненное значение для пород ♀ Партеноклон 29 и ♂ Японская 115 (принято за 100%). 2 — гибрид первого поколения ♀ Партеноклон 29 × ♂ Японская 115. 3 и 4 — гибриды первого поколения ♀ Японская 115 × партеногенетический самец из Партеноклона 29: 3 — смесь семей, 4 — отдельные семьи.

ное полулетаелью, вызовет вспышку повышенной жизнедеятельности, что и приведет к более мощному проявлению продуктивности и повышенной жизнестойкости, или, одним словом, к гетерозису<sup>3</sup>.

Обычно амеитический партеногенез начинается почти во всех активированных яичках обычных пород шелкопряда, но вылупляется только 3—10% гусениц, а остальные яички погибают. Отбор на высокий процент партеногенеза приводит так же, как и в случае с полулетаелью, к образованию

<sup>3</sup> Струнников В. А. — Журнал общей биол., 1974, т. 35, № 5, с. 666.

комплекса «генов жизнеспособности», помогающего эмбрионам преодолевать партеногенетическую депрессию. В результате частота вылупления гусениц, как уже отмечалось, повышается до 90—95%. Если таких партеногенетических самок скрестить с обычными самцами, то у полученных гибридов причины, обуславливающие депрессию, полностью исчезнут, но компенсационный комплекс генов останется, что опять-таки приведет к гетерозису.

Действительно, в подтверждение наших взглядов мы получили гибриды с очень мощным гетерозисом, скрестив партеногенетическое потомство с обычной породой шелкопряда.

Так, гибриды ♂ Партеноклон 29 × ♀ Японская 115 во всех десяти опытах превышали по жизнеспособности (оценивалась в процентах выживаемости гусениц) самый гетерозисный в шелководстве гибрид ♀ Японская 115 × ♂ Китайская 108 в среднем на 6,5%. Еще более мощный гетерозис проявили гибриды от скрещивания гомозиготных партеногенетических самцов, происходящих от Партеноклона 29, с самками Японской 115. Урожайность коконов (в данном случае представляющая собой проявление жизнеспособности гусениц), завитых этими гибридами была на 7% выше урожайности гетерозисного гибрида, о котором только что шла речь. Причиной этого является образование у самцов еще более мощного, чем у самок, комплекса «генов жизнеспособности», поскольку им необходимо уравновешивать не только партеногенетическую депрессию, но и проявившиеся у них гомозиготные полуплетали.

Следует заметить, что до сих пор мы оперировали усредненными по нескольким семьям показателями урожая, но сами семьи значительно варьируют по силе гетерозиса: урожайность некоторых семей на 40% превышает урожайность родителей.

#### АСПЕКТЫ ПРАКТИЧЕСКОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КЛОНОВ В ШЕЛКОВОДСТВЕ

В настоящее время уже можно наметить новые пути практического применения клонов. Суть этих планов состоит в том, что в производстве следует использовать не клоны отдельных особей, как бы продуктивны они ни были, а гибриды, полученные от скрещивания разнополых гомозиготных клонов.

Для этого можно вывести несколько строго гомозиготных обоеполюх линий, каждая из которых вела бы начало от гомозиготного партеногенетического самца. В этом случае гибриды первого поколения, полученные при скрещивании двух генетически отличающихся линий, полностью состояли бы (как это показано в специальной главе) из генетически идентичных близнецов. Их фенотипическая выравненность по всем признакам была бы для практики крайне ценным свойством. Однако эта же идентичность генотипов огромной массы индивидуумов может оказаться и существенным недостатком и вот почему. Известно, что одинаковые по генотипу растения при массовом выращивании часто становятся жертвами болезнетворных микроорганизмов, однажды подбравших ключ к данному генотипу растений. Такая опасность может оказаться реальной и при разведении генетических близнецов тутового шелкопряда. Возможно, частая гибридизация особей из разных популяций предотвратит опасность, однако ответ на этот вопрос могут дать лишь специальные опыты. Кроме того, выбор для практики наиболее выдающейся гибридной комбинации не прост, так как сначала необходимо получить большое количество гомозиготных линий и лишь затем отобрать из них лучшие для гибридизации, а это технически довольно сложно.

На первое время рациональной во многих отношениях и технически более доступной кажется следующая схема. Вначале нужно получить отдельные гибридные кладки от скрещивания склонных к партеногенезу самок одной породы со строго гомозиготными партеногенетическими самцами другой. Гибридных гусениц необходимо выкармливать раздельно по семьям в разных условиях и по урожаю коконов с одинакового количества гусениц, по качеству коконов и получаемого из них шелка выделить самую лучшую семью. Мать этой семьи можно клонировать амейотическим партеногенезом, а отца — андрогенезом с последующим переводом в обоеполюю линию посредством возвратных скрещиваний. Размножив затем до нужного количества особей разнополых клонов и скрестив их между собой, можно получить огромное число семей, которые по своей продуктивности будут подобны исходной гибридной семье.

Скрещивание одинакового генотипа гетерозиготных партеногенетических самок с гомозиготными самцами обеспечит гене-

тическую неоднородность промышленных гибридов. Однако она будет значительно меньше, чем у обычных гибридов, но, вероятно, достаточно, чтобы предотвратить вспышки инфекционных заболеваний.

Если бы генетические копии тутового шелкопряда по своим хозяйственным качествам были бы пригодны для прямого использования в практике, то все равно даже у него немислимо получить миллиарды генетических копий любым из разработанных способов искусственного размножения, как бы они ни были усовершенствованы в будущем. Зато использование клонированных самцов и самок в качестве исходных родительских пар для получения гибридов уменьшает в 500—600 раз количество необходимых для этого генетических копий, а следовательно и объем работы по их получению. Такая зависимость очевидна, поскольку каждая клонированная самка при скрещивании с клонированным самцом на последнем этапе селекционной работы производит естественным способом 500—600 потомков. Благодаря столь сильному сокращению числа особей, получаемых искусственным размножением, применение клонов в промышленных целях становится вполне реальным.

Использование в шелководстве гибридов партеногенетических самок и самцов с повышенным гетерозисом существенно облегчает отбор для репродукции семей с этим свойством.

С другой стороны, вовлечение амеютических партеногенетических клонов в селекционный процесс сопряжено с большими трудностями. Дело в том, что генетическое постоянство партеноклонов — весьма ценное свойство для промышленного шелководства, но это же постоянство значительно тормозит селекционную работу, так как исключает необходимую для отбора генетическую изменчивость. Между тем получить партеноклон, сочетающий одновременно все хорошие признаки, крайне трудно или, точнее, даже невозможно — каждый партеноклон нуждается в определенной корректировке. Скрещивание самок партеноклонов с самцами нормального шелкопряда хотя и дает гетерогенное потомство, однако у этого потомства значительно снижается способность к партеногенезу, закрепленная многими годами селекции.

После того как был открыт метод индуцирования мейотического партеногенеза, эти трудности удалось кардинально устранить, применив два разработанных нами способа.

Первый из них состоит в том, что из женского амеютического партеноклона методом мейотического партеногенеза получают гомозиготных самцов, потенциально сохраняющих генетическую склонность к амеютическому партеногенезу. Эти самцы скрещиваются с самками исходного или другого клона, что приводит к возникновению гетерогенного потомства (представленного в равной степени и самцами и самками), среди которого выбирают нужных самок и закрепляют амеютическим партеногенезом их генотип.

Второй способ основан на том, что неоплодотворенные яйца специально выведенных тетраплоидов (шелкопрядов с удвоенным против нормы числом хромосом —  $4n$ ) после активации к амеютическому партеногенезу претерпевают оба деления созревания. Образовавшиеся в результате диплоидные ядра развиваются вплоть до вылупления гусениц. Вполне понятно, что распределение признаков у возникших диплоидных потомков (это всегда самки) происходит по закону Менделя. Таким образом, достаточно перевести диплоидный амеютический партеноклон в тетраплоидную форму, а затем вернуть к диплоидному состоянию, как новые диплоидные особи проявят необходимую генетическую изменчивость. Остается лишь выбрать нужные формы среди веера возникших новых генотипов. Оба описанных способа получения генетической изменчивости в партеноклонах широко используются в настоящее время в селекционно-генетических работах.

Предложенная нами схема племенной работы с тутовым шелкопрядом уже испытывается в производственных условиях. Но, как и предполагалось, ее внедрение требует новых усилий, главным образом организационного характера. Однако все это должно с лихвой окупиться большими экономическими выгодами, которые могут составить десятки миллионов рублей в год.

Помимо повторения мощного гетерозиса исходной семьи в бесчисленных семьях ряда поколений, полученных от скрещивания клонов двух родителей, предлагаемая схема одновременно обеспечивает высокую и стабильную шелковую продуктивность у гибридов. Можно будет полностью исключить трудоемкую и дорогостоящую племенную работу в научно-исследовательских учреждениях и на племенных шелководческих станциях, так как исходные для гибридизации материнские и отцовские клоны имеют неизменный

генотип и, следовательно, не нуждаются в селекции, поддерживающей их на определенном уровне продуктивности. Наличие в партеноклонах одних самок также крайне полезно для производства, так как исключает трудоемкое отделение самок от самцов с целью межпородного скрещивания. Заметим, что в шелководческих хозяйствах для этой цели используют специальные механизмы, однако полностью отделить самок от самцов все равно не удается.

Описанные в статье исследования показывают всю сложность клонирования даже у такого удобного экспериментального объекта, как тутовый шелкопряд. Решение этой же проблемы на других сельскохозяйственных животных в силу их биологических особенностей требует нескольких методических и технических подходов, описание которых выходит за рамки данной статьи. Однако основные принципы клонирования остаются общими для всех животных, и поэтому результаты селекционно-генетических работ на тутовом шелкопряде, как надеется автор, могут оказаться полезными для исследователей, решающих сходные задачи на других объектах.

У читателя может возникнуть вопрос: а возможно ли получить копии человека? После первых удачных опытов клонирования лабораторных животных такой вопрос неоднократно становился предметом горячих дискуссий.

Несомненно, что с цитогенетической точки зрения нет препятствий для «копирования» людей, поскольку нет принципиальных различий в биологии размножения человека и животных.

Но так ли уж необходимо клонирование человека? Эта проблема исключительно сложна и в этическом, и в моральном, и в юридическом аспектах и не находит себе оправдания точно так же, как не нашли его прежние попытки улучшения рода человеческого селекционными методами. Объем статьи не позволяет мне подробно рассмотреть вопросы евгеники, однако все же необходимо разочаровать сторонников клонирования человека: чисто теоретически, безусловно, можно было бы получить внешне неотличимые копии нынешних Венер и Аполлонов, ведь в развитии многих качественных признаков доминирующую роль играет генотип. Но в человеке ценны не только его внешние качества (а пожалуй, даже не столько), его украшает богатство духовного мира, интеллект. А вот целиком передать эти свойства от человеческого индивидуума

его копиям представляется теоретически невозможным. Дело в том, что в отличие от качественных признаков интеллект определяется генотипом лишь в какой-то мере, значительное влияние на развитие духовного мира оказывают внешние условия, важнейшее значение среди которых имеют социальные факторы. Ведь появление гениальных людей обязано исключительно счастливому и редкому сочетанию лучших генетических и огромной совокупности внешних факторов. И если генетические основы повторяются в копиях, то уникальные условия развития человеческого организма, а личности — тем более, навряд ли можно повторить, поскольку наукой еще не раскрыты основы и механизмы влияния условий на проявление генетически обусловленных задатков.

Понимая сложность клонирования человеческого индивидуума во всех ее аспектах, самым лучшим будет оставить ее писателям-фантастам, а современные достижения генетико-селекционных исследований направить на получение высокопродуктивных сельскохозяйственных животных, клонирование которых, несомненно, принесет богатые плоды человечеству.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Терская Е. Р., Струнников В. А.** ИСКУССТВЕННЫЙ МЕИОТИЧЕСКИЙ ПАРТЕНОГЕНЕЗ У ТУОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. — Генетика, 1975, т. XI, № 3.

**Астауров Б. Л.** ОПЫТЫ ПО ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ АНДРОГЕНЕЗУ И ГИНОГЕНЕЗУ У ТУОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. — Биологический журнал, 1937, т. 6, № 1.

**Струнников В. А.** АНДРОГЕНЕЗ И ОТНОСИТЕЛЬНЫЙ ЭФФЕКТ РАДИОЦИОННОГО ПОВРЕЖДЕНИЯ ЯДРА И ЦИТОПЛАЗМЫ ПОЛОВЫХ КЛЕТОК ТУОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. — Цитология, 1960, т. 2, № 5.

**Струнников В. А.** ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ИСКУССТВЕННОЙ РЕГУЛЯЦИИ ПОЛА У ЖИВОТНЫХ В СССР. — Онтогенез, 1978, т. 9, № 1.

**Струнников В. А., Степанова Е. Л., Терская Е. Р., Рубан В. И.** ДЕПОЛИПЛОИДИЗАЦИЯ ТЕТРАПЛОИДОВ ТУОВОГО ШЕЛКОПРЯДА. — Генетика, 1980, т. XVI, № 6.

# ПРИРОДА

**Опыт голодания в течение 31 дня.** В лаборатории института Карнеги в Вашингтоне для изучения вопросов, связанных с питанием, некто Леванзин 15 мая закончил опытное голодание, которое он выдержал в течение 31 дня. За все это время он принимал ежедневно только по 900 куб. см. дистиллированной воды. Каждый день тщательно измеряли: количество поглощенного кислорода, полученной углекислоты, водяных паров и выработанной теплоты; непрерывно отмечалась температура в прямой кишке, частота пульса и дыхания; записывалось давление крови в артериях, легочная вентиляция и т. д. Производились равным образом и психологические эксперименты. Для изучения фотографических снимков, сделанных во время опыта, и рентгенографических, произведенных в конце его, для производства химических анализов и обработки других собранных данных потребуется много месяцев работы.

★

**Жертвы авиации.** С 1908 года, года первых больших полетов, и до 21-го только что минувшего сентября день, когда погиб знаменитый английский пилот Астлей, в списке жертв авиации насчитывалось 202 человека, в среднем по 50 человек на год. Первой жертвой сделался американский лейтенант Селфридж, пассажир Орвилла Райта (17-го сент. 1908 г.). Вот как представлены по национальностям, погибшие 202 человека: Франция: 57, из них 31 штатский, 26 офицеров (2 авиаторши, 5 пассажиров). Германия: 42, из них 28 штатских и 14 офицеров (5 пассажиров).

Америка: 30, из них 27 штатских и 3 офицера (1 авиаторша, 3 пассажира).

Англия: 22, из них 15 штатских и 7 офицеров (1 авиаторша, 3 пассажира).

Италия: 15, из них 9 штатских и 6 офицеров (1 пассажир).

Россия: 13, из них 1 штатский и 4 офицера (1 авиаторша, 3 пассажира).

Бельгия: 5 штатских (1 пассажир).

Испания: 4, из них 3 штатских и 1 офицер (2 пассажира).

Австрия: 3 штатских (1 пассажир).

Швейцария: 3 штатских (1 пассажир).

Румыния: 3, из них 2 штатских и 1 офицер.

Греция, Голландия, Черногория, Перу, Бразилия и Австралия: каждая по одной жертве пилота-штатского.

★

**Кровь рентгенологов.** X-лучи оказывают такое большое влияние на человеческий организм, что работающие с ними, не обращая достаточного внимания на необходимые меры предосторожности, получают тяжелые формы острого и хронического воспаления кожи и даже гангрену (омертвление);

а многие за свою неосторожность или небрежность заплатили жизнью. В настоящее время X-лучи употребляются в медицине в качестве как диагностического средства, так и терапевтического.

X-лучи производят глубокое изменение в составе крови, действуя непосредственно на кровотворительные органы (селезенку, костный мозг и лимфатическую ткань). Так, у животных, подвергнутых действию рентгеновских лучей, констатируют сначала сильный лейкоцитоз ...при дальнейшем же действии лучей количество лейкоцитов мало-помалу уменьшается, и, наконец, они разрушаются...

Поэтому лицам, имеющим с ними дело, необходимо настойчиво рекомендовать — прикрывать во время своих работ не только руки, но и тело.

★

**Лечение радием.** После открытия гелия в 1895 году лорд Рэлей нашел, что в газах, выходящих из источников King's Well, на 10 000 частей по объему приходится 12 частей гелия. Гелий, подобно аргону, совершенно инертный газ, не образует химических соединений, а поэтому сам по себе не может иметь какого-либо терапевтического действия.

Причина терапевтического действия минеральных вод неизвестна. Искусственные смеси солей, находящиеся в минеральных водах, не производят того же самого эффекта, как воды, взятые из источников.

В 1903 году Уильям Рамзай вместе с Фредериком Содди нашли, что гелий — продукт разложения радия. В этом же году проф. Струтт извещал правление вод Bathe, что в железистом отложении вод из горячего источника заметны следы радия, заметны они также и в самой воде.

Радий при своем разложении выделяет гелий, оставая эманацию, которая по последним исследованиям Рамзая и Грея представляет все свойства химического элемента и которую указанными исследователями предложено назвать нитонем.

Возможно, что когда пациент берет ванну, кожа поглощает некоторое количество нитона; часть его, без сомнения, входит в легкие, так как от горячей воды постоянно отделяется нитон, который и вдыхается пациентом. Вопрос теперь в том, как увеличить дозу нитона, входящего через кожу, и Рамзай предлагает следующее: нитон, постоянно отделяя электроны, сам становится заряженным положительно. Если теперь тело пациента в ванне соединить с отрицательным полюсом батареи, дающей 100 вольт напряжения, а другой электрод спустить в воду, не прикасаясь к телу пациента, то нитон, как положительно заряженный, будет притягиваться телом пациента, заряженного отрицательно. Таким путем можно сконцентрировать хорошую дозу нитона. Последний, выходя через легкие, будет производить свое терапевтическое действие на горловые болезни, а также и на легкие.

## Новая пещера на Урале с палеолитическими росписями

**А. П. Окладников, В. Т. Петрин**



Алексей Павлович Окладников (1908—1981), академик, был директором Института истории, филологии и философии СО АН СССР. С 1926 г. проводил археологические исследования в Сибири, на Дальнем Востоке, в Средней Азии и Монголии. Открыл останки неандертальца в гроте Ташик-Таш (Узбекистан) и наскальные изображения на Лене, Ангаре, в Приамурье; выявил многочисленные культуры палеолита, неолита, бронзы в Сибири и на Дальнем Востоке.



Валерий Трофимович Петрин, младший научный сотрудник отдела археологии и этнографии Института истории, филологии и философии СО АН СССР. Занимается проблемами каменного века и наскальной живописи Урала.

Находки наскальных и пещерных рисунков в последние десятилетия обогатили наши представления о культуре, быте, религиозных представлениях древнего человека. Широко известные палеолитические изображения Каповой пещеры на Южном Урале, открытые А. В. Рюминым и изученные О. Н. Бадером, вызвали широкий резонанс среди научной общественности<sup>1</sup>. За тысячи километров на восток от Франции и Италии, признанного центра палеолитического искусства, были обнаружены

изображения животных ледникового периода, по силе реализма и художественного воздействия на зрителя не уступающие лучшим образцам западноевропейского искусства. Они — наряду с наскальными изображениями Шишкино<sup>2</sup>, пещерой Хойт-Цэнкер-Агуй<sup>3</sup> — заставляют исследователей по-новому взглянуть на проблему происхождения искусства и пути распространения его по Старому Свету. А в 1980 г.,

<sup>1</sup> Рюмин А. В. — Вокруг света, 1960, № 4, с. 43; Бадер О. Н. Капова пещера. Палеолитическая живопись М. Наука, 1965.

<sup>2</sup> Окладников А. П. Центральное-азиатский очаг первобытного искусства. Новосибирск: Наука, 1972.

<sup>3</sup> Окладников А. П. — Сов. археол., 1949, № XI, с. 155.

через 20 с лишним лет после открытия Каповой пещеры, на Урале были обнаружены рисунки древнекаменного века в еще одной пещере — Игнatieвской<sup>4</sup>.

Игнatieвская пещера (по-башкирски Ямазы-Таш) известна науке уже давно, с конца прошлого века, и неоднократно обследовалась<sup>5</sup>.

Однако рисунки в пещере до сих пор обнаружены не были. Этому способствовал ряд обстоятельств: пещеру издавна посещает большое количество людей, отчего ее стены сильно закопчены и покрыты надписями. Кроме того, исследователи, видимо, и не ставили перед собой задачи найти рисунки.

Игнatieвская пещера находится в Катав-Ивановском районе Челябинской области на правом берегу р. Сим. Долина реки имеет каньонообразный характер, вертикальные утесы взметнулись на высоту 50—70 м. В одном из таких скальных обнажений в ее южной оконечности и находится грандиозный вход размером 12×12 м, обращенный на юго-восток на высоте 10—13 м над уровнем воды.

Пещера представляет собой карстовое образование, разработанное вдоль взаимопересекающихся трещин. В местах их пересечения образовались обширные гроты. Общая протяженность пещеры 540 м. В продольном сечении входная часть пещеры имеет воронкообразную форму. Обширный первый грот с глинистыми отложениями на полу постепенно суживается, а затем разветвляется. Вправо уходит узкий щелеобразный коридор-лаз, который потом соединяется с основным. В этом коридоре можно продвигаться зачастую лишь боком. Потолок центрального хода понижается до 1,3—1,4 м. В этом месте, в 60 м от входа, исчезают последние отблески дневного света. Сразу же после понижения потолка начинается тоннелеобразный ход, который простирается с юго-востока на северо-запад. В юго-восточном направлении коридор уменьшается и заканчивается тупиком. В северо-западном — еще через 60 м — коридор приводит в просторный зал с глыбами известняка на глинистом полу, с так называемой кольцевкой в северной его части, которую зани-

мает останец размером 14×6 м, окруженный коридором.

Из этого зала параллельно основному коридору начинается широкий ход на юго-запад. На одной из его стен, на высоте 4,7 м над уровнем пола, начинается узкий Г-образный лаз, в который можно проникнуть лишь сильно согнувшись. Он ведет на второй этаж пещеры с одним залом, наполовину заполненным глиняной осыпью. Здесь сыро, стены и потолок сочатся водой; слышны звуки мерно падающих капель.

В этих-то местах и найдено 12 групп рисунков: десять в большом зале, или зале с кольцевкой, одна — в узком Г-образном лазе и еще одна группа, самая крупная, в дальнем зале.

Рисунки в зале с кольцевкой разнообразны. Некоторые из них изображают, по-видимому, мамонта и лошадь. Но большинство представляют условные фигуры в виде вертикальных линий или пятен краски. Каждая группа нуждается в расчистке, кропотливой работе реставраторов, которые смыли бы слой грязи и современных надписей.

Наиболее показательной композицией является группа, находящаяся на западной стороне останца. Здесь красной охрой изображено животное, обращенное головой вправо. Общие пропорции, характерный провал спины и отвислый живот свидетельствуют о том, что это лошадь. Последние две детали аналогичны французским изображениям этого животного и подходят на костяную скульптурку со стоянки Сунгирь.

Под изображением лошади проходят вертикальные линии шириною чуть больше 1 см. 8 линий слева сохранились фрагментарно, 7 линий справа — лучше, они слегка изогнуты и имеют наклон влево. От некоторых рисунков этой композиции остались лишь отдельные линии и пятна. Одно изображение полностью закрыто натеком, и лишь в нескольких местах, где натекая корочка отстала, видна красная охра.

В том же зале имеются еще две группы рисунков с вертикальными полосами, представлявшие, по-видимому, тот же сюжет.

Лучше других сохранилась группа, расположенная, как и предыдущая, на северной стене останца, в нише. Ее рисунки наиболее яркие. Именно потому эта группа и была найдена первой. На левой плоскости выявлено вертикальное изображение змеи. Оно сохранилось не полностью, но средняя часть рисунка хорошо реконструируется за счет оставшихся мел-

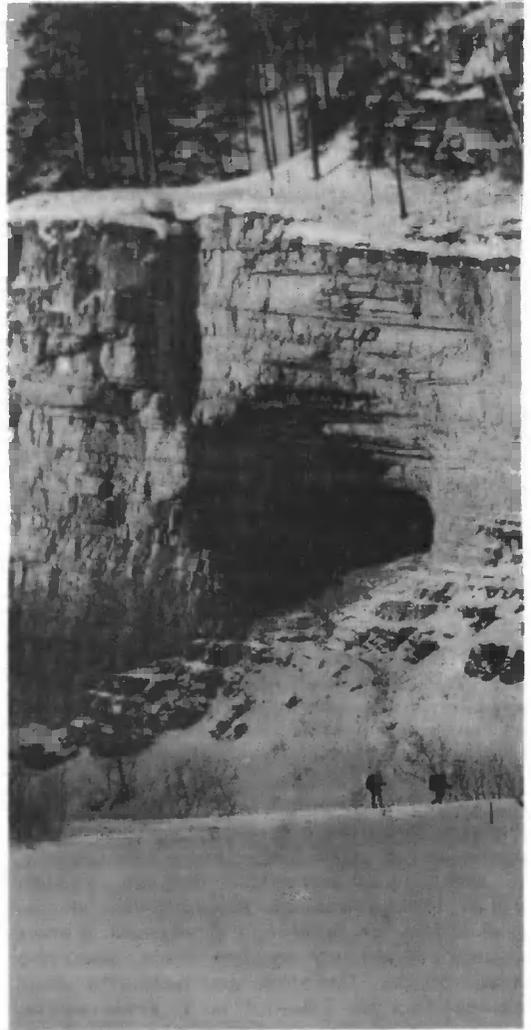
<sup>4</sup> Название дано по имени старца Игнатия — пустычника, жившего в пещере в первой половине XIX в.

<sup>5</sup> Бадер О. Н. Следы палеолита в пещере Ямазы-Таш (Игнatieвской) на Южном Урале. — В сб.: Первообитная археология — поиски, находки. Киев: Наукова думка, 1980.

ких пятен краски. На правой плоскости видны расположенные друг над другом пятна.

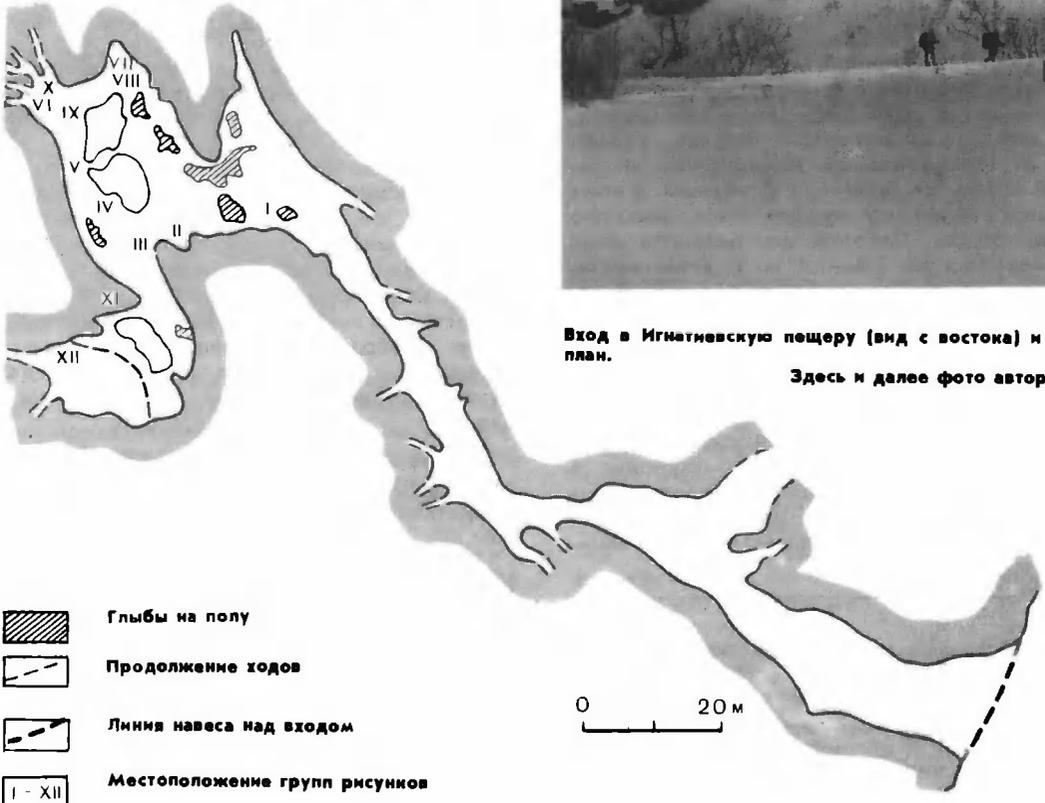
В расположении всех рисунков, связанных с «кольцевым» залом, есть нечто общее. Во-первых, все их группы обособлены друг от друга, что косвенно предполагает композиционное единство внутри каждой из них. Во-вторых, плоскости с изображениями легко доступны, имеют хороший обзор. В-третьих, рисунки находятся в одном высотном поясе: 0,1—1,6 м над полом. В-четвертых, изображения нанесены красной охрой, более или менее яркой. И, в-пятых, их объединяет условность рисунков, небольшое количество «реалистичных» изображений.

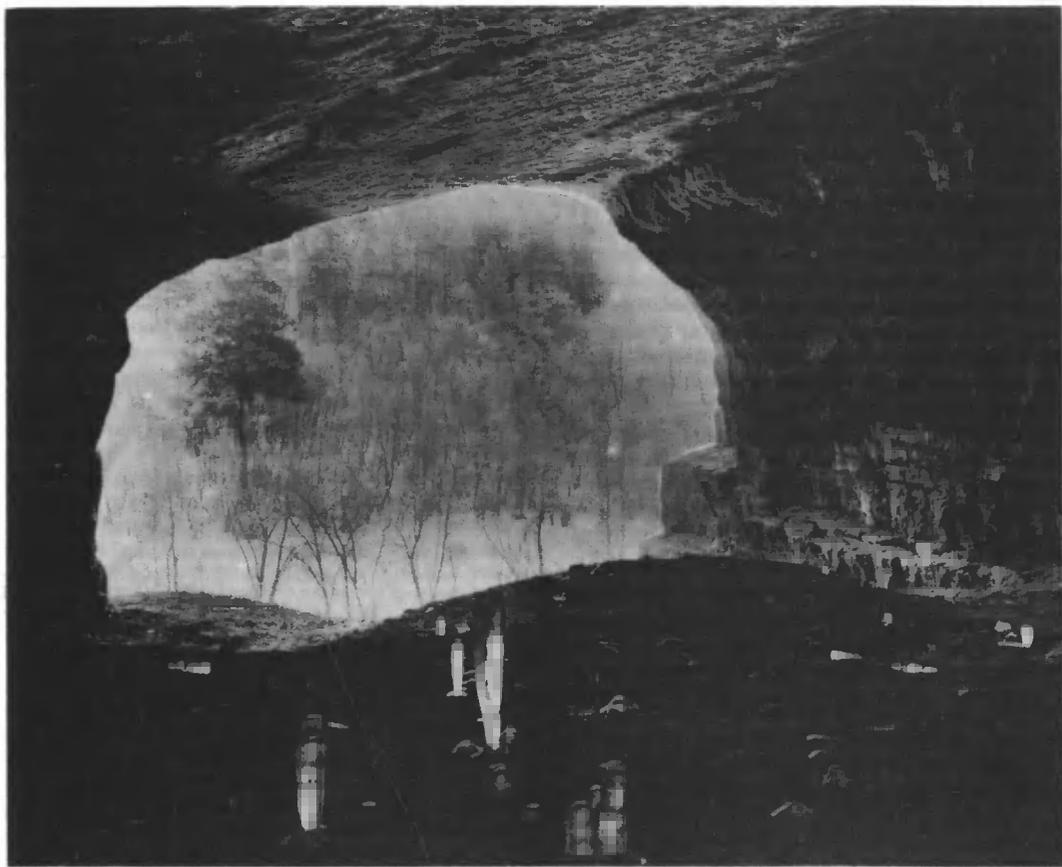
Рисунки дальнего зала расположены на потолке. Многочисленные красные линии и пятна покрыты слоем копоти, а в некоторых случаях кальцитовую корочкой. Здесь удалось «опознать» две фигуры, одна из которых находится в южной части расписанной плоскости. Рисунок нанесен контуром и изображает приземистое массивное животное с удлинёнными пропорциями тела. Голова с двумя рогами один над другим, напоминающими рога носорога, передана схематично, что нельзя объяс-



Вход в Игнатиевскую пещеру (вид с востока) и ее план.

Здесь и далее фото авторов.





Вход в Игнatieвскую пещеру (вид изнутри).

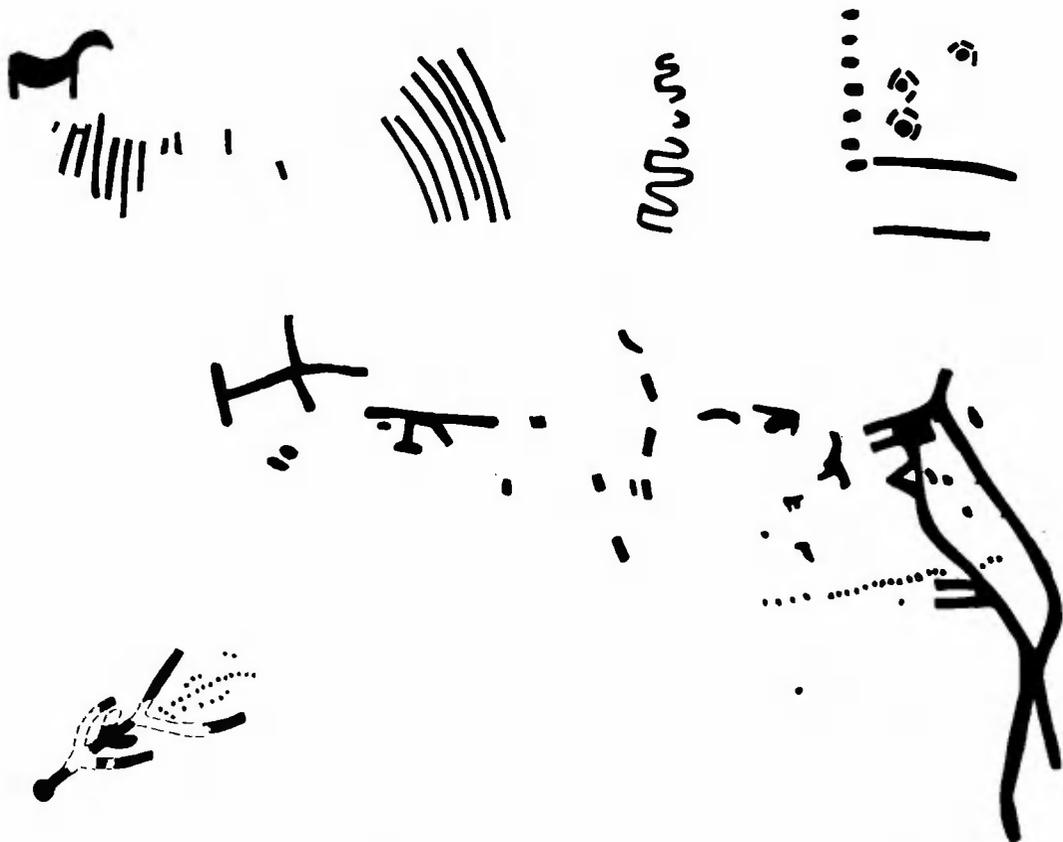
нить плохой сохранностью: границы краски и фона вполне отчетливы, хотя пунктирные линии рисунка более бледного цвета. У фигуры четыре ноги: перед задними ногами, под брюхом, прорисован треугольник, который можно принять за признак пола. Хвост поднят. В пределах контура, на боку животного, два круглых и одно овальное пятно. Возле — опускающиеся вниз мелкие пятна. Скорее всего, они принадлежат к этой композиции, поскольку верхняя граница пятен увязывается с линией спины и не выходит за ее пределы.

Вторая фигура — изображение антропоморфного существа. Этот рисунок сохранился вполне отчетливо: голова, туловище и руки в виде слегка изогнутых прямых линий. Утолщения, примыкающие к

туловищу, означают женскую грудь. Ноги широко расставлены и между ними находятся одна прямая и две боковые полосы из пятен краски.

Фигура животного и антропоморфное существо, возможно, находятся в композиционном единстве. Они расположены на расстоянии 2,24 м друг от друга, но, если продолжить линию пятен, выходящих из груди животного, то она совпадает с линией пятен антропоморфной фигуры.

В Игнatieвской пещере неподалеку от рисунков есть место, вероятно, свидетельствующее о том времени, когда пещера посещалась палеолитическим человеком. Выступающие края плоскостей в этом месте, а кое-где и целые уступы сбиты намеренными сколами. Систематический порядок их нанесения очевиден: хорошо выражены выемки от ударных бугорков, особенно там, где получали крупные сколы размерами до 0,1—0,15 м. Удары наносились и для снятия со скалы пластинчатых отщепов. Один из выступов размером около 0,3 и 0,4 м напоминает крупный нуклеус



Вверху, слева: композиция с изображением лошади и вертикальными линиями. Характерный провал спины и отвислый живот аналогичны французским палеолитическим изображениям этого животного и напоминают костяную скульптуру со стоянки Сунгирь. Этот и следующий рисунки расположены в «кольцевом» зале Игнатиевской пещеры.

Вверху, справа: вертикальное изображение змеи и остатки живописной композиции в виде линий и пятен краски.

Внизу: композиция дальнего зала Игнатиевской пещеры с двумя фигурами: антропоморфным существом (слева) с головой, туловищем, руками в виде изогнутых линий и широко расставленными ногами и фигурой массивного животного с удлиненными пропорциями тела и головой с двумя расположенными друг над другом рогами, напоминающими рога носорога.

для получения отщепов. О древности сколов говорит кальцитовая корочка, перекрывающая следы скалывания. Надо полагать, что здесь отбивались крупные отщепы и куски, которые в последующем могли служить материалом для изготовления нуклеусов и даже пластин.

О том, что это делалось не случайно, в один прием, а многократно, свидетельствует количество сбитых участков. В то же время это не мастерская по добыче сырья, поскольку исходный материал — девонский известняк, хотя и окремненный, — вряд ли мог иметь широкое применение в хозяйстве. Существенное значение для характеристики пещеры как археологического памятника, где протекала деятельность древнего человека, имеет и еще одно обстоятельство.

П. С. Паллас, С. И. Руденко, О. Н. Бадер обнаружили в пещере кости, по крайней мере, от 5—6 скелетов людей. Часть костей, скорее всего, относится к более позднему времени. Но фрагмент человеческого черепа из раскопок О. Н. Бадера в 1961 г. заслуживает пристального внимания. Исследуя его, Г. Ф. Дебец пришел к заключению, что по своей массивности и рельефу он близок к черепам верхнего палеолита<sup>6</sup>. Свердловскими спелеологами

<sup>6</sup> Там же, с. 89.

также были найдены в одном из ходов человеческие кости, покрытые кальцитовым натеком, которые, следовательно, также могут оказаться палеолитическими.

Итак, к самой известной в литературе пещере с древними росписями прибавилась вторая. Но и ею дело не ограничивается. Чтобы лучше представить себе степень распространенности палеолитической живописи, нужно упомянуть еще одну, хотя и не столь грандиозную, Бурановскую пещеру, росписи которой давно уже были открыты и опубликованы известным специалистом в этой области С. Н. Бибиковым<sup>7</sup>. Они моложе росписей Каповой пещеры примерно на тысячу лет. Правда, бурановские росписи в свое время были как бы отложены в копилку памяти, а сейчас в связи с открытием древних рисунков в Игнatieвской пещере они приобрели огромное значение как свидетельство более широкой, чем думали прежде, протяженности пещерного искусства на Урале, что, соответственно, должно привести к широкому поиску его за пределами Урала — в Сибири, Средней Азии, Монголии.

Но предварительно уже можно высказать несколько общих соображений о времени, стилистических чертах и семантике всех этих рисунков, т. е. их смысле и идейном содержании. Для этого необходимо сопоставить игнатиевские и бурановские росписи с росписями Каповой пещеры. Это две самостоятельные по стилю группы памятников. В Каповой пещере господствуют изображения реалистического характера, где ясно видны формы строго определенных животных: мамонта, дикой лошади, носорога, — выполненные цветовыми пятнами со сплошным или почти сплошным заполнением площади рисунка цветовой массой. В Игнатиевской пещере картина обратная. Рисунки выполнены не в силуэтной, а в линейной технике, т. е. полосами краски или просто отдельными пятнами; кроме того, там есть антропоморфное изображение. Для стиля этих рисунков характерны условность и схематизм. Рисунки Каповой пещеры, близкие к европейским рисункам мадленского типа, были сделаны около 15—12 тыс. лет тому назад. Рисунки Игнатиевской пещеры вкуче с антропоморфным изображением близки рисункам Бурановской, где также есть пятна-точки. Следовательно, они моложе рисунков Каповой пещеры, по крайней мере, на тысячу лет, а может быть, и больше. Таким образом,

вместе с Бурановской пещерой выявляется еще один хронокультурный пласт в пещерном искусстве Урала.

Можно заметить существенный сдвиг и в его идейном содержании, выразившийся в расширении форм и сюжетов этого искусства. Так, например, «магическое» число семь здесь фиксируется дважды: семь пятен и семь изгибов тела у змеи. Вертикальные полосы вполне могут быть связаны с охотничьей магией (засеки, загоны), а изображение женщины — с магией плодородия. Отходящие от этого рисунка линии — полосы пятен могут символизировать функцию плодородия — деторождения. Этнография свидетельствует, в частности, об особом значении менструальных выделений: в глазах древнего человека они были священными, а потому опасными. О расширении круга представлений мастеров игнатиевской живописи можно судить и по наличию образа змеи. Змея и женщина, как известно, в древней мифологии определены связаны между собой. Комплексы изображений в гроте с кольцевой и на втором этаже несли различную семантическую нагрузку. В первом комплексе главными были представления, связанные, по-видимому, с охотничьей магией, с культом зверя. На втором же этаже господствовали рисунки, связанные с магией плодородия. Нельзя пройти и мимо того факта, что внутри Игнатиевской пещеры проходила особого рода обработка каменного сырья, а некоторые ее места использовались и в погребальных целях, и для других ритуальных действий. Сказанного достаточно, чтобы оценить важность новых открытий в пещерах Урала для истории первобытного человека. Эти пещеры с их уникальными росписями являются всенародным достоянием. И поэтому заслуживают дальнейшего изучения и специальной охраны.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Бадер О. Н. КАПОВА ПЕЩЕРА.** Палеолитическая живопись. М.: Наука, 1965.

**Окладников А. П. ЦЕНТРАЛЬНО-АЗИАТСКИЙ ОЧАГ ПЕРВОБЫТНОГО ИСКУССТВА.** Новосибирск: Наука, 1972.

**ПЕРВОБЫТНАЯ АРХЕОЛОГИЯ — ПОИСКИ, НАХОДКИ.** Киев: Наукова Думка, 1980.

<sup>7</sup> Бибииков С. Н. — Сов. археол., 1950, № XII, с. 66.

## Физико-химия рака

Н. М. Эмануэль



Николай Маркович Эмануэль, академик, академик-секретарь Отделения общей и технической химии АН СССР. Заведует сектором кинетики химических и биологических процессов Института химической физики АН СССР. Работает в области изучения химических и биологических процессов: окисления углеводородов и других органических веществ, стабилизации полимеров, кинетики развития опухолевых процессов, лучевого поражения и действия радиопротекторов, старения организмов и действия геропротекторов на молекулярном уровне. Член ряда иностранных академий наук. Лауреат Ленинской премии. Герой Социалистического Труда.

Характерной чертой современного естествознания является глубокое проникновение математики, физики, химии в ранее нетрадиционные для этих наук области человеческой практики, и в первую очередь, огромное влияние, оказанное ими на такую важную фундаментальную науку, как биология. Биология наших дней с новых позиций рассматривает сложнейшие механизмы явлений, свойственных живым организмам в норме и патологии, что позволяет с успехом решать вопросы профилактики, диагностики и лечения многих заболеваний.

За последние два десятилетия эти положения стали настолько очевидными, что сейчас в ряде стран мира ученые различных специальностей — математики, физики, химики, биологи и врачи — работают совместно над решением актуальных биологических и медицинских проблем.

Кинетика как наука о развитии во времени различных процессов (физических, химических, биологических) приобретает в решении этих задач особо важное значение.

В биологии кинетические исследования позволяют количественно описывать развитие биологических процессов, влияние на них различных факторов, разрабатывать объективные критерии для оценки эффективности воздействий, стимулирующих

положительные и тормозящие нежелательные изменения. Математическое описание кинетических закономерностей дает различные параметры, которые могут быть использованы для моделирования исследуемых процессов и их анализа средствами современной вычислительной техники.

Рак, несомненно, относится к числу проблем, которые привлекают пристальное внимание человечества, и каждое новое достижение в этой области является существенным шагом на пути к решению этой проблемы. Опухолевый процесс закономерно развивается во времени, поэтому кинетические исследования становятся одним из главных направлений работ в экспериментальной и клинической онкологии. При этом имеется в виду как создание формально-математического аппарата и моделей опухолевого роста, так и кинетический анализ всей совокупности данных о закономерностях развития опухолевых процессов и механизмах различных терапевтических воздействий.

В 1957 г. в секторе кинетики химических и биологических процессов Института химической физики АН СССР (ИХФ АН СССР) были начаты систематические исследования кинетических закономерностей и механизмов злокачественного роста,

а также поиски рациональных принципов подхода к созданию эффективных противоопухолевых препаратов. Полученные результаты приобрели не только теоретическое, но и практическое значение, поскольку некоторые из предложенных на этой основе химиотерапевтических препаратов нашли применение в клинике.

Эта статья посвящена физико-химическим аспектам рака, новым принципам подхода к лечению злокачественных опухолей и возможной их профилактике.

### КИНЕТИЧЕСКИЕ ЗАКОНЫ ОПУХОЛЕВОГО РОСТА

Наиболее распространенная форма представления результатов кинетических исследований — это кинетические кривые: графические изображения изменения во времени некоторой величины  $F$ , характеризующей развитие процесса.

При построении кинетических кривых используют величины, имеющие различную математическую природу. Некоторые из них изменяются во времени непрерывно (например, размеры опухоли), другие — только дискретно (число  $N$  опухолевых клеток, которое, очевидно, может принимать только целочисленные значения<sup>1</sup>).

При изучении опухолевого роста и влияния на процесс различных воздействий наблюдается большое многообразие типов кинетических зависимостей (монотонно возрастающие или убывающие кривые экстремального характера, кривые с несколькими экстремумами). Такого рода зависимости отражают различные явления, происходящие с опухолями: торможение их роста, регрессии, рецидивы и т. п.

Дифференциальное уравнение роста популяций опухолевых клеток имеет вид

$$\frac{1}{F} \frac{dF}{dt} = \varphi(t),$$

где  $F$  — любая характеристика системы, которая может быть измерена,  $\varphi(t)$  — так называемая удельная скорость роста. Функция  $\varphi(t)$  представляет собой разность удельных скоростей размножения и гибели клеток.

Наблюдаемые на практике типы кинетических кривых опухолевого роста соответствуют формулам, которые получаются

интегрированием приведенного выше уравнения при различных видах функции  $\varphi(t)$ :

$$F(t) = F_0 e^{\varphi(t)dt}$$

При  $\varphi = \text{const}$  рост опухоли описывается экспоненциальной зависимостью:

$$F(t) = F_0 e^{\varphi t}.$$

В безразмерных координатах  $\eta = F/F_0$  и  $\Theta = \varphi t$  это уравнение можно записать в простой форме  $\eta = e^\Theta$ . В такой системе ко-



Типы кинетических кривых, которые наблюдаются при изучении экспериментальных процессов роста опухолей. Контрольная кривая, изображающая процесс, развивающийся без внешних воздействий, имеет экспоненциальный характер. Момент времени, когда начинается противоопухолевое воздействие, обозначен стрелкой.

ординат наблюдаемые значения размеров опухоли, относящиеся к разным опухолевым процессам (если только рост опухолей происходит по экспоненциальному закону), описываются одной и той же кинетической кривой. Это действительно имеет место на опыте или в клинике (если речь идет об опухолях человека). Естественно, для исследования роста опухолей человека имеется лишь ограниченное число данных, так как после обнаружения заболевания большой немедленно подвергается лечению.

Знание кинетических закономерностей роста опухолей позволяет предложить строго количественные критерии оценки эффективности химиотерапевтических препаратов. Если противоопухолевое воздействие приводит лишь к торможению роста опухоли, так что сохраняется экспоненциальный вид кинетической кривой, то все экспериментальные кривые можно совместить с контрольной (т. е. полученной без применения препаратов), изменив масштаб

<sup>1</sup> Естественно, что дискретный характер изменения величины  $N$  будет существенным лишь при малых значениях  $N$ .

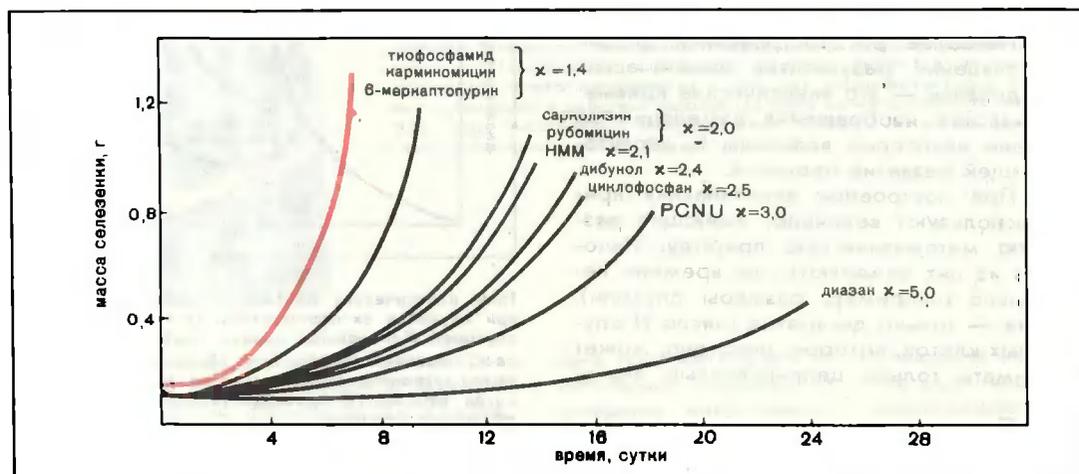
на оси времени. При этом коэффициент преобразования кривых (коэффициент активности препарата)  $\chi = \Phi_{\text{контр}} / \Phi_{\text{опыт}}$  показывает, во сколько раз медленнее, по сравнению с контрольным, развивается процесс при химиотерапевтическом воздействии.

Этот критерий весьма прост вследствие того, что он не зависит от выбора момента времени, когда производится сравнение степени развития контрольного опухолевого процесса и исследуемого. Однако при полном торможении роста опухоли ( $\Phi_{\text{опыт}} = 0$ ) величина  $\chi$  обращается

в бесконечность. Поэтому на практике удобнее пользоваться другим критерием:

### ХИМИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ ДЕЙСТВИЯ ПРОТИВООПУХОЛЕВЫХ ПРЕПАРАТОВ

Синтез веществ с заранее предполагаемыми противоопухолевыми свойствами составляет незначительную долю огромного общемирового объема работы по полу-



Семейство экспоненциальных кинетических кривых роста массы селезенки у мышей, сопровождающего развитие у них лейкоза La. Цветом показана контрольная кривая. Остальные кривые получены при использовании различных химиотерапевтических средств; коэффициент преобразования  $\chi$  показывает, во сколько раз медленнее, по сравнению с контрольным, развивается процесс при химиотерапевтическом воздействии.

в бесконечность. Поэтому на практике удобнее пользоваться другим критерием:

$$\chi^* = 1 - \frac{\Phi_{\text{опыт}}}{\Phi_{\text{контр}}} = 1 - \frac{1}{\chi}.$$

Величина  $\chi^*$ , таким образом, является линейной функцией удельного роста опухоли в опыте. При этом значение  $\chi^* = 0$  соответствует отсутствию эффекта,  $\chi^* > 0$  — эффективным воздействиям (т. е. торможению опухолевого процесса), а  $\chi^* < 0$  — воздействиям, стимулирующим рост опухоли.

Знание кинетических закономерностей и численных значений параметров опухолевого роста дает возможность использовать единые критерии оценки терапевти-

чению новых химических соединений. В известной мере, это следствие тех самоограничений, в плену которых находятся химии-синтетики, ищущие новые препараты внутри немногих эмпирически установленных и ставших в настоящее время традиционными противоопухолевыми химическими веществ: так называемых алкилирующих агентов, антиметаболитов, антибиотиков, гормональных препаратов, ферментов.

По механизму действия эти вещества могут быть разделены на две основные группы: вещества, которые при химическом взаимодействии с молекулами клеток вызывают более или менее значительные изменения их метаболизма (химически функционально-активные), и соединения, подобные веществам, непосредственно участвующим в метаболических процессах нормальных или опухолевых клеток (биохимически функционально-активные).

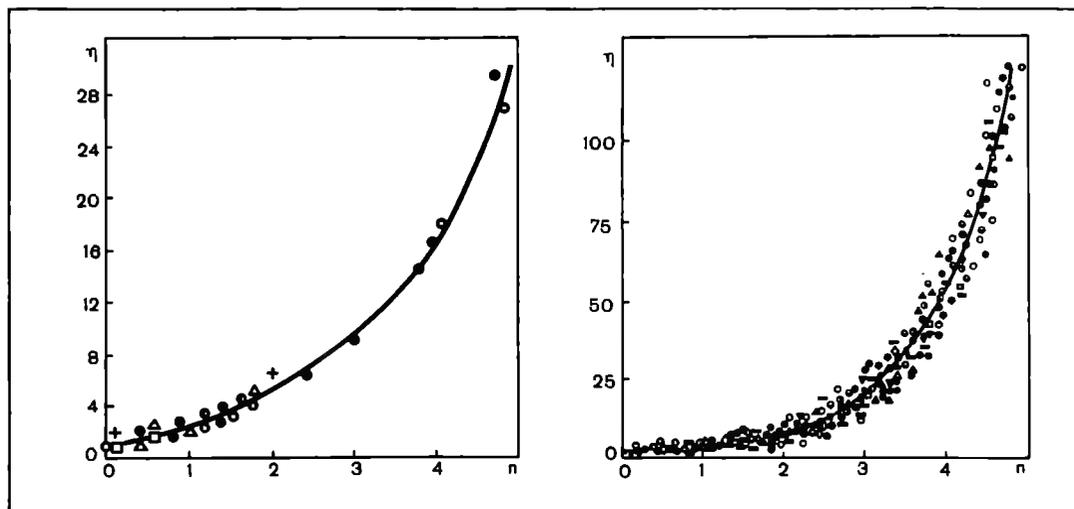
Условием повышения эффективности противоопухолевых препаратов обеих групп является, в большинстве случаев, естественная или искусственно создаваемая

более высокая чувствительность опухолевых клеток к действию этих препаратов по сравнению с нормальными клетками.

Больше всего в настоящее время применяются алкилирующие соединения. Белки или нуклеиновые кислоты, вступая в химические реакции с такими соединениями, уже не могут выполнять тех функций, которые они несли в опухолевых клетках, и клетки эти гибнут. Поэтому такие противоопухолевые соединения часто называют цитотоксическими препаратами (т. е. токсичными для клеток).

Меня при химических синтезах фрагмент R можно получить большое число препаратов, обладающих противоопухолевыми свойствами. В качестве алкилирующих агентов могут служить также и другие классы химических веществ (эпоксиды и азиридины, эфиры серной и фосфорной кислот, diaзокетоны, нитрозокарбамиды и др.). Тем не менее эффективные противоопухолевые препараты найдены лишь среди некоторых из них.

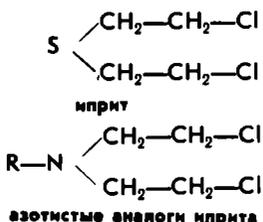
Недавно в секторе кинетики химических и биологических процессов ИХФ были



Рост опухолей у человека (слева) и животных (справа), проходящий по экспоненциальному закону  $F = F_0 e^{at}$ . Процессы изображены в безразмерных координатах  $\eta = F/F_0$ ,  $n = \frac{at}{\ln 2}$  ( $F$  — размер опухоли в момент времени  $t$ ,  $F_0$  — в начальный момент времени; при  $n=1$  размер опухоли увеличивается в 2 раза по сравнению с первоначальным, при  $n=2$  — в 4 раза и т. д.). В таких координатах различные опухолевые процессы (обозначены различными знаками) описываются одной и той же кривой.

получены новые противоопухолевые препараты: нитрозометилмочевина (НММ) и диазан. В клинике препарат НММ эффективно применяется для лечения недифференцированных форм рака легкого и лимфогранулематоза, а в комбинации с другими препаратами — для лечения генерализованной меланомы кожи и метастазов меланомы в мозг. Во многих случаях применение этого препарата приводит к длительным ремиссиям: у больных не наблюдается никаких проявлений опухолевого процесса, они возвращаются к обычной трудовой деятельности, ведут нормальный образ жизни.

Алкилирующих препаратов много. Первыми из них были азотистые аналоги иприта (известного отравляющего газа):

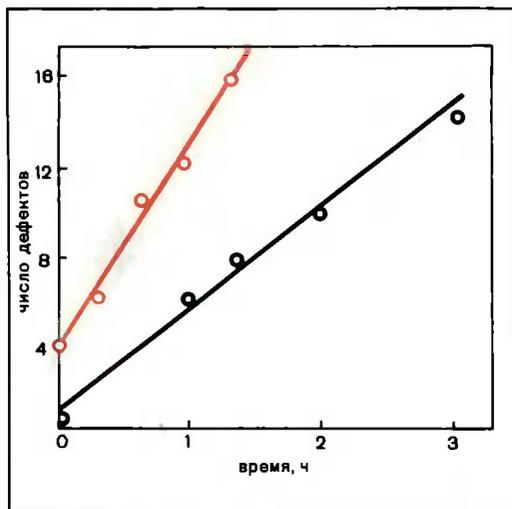


По своему химическому механизму препарат характеризуется повышенной реакционной способностью по отношению к молекулам белков и нуклеиновых кислот. Он избирательно увеличивает число одиночных и двойных разрывов молекул ДНК в опухолевых клетках, тормозит биосинтез белка и нуклеиновых кислот.

При изучении реакции ДНК с нитрозометилмочевинной было установлено, что

скорость накопления дефектов вторичной структуры ДНК опухолевых клеток печени (экспериментальная модель раковой опухоли — гепатома 22а) в 2 раза больше, чем при реакции с ДНК нормальных клеток печени.

Синтез ДНК (определяемый по включению меченного радиоактивным углеродом 2-[ $^{14}\text{C}$ ]-тимидина в ДНК) в клетках экспериментальной меланомы уже через 6 часов после введения препарата НММ подавляется приблизительно на 90%, а восстанавливается примерно через двое суток.



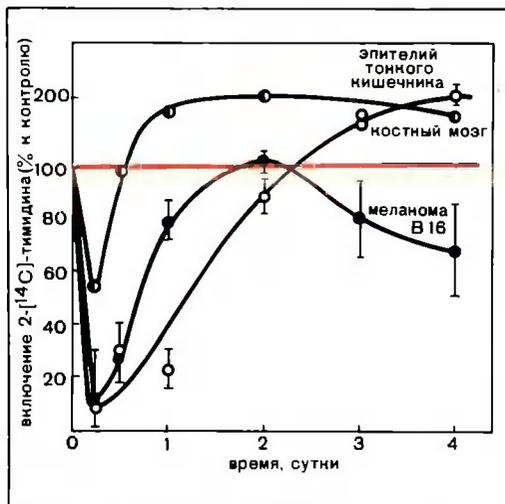
Изменение числа дефектов вторичной структуры ДНК опухолевых (цветная линия) и нормальных клеток печени при реакции с нитрозометилмочевинной (НММ). У опухолевых клеток этот процесс происходит примерно в 2 раза быстрее.

В то же время в нормальных клетках (например, клетках костного мозга) подавление синтеза ДНК менее выражено и через 12 часов уже практически не проявляется. Следовательно, этот препарат, обладая противоопухолевым действием, сравнительно мало нарушает процессы биосинтеза в нормально делящихся клетках.

Вторую группу противоопухолевых препаратов составляют антиметаболиты — структурные аналоги биохимически важных компонентов живых клеток — метаболитов. Они ошибочно захватываются клетками и в силу другого химического состава нарушают ход нормального метаболизма и развития клетки.

Например, для биосинтеза нуклеиновых кислот необходим ряд веществ-метаболитов: фолиевая кислота, пуриновые и пиримидиновые основания, углеводы. Поэтому антиметаболиты — антагонисты этих молекул (метатрексат, 6-меркаптопури, 5-фторурацил) оказались активными противоопухолевыми препаратами.

Важную роль в процессах биосинтеза играют также природные антиокислители (биоантиоксиданты). Их синтетический аналог — дибунол — был предложен в секторе кинетики химических и биологических про-



Действие НММ на синтез ДНК в клетках эпителия тонкого кишечника, меланомы В16 и костного мозга. Горизонтальная линия показывает уровень синтеза ДНК в клетках без НММ.

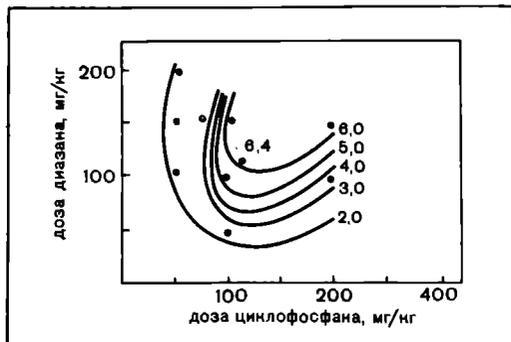
цессов ИХФ в качестве противоопухолевого препарата. Препарат оказался весьма эффективным при лечении рака мочевого пузыря, лучевых цеститов, трофических язв, термических и химических ожогов. Биологический механизм действия дибунола заключается в торможении перекисного окисления липидов, когда масштабы этих процессов становятся патологическими. Включаясь в метаболизм опухолевых клеток, дибунол подавляет в них процессы биосинтеза и тормозит тем самым рост опухолей. Дибунол может захватывать химически высокоактивные частицы — свободные радикалы, которые появляются в организме под влиянием различных внеш-



начала лечения, соотношения доз препаратов, последовательности их введения и т. д.

Выделить наиболее существенные факторы, характеризующие систему опухоль — препарат — организм в условиях полихимиотерапии, позволяет метод факторного анализа. Впервые он был применен для количественной оценки совместного действия диазана и циклофосфана на экспериментальную модель — лейкоз Р-388.

При сочетании диазана в дозе 150 мг/кг с циклофосфаном в дозах 100



Рассчитанные на ЭВМ кривые равной эффективности и соответствующие им экспериментальные точки, полученные при комбинированной химиотерапии лейкоза — совместно применением диазана и циклофосфана. Цифры около кривых — значения соответствующих коэффициентов активности. В зависимости от доз комбинируемых препаратов эффективность меняется. Максимальный эффект (излечение 100% подопытных животных) был получен при сочетании диазана в дозе 150 мг/кг с циклофосфаном в дозах 100 и 200 мг/кг (коэффициент эффективности 6,4). Цветная точка — рассчитанное на ЭВМ оптимальное сочетание исследуемых препаратов.

и 200 мг/кг был получен оптимальный результат — излечение 100% подопытных животных. В этих условиях эффективность комбинированного лечения не менялась при изменении взятых доз циклофосфана. Коэффициент активности  $\chi$  в обоих случаях был равен 6,4.

Интерполируя значения эффективности по экспериментальным точкам, можно рассчитать значения эффективности и для других точек, а затем построить кривые равной эффективности. Такие кривые позволяют найти область максимальной эффективности комбинированной химиотерапии и оценить оптимум воздействия: минимальные дозы препаратов, достаточные для получения максимального эффекта.

При совместном применении нескольких препаратов в различных режимах

(а современные схемы комбинированной терапии включают зачастую три и более агентов) количественная оценка взаимодействия препаратов является обязательным условием оптимизации химиотерапии.

В настоящее время экспериментальная химиотерапия находится в начальной стадии решения этой задачи, но приведенный пример показывает пути подхода к оценке эффективности препаратов при комбинированной терапии. Эти же подходы могут быть использованы при создании унифицированной системы скрининга противоопухолевых соединений.

## СВОБОДНЫЕ РАДИКАЛЫ И РОСТ ОПУХОЛЕЙ

В последние годы в биологии и медицине проводятся интенсивные исследования роли свободных радикалов в живых организмах в норме и при развитии различных патологических процессов. Широким развитием это научное направление обязано использованию метода ЭПР, который позволяет обнаруживать, идентифицировать и количественно определять свободные радикалы в различных биологических объектах.

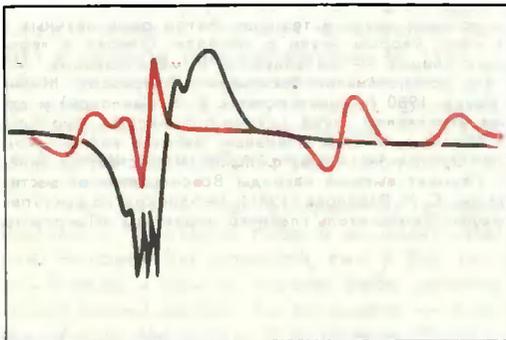
Первые исследования биологических объектов методом ЭПР относятся примерно к середине 50-х годов, а к настоящему времени в этой области накоплен уже весьма обширный материал. Установлено не только участие свободных радикалов в важнейших процессах жизнедеятельности клетки (что в свое время являлось спорным), но и выявлена роль других парамагнитных центров (преимущественно металлокомплексов).

В онкологии интерес к данной проблеме обусловлен успехами в изучении химии различных канцерогенных агентов, в первую очередь их способности к участию в реакциях, сопровождающихся переносом электрона. Показано, например, что свойства некоторых канцерогенных веществ таковы, что в процессах биологического окисления они могут легко переходить в свободно-радикальные состояния. По-видимому образование таких реакционноспособных частиц существенно влияет на многие биохимические процессы, в том числе и на те из них, которые ответственны за превращение нормальной клетки в злокачественную.

Поэтому можно ожидать, что при развитии патологических процессов в организме должны наблюдаться парамагнитные «сдвиги», например концентрация свобод-

ных радикалов будет отличаться от нормы. Оказалось, что такие явления действительно имеют место при лучевом поражении, раке, вирусных заболеваниях, стрессовых воздействиях на организм. Появляются также сигналы ЭПР, не свойственные живым организмам в норме.

В связи с этим изучение спектров ЭПР раковых клеток представляет один из путей физико-химического контроля функционального состояния клетки и ее ответной реакции на действие противоопухолевого препарата.



Спектры ЭПР ткани печени в норме (цветная кривая) и при развитии злокачественной опухоли.

Новый этап этих исследований связан с установлением биохимической природы регистрируемых парамагнитных центров, принадлежащих различным объектам экспериментальной онкологии, и изучением их концентрации в зависимости от уровня функциональной активности тканей.

## О ПРОФИЛАКТИКЕ РАКА

Сколь значительны ни были бы успехи в лечении злокачественных опухолей, все же наиболее существенным достижением было бы решение проблемы профилактики рака. Конечно, многочисленные рекомендации по поводу защиты живых организмов от действия различных физических и химических факторов окружающей среды, относящихся к категории канцерогенных, играют важную роль. Но кардинальное решение проблемы заключается в отыскании средств профилактики рака.

Немногим более полутора десятилетий назад мы предложили, основываясь на предположении о важной роли свободных радикалов в процессах злокачественно-

го роста, использовать дибунол для защиты против действия химических канцерогенов. Действительно, в опытах по изучению воздействия такого сильного канцерогенного вещества, как *p*-диметиламиноазобензол, оказалось, что включение дибунола в диету лабораторных животных полностью исключало возникновение опухолей, а предопухолевые изменения в печени практически отсутствовали.

Что касается изменения сигналов в спектрах ЭПР ткани печени при диете, включающей канцероген и дибунол, то концентрация свободных радикалов в этом случае оставалась примерно на уровне, соответствующем норме.

Позднее оказалось, что таким действием обладает не только дибунол, но и другие антиоксиданты фенольного типа. Их профилактическое действие проявляется в торможении развития рака легкого, молочной железы, преджелудка подопытных животных, а также в снижении числа животных с опухолями и числа опухолей у одного животного.

Антиканцерогенное действие антиоксидантов уже давно заслуживает большого внимания как один из путей не только лечения, но и профилактики раковых заболеваний. Можно только удивляться, почему до сих пор эти уникальные результаты остаются достоянием лишь экспериментальной онкологии и не делается попыток применения их в медицинской практике.

Приведенные примеры свидетельствуют о том, что творческое содружество ученых разных специальностей — биологов, химиков, физиков, математиков — становится эффективным инструментом в диагностике, лечении, а возможно, и профилактике злокачественных опухолей.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Эмануэль Н. М. КИНЕТИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ОПУХОЛЕВЫХ ПРОЦЕССОВ. М.: Наука, 1977.

Ларниов Л. Ф. ХИМИОТЕРАПИЯ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ ОПУХОЛЕЙ. М.: Медицина, 1962.

Чернов В. А. ЦИТОСТАТИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ В ХИМИОТЕРАПИИ ЗЛОКАЧЕСТВЕННЫХ НОВОБРАЗОВАНИЙ. М.: Медицина, 1964.

Эмануэль Н. М. КЛАССИФИКАЦИЯ ПРОТИВО-ОПУХОЛЕВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПО ПРИНЦИПУ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИОННОЙ СПОСОБНОСТИ. — Экспериментальная онкология, 1980, т. 2, № 3.

## Классик научной популяризации (Воспоминания об академике С. И. Вавилове)

А. С. Федоров



Александр Сергеевич Федоров, кандидат технических наук, заведующий сектором Института истории естествознания и техники АН СССР. Работает в области истории науки и техники. Автор ряда научных и научно-популярных книг: Творцы науки о металле. Очерки о творчестве отечественных ученых — металлургов и металловедов. М.: Наука, 1980 (изд. 2-е, доп.); Михаил Васильевич Ломоносов. Жизнь и творчество. М.: Наука, 1980 (в соавторстве с Г. Е. Павловой) и др. В течение ряда лет возглавлял такие научно-популярные журналы, как «Техника — молодежи», «Наука и жизнь», работал начальником главного управления научно-популярных фильмов Министерства кинематографии СССР. Лауреат высшей награды Всесоюзного общества «Знание» — медали им. С. И. Вавилова (1981). Неоднократно выступал на страницах «Природы». Заместитель главного редактора «Природы».

Собираясь написать о С. И. Вавилове, я прочитал десятки воспоминаний знавших его людей. Внимательно просмотрел книгу «Сергей Иванович Вавилов», вышедшую в 1979 г. третьим изданием в академической серии «Био-библиография ученых СССР». В этой книге, содержащей 170 страниц убористого текста, приведен хронологический указатель трудов С. И. Вавилова, где помещены названия всех его статей, в том числе и небольших, напечатанных во многих десятках газет и журналов. Но тщетно я там искал «Оптические фантазии». Эта статья, напечатанная в журнале «Техника — молодежи» (1936, № 2—3), прошла мимо составителей библиографического справочника.

Также тщетно я искал хотя бы упоминание о том, что Сергей Иванович глубоко интересовался научным кино, консультировал фильмы, неоднократно выступал по этим вопросам на заседаниях и в печати, наконец, сам снимался в научном фильме и в сюжетах киножурнала «Наука и техника». Об этом нигде нет ни слова.

Думается, что воспоминания об этих фактах жизни С. И. Вавилова расширят представления читателей и о том, каких принципов он придерживался в своей деятельности, направленной на популяризацию научных знаний.

Напомню, что с 1936 по 1951 г. С. И. Вавилов руководил редколлегией популярного естественнонаучного журнала «Природа» и был первым председателем созданного в 1947 г. Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний (в настоящее время — общество «Знание»).

Об истории написания «Оптических фантазий» и отношении С. И. Вавилова к научному кино будет рассказано в ближайших номерах журнала. А пока речь пойдет об одной беседе с ним, в ходе которой обсуждались принципы деятельности таких популярных журналов, как «Наука и жизнь» и «Природа».

### ПОСЛЕДНЯЯ ВСТРЕЧА

Осенью 1950 г. во время одного из заседаний Президиума Всесоюзного общества по распространению политических и научных знаний я получил небольшую записку. «Если у Вас есть время, — писал Вавилов, — прошу остаться после заседания для короткого разговора». Заседание окончилось, и я проследовал за Сергеем Ивановичем в его кабинет, который находился тут же, на втором этаже Политехнического музея. Вслед за мною зашел ученый секретарь Правления общества С. Г. Зеленов.

«Надеюсь, Вы знаете наш журнал «Наука и жизнь»,— обратился ко мне Вавилов.

«Да, знаю,— ответил я,— но, к сожалению, довольно давно его не видел...»

«Так вот,— продолжал Сергей Иванович,— редактор журнала уезжает сейчас в Белоруссию, по месту своей прежней работы. Зная Ваш опыт в популяризации науки, мы бы просили Вашего согласия возглавить этот журнал. Ведь Вы много лет отдали журналу «Техника — молодежи», нередко выступаете с популярными статьями, брошюрами...»

Я поблагодарил за почетное предложение и ответил, что моя теперешняя работа в научной кинематографии (в 1946 г. я был назначен начальником главного управления научно-популярных фильмов Министерства кинематографии СССР) меня очень интересует и мне не хотелось бы ее менять.

«А это и не нужно,— парировал Вавилов.— Работайте себе в кинематографии. Человек Вы молодой, сил у Вас хватит. Я ведь и сам не мыслю себе занятие только одним делом. Вы же знаете — Академия наук, институты, Всесоюзное общество, а теперь еще и Энциклопедия. Веселая жизнь, хотя и хлопотливая...»

Я попросил пару дней для размышлений и более тщательного знакомства с журналом и распрощался с Сергеем Ивановичем.

Через два дня я соединился с Вавиловым по телефону и сказал ему, что, в принципе, согласен с его предложением, однако, по моему мнению, журнал «Наука и жизнь» нуждается в некоторой перестройке, о которой хотелось бы переговорить подробнее. Сергей Иванович ответил, что и он видит много недостатков в журнале и, если мое назначение на должность редактора состоится, мы обстоятельно и подробно побеседуем о направлении его работы и по всем вопросам, связанным с выпуском журнала.

23 октября 1950 г. я был утвержден главным редактором журнала. Не помню, в тот же день или на следующий Сергей Иванович пригласил меня для беседы, которая состоялась в Президиуме АН СССР. В назначенное время я приехал в Нескучный дворец, как по старинке еще называли в то время здание Президиума Академии. Большая приемная на втором этаже, обставленная старинной мебелью... Здесь в то время не раз собирались «узкие» заседания Президиума. Справа от входа небольшой кабинет президента. Подхожу к столу

референта. Наталья Леонидовна (она и теперь работает за тем же столом) в курсе дела, но просит немного подождать, Вавилов занят беседой.

Через несколько минут от Вавилова вышел вице-президент академик И. П. Бардин, и меня пригласили к президенту.

Сергей Иванович встретил у входа в кабинет, поздоровался, предложил садиться и сам сел за свой большой стол, спиной к окну. В центре стола возвышался огромный чернильный прибор с литым бронзовым орлом. Слева стояла большая настольная лампа под шелковым абажуром и лежало несколько стопок книг и журналов. Я сразу обратил внимание, что перед президентом находились подборки журналов «Наука и жизнь» и «Природа» за 1950 г. К ним он обращался неоднократно во время нашей продолжительной беседы.

С. И. Вавилов поздравил меня с назначением на новую должность и пожелал успешной работы. Я ответил, что постараюсь быть полезным, но боюсь трудностей. Ведь «Наука и жизнь» — это, по существу, естественно-научный журнал, а я техник, металлург и по образованию и по опыту работы.

«Вот и хорошо,— рассмеялся Вавилов,— помещайте в журнале статьи, понятные для Вас. Тогда они будут понятны и всем читателям любой специальности. А потом, кто Вам запрещает печатать статьи и по технике. Даже из озорства (прямо так и сказал, «из озорства». — А. Ф.) можете иногда дать статейку и о живописи, и о музыке. Журнал должен быть разнообразным по тематике, сохраняя при этом свою основную линию — популяризацию естественнонаучных знаний».

«Главное,— говорил Вавилов,— чтобы журнал «Наука и жизнь» был боевым органом пропаганды советской науки, показывая ее достижения не обособленно от развития мировой науки, а на фоне общего научного прогресса нашего времени. Важно также, где это имеет место, подчеркнуть влияние нашей науки на мировую науку. Журнал должен популярно рассказывать о развитии науки, о ее истории, однако при этом он не может отставать от жизни, от современности. Журнал должен отражать тесную связь науки с практикой социалистического строительства, показывать преобразующую роль науки, помогающей человеку создавать новые сорта растений и новые виды сельскохозяйственных животных, вооружать все от-

расли народного хозяйства передовой техникой».

«Очень важно,— подчеркивал Сергей Иванович,— чтобы журнал имел свое лицо, адресовался определенному кругу читателей. У нас издается немало научно-популярных журналов, и нужно строго следить за тем, чтобы они не дублировали друг друга ни по внешнему виду, ни тем более по содержанию. Разным должен быть и научный уровень статей. Однако во всех случаях научное качество помещаемых материалов должно быть максимально высоким — популяризация науки не терпит упрощенства и тем более вульгаризации.

Лучше и точнее всего могут рассказать о науке сами ученые, ее творцы. Но, к сожалению, не все они обладают искусством популярного изложения. Среди ученых можно назвать лишь немногих хороших популяризаторов. Ярко и популярно о науке умели рассказать Галилей, Фарадей, Фламмарин, а среди наших ученых — Ломоносов, Мечников, Тимирязев, Ферсман, ныне здравствующий Владимир Афанасьевич Обручев. Задача научно-популярных журналов — научить большинство, а в идеале — всех ученых искусству ярко и образно, понятно и доходчиво не только для специалистов, но и для широких кругов читателей, рассказать о своей работе».

«Ну, а как быть с привлечением журналистов? Среди них много прекрасных популяризаторов».— спросил я.

«Да, конечно, у нас много хороших популяризаторов науки, и без них невозможно обойтись не только в журналах, но и в капитальных изданиях. Я очень доволен, что в подготовке Большой Советской Энциклопедии принимают участие и как редакторы и, частично, как авторы В. И. Орлов, О. Н. Писаржевский и другие мастера научно-популярного жанра. Они умеют сделать статьи не только научно-достоверными, но и абсолютно понятными. Это очень высокий уровень популяризации, и журнал «Наука и жизнь» должен делать ставку на таких авторов, более того, должен заботливо растить кадры популяризаторов науки».

«Но должны быть,— сказал С. И. Вавилов,— и журналы другого типа. Вот передо мною «Природа». Это старейший в нашей стране популярный естественно-научный журнал. Я очень горжусь, что уже много лет работу в нем. Мы продолжаем традиции великолепных ученых и популяризаторов науки самого высокого ранга — Л. В. Писаржевского, Н. К. Кольцова,

А. Е. Ферсмана. Но, повторяю, «Природа» — это журнал другого типа. Это, если так можно сказать, журнал «ученых для ученых». Его основная задача — взаимная информация ученых о достижениях в разных областях науки. В наше время трудно быть ученым-энциклопедистом, таким как Ломоносов или недавно скончавшийся Вернадский. Уж очень широка и многогранна стала любая конкретная область научного исследования. Но каждый ученый, безусловно, должен быть в курсе всего того, что делается в науке. Вот в этом главная цель «Природы». И тут уже мы ставим перед собою задачу получать материалы, что называется, «из первых рук», т. е. авторами статей должны являться сами исследователи, сколь трудными для широких кругов читателей ни были бы их статьи. На страницах «Природы» мы допускаем и сложные формулы, и глубокие экскурсы в историю науки, и гипотезы, и сложные теоретические рассуждения, т. е. все то, что требуется для понимания иногда значительной научной подготовки».

«Однако,— продолжал Вавилов,— крупные научные статьи, своего рода «кирпичи», если можно так выразиться, это далеко не единственный и, может быть, даже не доминирующий отдел научно-популярного журнала. По-моему, главным в каждом журнале должна быть широко поставленная научная информация, охватывающая всю тематику журнала. Вот в той же «Природе» мы стремимся, чтобы по крайней мере треть номера — а если учесть, что этот материал печатается пети́том, то почти его половина — посвящалась научной хронике. Это небольшие по объему статьи о новейших достижениях науки, написанные, как правило, самими авторами этих работ. У нас такие заметки по 0,5—1,0 журнальной полосы не гнушаются писать известные ученые».

Сергей Иванович открыл несколько номеров «Природы» и показал такие материалы.

«Большое место в научно-популярном журнале,— сказал далее Вавилов,— должен занимать отдел критики и библиографии. Ведь ежегодно у нас издается много сотен научных и популярных книг. В этом книжном море нетрудно утонуть. Нужны опытные лоцманы, которые подсказали бы, на какую книгу непременно следует обратить внимание. И такими лоцманами прежде всего должны быть видные ученые, как ни парадоксально на первый взгляд звучит это утверждение.



Сергей Иванович Вавилов.  
Фото конца 40-х годов.

Ведь кто же, как не специалист, лучше всего может оценить качество научно-популярной книги, достоверность и новизну приведенных в ней сведений, ее научный уровень».

«И опять,— сказал Вавилов,— мне хочется сослаться на «Природу». Только сегодня я получил ее октябрьский номер. Смотрите, здесь около десятка рецензий, и пять из них принадлежат весьма уважаемому ученому академику Обручеву. Он пишет о последних книгах по геологии, минералогии, географии. Его рецензии небольшие, но значение их исключительно велико. Попутно должен Вам сказать, что среди передовой русской интеллигенции, к которой, безусловно, относится Обручев (кстати скоро он будет отмечать свое 90-летие), существовала хорошая традиция: прочитай книгу, тут же напиши о ней, порекомендуй прочесть другим или, наоборот, скажи, что книга никчемная, не стоит тратить на нее время. Если книга прочитана, то изложение на бумаге краткого мнения, впечатления о ней не потребует большого труда».

«Но нужно всячески бороться,—

продолжал Вавилов,— с непродуманными оценками тех или иных изданий, с которыми иногда выступают у нас научные работники».

«Вот в этой газете,— сказал Сергей Иванович, раскрывая газетную полосу,— я сегодня прочел едкую заметку одного профессора о выпущенной недавно Издательством Академии наук книге».

Речь шла о каталоге одной из редких разновидностей звезд. Точного названия книги я не помню.

«Так вот, — нахмурившись, говорил Вавилов, — этот профессор упрекает нас в том, что выпустили книгу, которая нужна лишь пяти специалистам. Ну, если даже пяти, то ведь все равно нужна. Ведь им работать надо! Книга понадобится и ученым, которые придут в науку после нас. А кроме того, есть и международные обязательства, международный книгообмен. Мы выпустили эту книгу, в других странах издадут другие книги «ограниченного спроса». В результате потребность в книге этого типа будет не у пяти ученых, как думает написавший эту заметку,

а у сотен, если не у тысяч, работников науки, в данном случае астрономов».

Возвращаясь к вопросам перестройки журнала «Наука и жизнь», С. И. Вавилов поставил в качестве первоочередной задачи сделать журнал более доходчивым и понятным для самых широких кругов советской интеллигенции (педагогов, врачей, агрономов, техников, студентов и т. д.), вообще для массового читателя. Нужно отдавать приоритет статьям, формирующим материалистическое мировоззрение читателей, ярко рассказывающих о достижениях в разных отраслях науки, прежде всего, конечно, в естествознании. Необходимо широко популяризировать советскую науку как науку мира и созидания, традиции гуманизма, заложенные в ее основе, отражать борьбу советских ученых за мир и прогрессивное развитие человечества.

Раскрывая один за другим номера журнала «Наука и жизнь», вышедшие в 1950 г., С. И. Вавилов отметил большую положительную работу, осуществляемую журналом. С похвалой он отозвался о серии статей, рассказывающих о великих стройках коммунизма, о материалах, посвященных развитию науки в странах народной демократии, об очерках по истории науки и о деятельности выдающихся русских ученых.

В то же время Вавилов отметил, что ряду материалов вряд ли стоит отводить так много места на страницах журнала. К ним относится и расширенная публикация отдельных лекций в Центральном лектории общества (ведь лекции публикуются в виде брошюр, зачем же их повторять в журнале!). В научно-популярном журнале, издаваемом обществом, следует ограничиться лишь краткой хроникой работы общества, подчеркнул С. И. Вавилов.

Было решено с 1951 г. вместо стандартной обложки перейти на сменную, помещать на обложке интересные фотографии или рисунки, связанные с содержанием данного номера журнала. Вавилов осудил практику печатания всего номера мелким шрифтом (петитом), что вредит зрению читателей, и предложил основные статьи печатать более крупным шрифтом (корпусом). Особый разговор был об иллюстрировании журнала. Его нужно было значительно улучшить, помещать больше фотографий и рисунков, которые служили бы не «украшением» страниц, а позволяли глубже раскрыть научное содержание публикуемых материалов. Было обращено внимание также на заголовки статей. Сергей Иванович предложил давать более яр-

кие, иногда даже интригующие названия. Ну и, конечно же, было предложено значительно расширить отделы истории науки, научной хроники, критики и библиографии. Особенно Сергей Иванович просил подумать над последними страницами журнала. Он предложил делать их занимательными — рассказывать об интересных, иногда юмористических фактах из истории науки, помещать шаржи или карикатуры и т. д.

Затем встал вопрос о редколлегии журнала. По моему мнению, редколлекцию менять не следовало. В ее состав входили авторитетные ученые, хорошие популяризаторы, в том числе и С. И. Вавилов. Однако я просил Сергея Ивановича на очередном заседании руководства общества пополнить редколлекцию рядом ученых — членом-корреспондентом АН СССР (впоследствии академиком) Д. И. Щербаковым, которого я хорошо знал по работе в научно-популярном кино и который позднее стал главным редактором «Природы». Для улучшения освещения философских вопросов естествознания было решено также рекомендовать в члены редколлегии кандидата философских наук (впоследствии доктора) И. В. Кузнецова, а для расширения пропаганды сельскохозяйственных знаний в состав редколлегии рекомендовались академик ВАСХНИЛ И. Д. Лаптев и профессор Московской ветеринарной академии Н. И. Леонов. Через несколько дней перечисленные ученые вошли в редколлекцию. Одновременно мы договорились с Сергеем Ивановичем начать перестройку журнала «Наука и жизнь» с № 1 1951 г. (последние два номера 1950 г. уже находились в печати) и осуществлять ее постепенно, в течение длительного времени.

Время приближалось к полуночи, когда мы распрощались на высоком крыльце Нескучного дворца. В конце января 1951 г., уже после кончины Сергея Ивановича, вышел первый номер обновленного журнала. На его обложке был помещен портрет В. И. Ленина (рисунок художника Е. Кибрика). Открылся номер статьями новых членов редколлегии И. В. Кузнецова «Ленин и естествознание» и Д. И. Щербакова «На трассе великого канала». Заветы С. И. Вавилова начали претворяться в жизнь. В последующие годы журнал «Наука и жизнь» стал одним из самых популярных советских изданий. В этом заслуга его редколлегии, особенно недавно умершего главного редактора В. Н. Болховитинова, который умело следовал в своей работе идеям Сергея Ивановича Вавилова, классика научной популяризации.

## Задача популяризации — сформировать научное мировоззрение

24 марта 1981 г. в Париже, в штаб-квартире ЮНЕСКО профессору С. П. Капице [СССР] была вручена премия Калинга 1979 г. Премия Калинга за популяризацию науки, учрежденная ЮНЕСКО в 1952 г., присуждается ежегодно лицам, добившимся выдающихся достижений в популяризации научных исследований перед широкой аудиторией. Лауреатами премии Калинга были ученые, журналисты, деятели в области образования, писатели; каждый из них внес свой вклад в понимание науки широкими слоями общества, используя печать, публичные выступления, лекции, радио или телевидение.

Калинга — это древнее царство в восточной Индии, процветавшее при царе Ашоке (268—232 гг. до н. э.), который начал свое царствование как воин, а затем обратился к науке и философским размышлениям. Таким образом, Калинга символизирует интерес к науке и культуре.

Каждый год страны, входящие в ЮНЕСКО, через свои национальные научные организации или национальные комиссии по делам ЮНЕСКО представляют кандидатов на премию Калинга. Конкурсная комиссия, назначенная Генеральным директором ЮНЕСКО, изучает представленных кандидатов и рекомендует достойных. Премия Калинга в размере 1000 фунтов стерлингов вручается Генеральным директором ЮНЕСКО. Лауреат награждается также серебряной медалью и его приглашают посетить Индию как гостя Фонда Калинга.

Лауреат премии Калинга 1979 г. С. П. Капица — доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физических проблем АН СССР, заведующий кафедрой общей физики Московского физико-технического института, член редколлегии журнала «Природа». Он автор работ по вопросам гидродинамики, магнетизма, электродинамики и ускорителей, использования синхротронного излучения.

Премия Калинга присуждена С. П. Капице за научную телевизионную программу «Очевидное — невероятное»<sup>1</sup>.

Ниже мы публикуем текст выступления С. П. Капицы на церемонии вручения премии.

<sup>1</sup> Авторам этой программы С. П. Капице и Л. Н. Николаеву в 1980 г. была присуждена Государственная премия СССР.

### С. П. Капица

Для меня большая честь получить премию Калинга. Эта высокая награда является не только признанием моего личного вклада в дело популяризации науки, но также данью уважения к тем усилиям, которые прилагают в Советском Союзе к рас-

пространению научных знаний. Это давняя традиция, она имеет глубокие корни в нашем культурном наследии и всегда играла важную роль в формировании отношения к науке как части культуры.

Сегодня я должен прежде всего поблагодарить тех, с кем имел честь и удовольствие работать все эти годы. В первую очередь мне хотелось бы отметить моего ближайшего сорат-

ника Льва Николаева, физика по образованию, обладающего тонким талантом художественного воплощения науки. Все эти годы мы постоянно ощущали неизменную поддержку руководства советского телевидения, помогавшего нам решать сложные проблемы, которые возникают перед ученым, рискнувшим вторгнуться в беспокойный мир средств массовой информации. Без этой помощи я никогда не оказался бы здесь.

В этот торжественный день, быть может, следует обратиться к тому широкому кругу проблем, которые стоят перед учеными, научными журналистами, телезрителями, и попытаться понять, каким должно быть общее направление наших усилий в стремительно развивающемся мире, в котором люди связывают с наукой так много надежд, и остановиться на нескольких вопросах, представляющих интерес для собравшихся. Это впечатления, сложившиеся в результате нескольких лет работы на советском телевидении, передачи которого адресованы зрителям, живущим в десяти часовых поясах земного шара.

В наше время новые научные факты, открытия, изобретения быстро становятся всеобщим достоянием. Об открытии новой частицы или спутника планеты научная общественность узнает с помощью средств массовой информации часто прежде, чем об этом успеют сообщить специальные журналы. Огромный поток современной научной информации приводит в замешательство зачастую не только «простого» человека, но и ученого. Чтобы справиться с этим, обычно стремятся популяризировать науку, обращаясь к определенной аудитории. Этим занимаются опытные комментаторы, научные журналисты и сами ученые. Какие же методы нужно использовать, чтобы при-



Генеральный директор ЮНЕСКО А.-М. М'Боу и С. П. Калица на церемонии вручения премии Калпинги.

влечь самую большую в мире аудиторию?

Мы считаем, что наша главная задача состоит в том, чтобы помочь людям сформировать отношение к научным вопросам, а для этого мы должны не только сообщать им научные факты, но и доходчиво объяснять их, возбуждая воображение телезрителя и даже развлекая его с тем, чтобы заставить думать самого.

На любом интеллектуальном уровне люди прежде всего хотят понять, что есть добро и зло, что полезно, что необходимо. Эти всеобщие вопросы стоят перед каждым из нас, и каждый должен решить их для себя сам. В этом смысле всякий человек выступает и как философ, и как своего рода энциклопедист. Задача же ученых — объяснить людям смысл научного метода, воспитать у них научное, материалистическое мировоззрение. Быть может, это и есть самое главное в нашей популяризаторской деятельности.

При современном развитии науки и наличии огромного объема информации невозможно достичь понимания общей картины путем простого сложения частей. Более того, на телевидении мы не имеем возможности слишком глубоко вдаваться в детали, и нам приходится идти на широкие обобщения, намного более широкие, чем при обучении. Я хотел бы особенно подчеркнуть, что популяризация науки, какой бы полезной и стимулирующей она ни была, не может заменить систематического образования. Вместе с тем, помогая широкой аудитории зрителей сформировать свое собственное представление о научных вопросах, мы делаем то, чего нередко недостает при обучении. С другой стороны, наше представление об окружающем мире настолько быстро изменяется, что даже хорошо образованные люди не всегда успевают следить за движением науки. Для нас важен не столько уровень понимания, сколько общий интерес к окружающему нас миру, и именно этот интерес мы стараемся возбудить в наших передачах.

Для ведущего телевиде-

ния, не имеющего прямых контактов со своей аудиторией, часто самыми интересными бывают неожиданные встречи с телезрителями. Я даже не знаю, чьи замечания были для меня ценнее — язвительного ленинградского интеллектуала или крестьянина, которого я встретил в ауле на Кавказе. Как же следует обращаться к аудитории с таким диапазоном уровня подготовки? Мы считаем, и это следует из наших представлений о пропаганде науки, что очень важным моментом в формировании научного мировоззрения у телезрителей является приглашение к экрану самых крупных ученых. И делается это не ради удовлетворения тщеславия телезрителей, а чтобы усилить достоверность информации. Сначала мне часто говорили: «Зачем приглашать нобелевского лауреата для обсуждения элементарных вопросов, с которыми может справиться любой профессионал?» Однако для нас важна не только специальная информация, но и взгляды ученого, его отношение к научным вопросам. Должен сказать, что нам, правда не сразу, удалось привлечь к участию в передаче лучшие умы советской науки, а также ряд крупнейших зарубежных ученых. Им есть что сказать, и именно они, более, чем кто-либо, имеют моральное право заявить свое мнение по научным вопросам, а это как раз то, чего ждет от них аудитория.

Однако как ни важно быть знатоком своего дела, хорошо владеть секретами популяризаторского мастерства, прежде всего нужно помнить, что на нас, ученых и популяризаторах, лежит огромная ответственность. Ведь средства массовой информации, а в особенности телевидение, обладают поистине колдовским могуществом. Кому в вопросах науки следует доверять право высказывать свое мнение, чьему авторитету можно верить? Это вовсе не абстрактные рассуждения. Например, от чьего имени говорит, кого представляет известный ученый: себя самого, научное сообщество, мировую науку? С другой стороны, существует еще и социальная ответственность средств массовой информации, как это было, напри-

мер, в ряде стран в случаях с ядерной энергетикой и генной инженерией.

Быть может, наиболее сложны проблемы, поднимаемые наукой перед человечеством в области морали: какова должна быть система ценностей, управляющих обществом в решении вопросов, связанных с человеком. Здесь мы опять сталкиваемся с глубокими и трудными проблемами, издавна волнующими как ученых, философов, так и простых людей, и требующих в каждом поколении нового подхода.

Конечно, эти проблемы присущи многим обществам. Здесь мне хотелось бы сказать, что, приглашая к нам на передачу ученых разных стран с различными культурными традициями, мы способствуем углублению взаимопонимания между народами. Я очень рад, что наша передача стала известна за рубежом и что в Советском Союзе мы создали еще один важный канал обмена информацией с разными странами мира.

Сейчас признано, что наука и ученые стали существенным звеном в установлении взаимопонимания между народами. Выступая сегодня здесь, в штаб-квартире ЮНЕСКО, я думаю о том, как много еще может быть сделано в этом направлении, и надеюсь, что и научные сообщества и средства массовой информации будут сотрудничать в этом общем деле.

Из всех научно-общественных проблем мне хотелось бы выделить глобальные. Я имею в виду проблемы питания, энергии, окружающей среды, источников сырья, народонаселения и, последнюю по счету, но не по значению,— угрозу вооружения. По самой своей природе глобальные проблемы не только междисциплинарны, но и международны. Они помогают формировать новый образ мышления, основанный в большей степени на принципах сотрудничества и паритета, чем на узко понятом суверенитете и превосходстве, прокладывают пути к политике разрядки и мирного сосуществования.

Мнения, выработанные рядом международных институтов (таких как Международный институт прикладного системно-

## ЛАУРЕАТЫ ПРЕМИИ КАЛИНГИ

1952	Луи де Бройль	физик	Франция
1953	Джулиан Хаксли	биолог	Англия
1954	Вальдемар Камферт	популяризатор науки	США
1955	Аугуст Пи Сунер	физиолог	Венесуэла
1956	Георгий Гамов	физик	США
1957	Бертран Рассел	математик	Англия
1958	Карл фон Фриш	биолог	ФРГ
1959	Жан Ростан	энтомолог	Франция
1960	Ричи Кальдер	публицист	Англия
1961	Артур Кларк	писатель	США
1962	Герард Пил	издатель журнала «Сайнтифик Америкен»	США
1963	Ягит Синг	научный журналист	Индия
1964	Уоррен Чивер	агроном, общественный деятель	США
1965	Евгений Рабинович	физик, общественный деятель	США
1966	Поль Кудерк	астроном	Франция
1967	Фред Хойл	астроном	Англия
1968	Гавин де Беер	биолог	Англия
1969	Конрад Лоренц	биолог, этолог	Австрия
1970	Маргарит Мад	антрополог	США
1971	Пьер Оже	физик	Франция
1972	Филип Абельсон	физик	США
	Найгель Кальдер	тележурналист	Англия
1973	премия не присуждалась		
1974	Жозе Рейс	микробиолог, писатель	Бразилия
	Луис Эстрада	физик	Мексика
1975	премия не присуждалась		
1976	А. И. Опарин	биохимик	СССР
	Дж. Портер	химик	Англия

го анализа, Международное агентство по атомной энергии, Римский клуб, Международный союз научных обществ и др.), могли бы помочь формированию единого научного подхода ко всем этим глобальным проблемам. Чрезвычайно важно довести эти мнения до людей, хотя мы не можем и, более того, не должны считать их окончательными. Руководствуясь принципами исторического оптимизма и политического реализма в этих чрезвычайно актуальных вопросах, мы должны стремиться пропагандировать метод научного мышления, принципы которого значительно шире и важнее, как известно каждому ученому, чем даже полученный результат. Тем самым мы устанавливаем также связь между социальными и естественными науками, долгие годы разделенными дихотомией «двух культур».

Пути к взаимопониманию, которые прокладывает наука,

важны не только для взаимоотношений между Востоком и Западом, где они способствуют установлению взаимного доверия, но и, как иногда говорят, между Севером и Югом. Здесь предстоит сделать очень многое. Мы должны найти средства для передачи и использования фактов науки, приспособлявая их к другим интеллектуальным требованиям, к иным культурным традициям. Мы должны иметь в виду не только непосредственное значение науки для медицины или техники, которое, безусловно, играет весьма важную роль, но очень существенно, чтобы это практическое отношение к науке не заслоняло более глубокий ее смысл: понимать суть явлений, а не только создавать практические вещи. Здесь я хотел напомнить о древних интеллектуальных традициях Индии, нашедших теперь свое выражение в учреждении премии Калинги.

## А. П. Чехов и В. А. Вагнер (Из предыстории «Природы»)

Н. В. Успенская

Москва

Они встретились в 1891 г., а последовавшая за этим переписка оборвалась, насколько известно, в 1894 г., т. е. за много лет до того, как В. А. Вагнер совместно с Л. В. Писаржевским выпустили первый номер «Природы». И все же знакомство Вагнера с Чеховым имеет к рождению «Природы» несомненное отношение.

Обстоятельства этого знакомства многократно описаны биографами писателя. Весной 1891 г. Л. С. Мизинова и И. И. Левитан плыли по Оке к Чехову на дачу, только что снятую им близ г. Алексина, недалеко от Тарусы. На пароходе они разговорились с местным помещиком Е. Д. Былим-Колосовским, оказавшимся большим почитателем Чехова, и пообещали ему при удобном случае привезти Чехова к нему в гости. В те времена к обещаниям такого рода относились всерьез, а потому никто не удивился, когда в тот же вечер от Былим-Колосовского были присланы два экипажа, и гости, возможно, усталые с дороги, а с ними и Антон Павлович, вынуждены были отправиться в село Богимово. Но все складывалось к лучшему.

Старинная богимовская усадьба очень понравилась Чехову, и он охотно принял предложение ее хозяйки переселиться на лето к нему. «Я перебрался на другую дачу, — писал Чехов своему издателю А. С. Суворину. — Какое раздолье! В моем распоряжении верхний этаж большого барского дома. Комнаты громадные... Прекрасный парк, пруд, речка с мельницей, лодка — все это состоит из множества подробностей, просто очаровательных<sup>1</sup>. Богимо-

вом и его окрестностями навеяны прекрасные пейзажи в «Доме с мезонином», а Былим-Колосовского многие узнавали в образе Белокурова.

Кроме Чеховых, в Богимове жили и другие дачники. В письмах Чехова часто упоминается семья московского зоолога Владимира Александровича Вагнера, родственника хозяина поместья<sup>2</sup>. Обитателей богимовской усадьбы объединяли дачные развлечения. «Бывают у нас спектакли, живые картины и пикники, — рассказывает Чехов в одном из писем. — Очень смешно и весело<sup>3</sup>, а в другом описывает домашнее представление, устроенное 16 июля по случаю именин Вагнера.

Всем даются прозвища. Себя Чехов называет Гвоздиком, свою знакомую О. П. Кундакову — Астрономкой, а Вагнера — Паучком: «Паучок от утра до вечера возится со своими пауками. Пять паучьих лапок уже описал, остались теперь только три. Когда он закончит с пауками, то примется за блох, которых будет ловить на своей тетушке<sup>4</sup>. Какое, казалось бы, бесшабашное дачное веселье. А между тем на самом-то деле и Чехов, и Вагнер все лето, проведенное ими в Богимове, были заняты напряженной работой.

Это было первое лето Чехова после тяжелой, почти восьмимесячной поездки на Сахалин. Он вернулся в Москву в декабре 1890 г., мечтая сразу же заняться обработкой собранного материала, но мешал всеобщий интерес к его поездке, вылившийся в утомительную обязанность много рассказывать о ней, мешала необходимость срочно писать для заработка, потом была поездка в Петер-

бург, потом короткое заграничное путешествие... И наконец он в Богимове, чтобы работать, работать, работать.

За это лето Чеховым, помимо подготовки материалов и набросков к «Острову Сахалину», написан рассказ «Бабы», прекрасная повесть «Дуэль», которая не складывалась у него несколько лет, а тут вдруг сложилась, и фельетон «Фокусники». К двум последним работам оказался причастен, но к обеим совершенно по-разному, Владимир Александрович Вагнер.

Брат писателя Михаил Павлович вспоминает: «Каждое утро Антон Павлович поднимался чуть свет, часа в четыре утра. <...> Напившись кофе, Антон Павлович усаживался за работу. <...> Занимался он, не отрываясь ни на минуту, до одиннадцати часов утра. <...> Часа в три дня Антон Павлович снова принимался за работу и не отрывался от нее до самого вечера. Вечером же начинались дебаты с зоологом В. А. Вагнером...»<sup>5</sup>

К моменту знакомства Чехова с Вагнером Антоном Павловичу был 31 год и он находился в пору творческой зрелости. Вагнер же был на 11 лет старше, но его научная карьера была впереди, а точнее, как раз в это время он стоял на рубеже ее кардинального поворота в новую, им открытую область.

Все, что можно сказать об отношениях Чехова и Вагнера — это заслуга исследователей творчества писателя. Жизнь его расплывалась по дням и часам<sup>6</sup>. У Вагнера же, как ни странно, вовсе не было настоящих биографов, хотя это был оригинальный ум и ученый мирового масштаба. Это мнение можно подкрепить та-

<sup>2</sup> См.: Малинин Д. И. А. П. Чехов в Богимове б. Тарусского уезда. Калуга, 1931.

<sup>3</sup> Чехов А. П. Письма. Т. 4, с. 250.

<sup>4</sup> Там же, с. 246.

<sup>5</sup> Чехов А. П. Вокруг Чехова. М.: Московский рабочий, 1964, с. 236.

<sup>6</sup> См. напр.: Гитович Н. И. Летопись жизни и творчества А. П. Чехова. М.: Гослитиздат, 1955.

<sup>1</sup> Чехов А. П. Полн. собр. соч. Письма. Т. 4. М.: Наука, 1976, с. 233.



Антон Павлович Чехов. Фото 1893 г.

кими авторитетам, как Ю. А. Филипченко, В. А. Догель, Б. Е. Райков<sup>7</sup>.

Первые работы Вагнера, при всей их глубине и фундаментальности, шли в традиционном русле. В 1889 г. он с блеском защитил магистерскую диссертацию, в которой критиковал предшествующие классификации паукообразных и доказывал целесообразность иной, основанной на изучении эволюции их копулятивного аппарата. Но вскоре интересы Вагнера приобретают совершенно другое направление. С 1892 г. он начинает публиковать работы, которые позволяют считать его первым русским зоопсихологом и основоположником нового подхода к изучению психологии животных. Свой метод он называет объективным, или биологическим, и противопоставляет его «антропоцентрическому, субъективному» (основанному на поисках прямых соответствий между психикой человека и животных), которого придерживалось до него большинство исследователей, включая таких видных

ученых как Дж. Роменс, В. Вундт, Ж. Фабр, да и сам Ч. Дарвин.

Вагнер опирался на принципы, разработанные в сравнительной анатомии. В зоопсихологии, так же как в сравнительной анатомии, писал он, нужно идти не от сложного к простому, а от простого к сложному, т. е. не от человека, а к человеку, сравнивая каждую группу животных с предшествующей, а не с той, которая занимает более высокое положение на эволюционной лестнице. Он твердо стоял на том, что при изучении психической жизни животных, как и в других научных исследованиях, более сложные объяснения допустимы лишь в том случае, если исчерпаны все попытки более простых. Строгое следование этому «закону экономии» (несколько позднее ставшему известным под названием канона Ллойда-Моргана) позволило Вагнеру в той степени, в какой это вообще возможно, избежать антропоморфизма и привело его к выводу, что психология даже высокоразвитых животных — это, по преимуществу, психология инстинктов.

Так же, как и антропоморфизм, Вагнера не устраивала и другая крайность — отношение к животному как к «рефлекторной машине». Рефлексы он рассматривал как допсихическую деятельность, как материал, из которого эволюционным путем образовались независимо один от другого два вида психических способностей — инстинкт и разум. Работы Вагнера касались в основном эволюционной, или сравнительной, психологии инстинктов.

Эти исследования требовали особых приемов — ни один из существовавших в биологии или психологии здесь не подходил. Вагнер разработал эти приемы, назвав их статистическим, фило- и онтогенетическим, обосновал их теоретически и с успехом применял. Чаще всего материалом для его исследований служила «индустрия» насекомых и птиц — способность к сооружению различных построек.

Время вносит коррективы в отдельные суждения Вагнера. Но достижения его очень значительны, особенно если принять во внимание, что у него не было



Владимир Александрович Вагнер. Фото около 1890 г.

непосредственных предшественников, хотя, конечно, он применял эволюционный метод Дарвина, использовал отдельные идеи О. Конта и Г. Спенсера, что многократно подчеркивал. Вместе с тем теперь, отойдя на достаточное расстояние от тех времен, чтобы увидеть всю панораму, нельзя не удивиться тому, что работы Вагнера, несмотря на научное признание, не получили соответствующего им общественного резонанса. Впрочем, одно из объяснений напрашивается само собой: деятельность Вагнера (1849—1934) по времени совпала, как теперь принято говорить, с «парадигмой» великого И. П. Павлова (1849—1936).

Трудно понять, почему никто из современных этологов и психологов до сих пор не взял на себя заботу о переиздании и комментировании хотя бы важнейших из многочисленных трудов Вагнера, таких как «Биологический метод в зоопсихологии», трехтомные «Биологические основания сравнительной психологии», популярная «Психология животных» и др.

Мы позволили себе это отступление от нашей темы исключительно для того, чтобы хотя бы намекнуть на масштаб личности В. А. Вагнера и показать, какой важный поворот в его научной деятельности про-

<sup>7</sup> Филипченко Ю. А. В. А. Вагнер. — Природа, 1929, № 4, с. 283; Догель В. А. В. А. Вагнер. — Природа, 1934, № 4, с. 90; Владимир Александрович Вагнер (К 75-летию со дня рождения.) — Естественнонаучное в школе, 1925, № 1, с. 1.

1<sup>я</sup> Коллеция пер  
2. Симоленко

Здравствуйте Антон Пав-  
лович! У вас готовы ли вы,  
что нам надо по отрожи-  
свои музиче в Москву? А  
удобно вам жить на франико,  
тотны могли франико, товы  
гетер для немцы, напомер на  
двои само мой, а вы все  
кыты, и кыты! Ужель-че  
ты кетя для меня, как для  
могаченны на конь: как за  
год! Судите сами: о чуркы  
сравиваются, о чуркы  
тунгит, перевод для чур-  
нама для ты, стайты для

Автограф письма В. А. Вагнера к  
А. П. Чехову.

изошел вскоре после лета  
1891 г.: с 1892 г. он начинает  
публиковать первые работы по  
сравнительному анализу ин-  
стинктов. Следовательно, в пе-  
риод встречи с Чеховым в Бо-  
гимове Вагнер должен был на-  
ходиться в состоянии особого  
интеллектуального напряжения  
и подъема. Именно поэтому  
беседы с Вагнером оставили  
столь заметный след в творче-  
стве писателя. «Он превосход-

ный зоолог и большой фило-  
соф»<sup>8</sup>, — писал Чехов в одном из  
богимовских писем, т. е. тогда,  
когда воззрений Вагнера на  
проблемы психологии ученый  
мир еще не знал.

Продолжим прерванную  
цитату из воспоминаний  
М. П. Чехова: «Вечером же  
начинались дебаты с зоологом  
В. А. Вагнером на тему о мод-  
ном тогда вырождении, о праве  
сильного, о подборе и так далее,  
легшие потом в основу фило-  
софии фон Корена в «Дуэли».   
Интересно, что, побывав на

Сахалине, Антон Павлович во  
время этих разговоров всегда  
держался того мнения, что си-  
ла духа в человеке всегда может  
победить в нем недостатки,  
полученные в наследственность.  
Вагнер утверждал: раз имеется  
налицо вырождение, то, конечно,  
возврата обратно нет, ибо  
природа не шутит; а Чехов воз-  
ражал: как бы ни было велико  
вырождение, его всегда можно  
победить волей и воспитанием»<sup>9</sup>.

Диспуты Вагнера — Чехо-  
ва переданы братом писателя,  
по-видимому, не совсем точно.  
Круг обсуждавшихся вопросов,  
даже если судить только по  
«Дуэли», был шире. Что же ка-  
сается идей о вырождении, бро-  
шенных в оборот французским  
психиатром Ж. Морелем еще в  
середине прошлого века и пу-  
стивших довольно глубокие и  
ветвистые корни, то все они,  
несмотря на свое многообразие,  
основывались на убеждении, что  
человечество неуклонно дегра-  
дирует и физически, и психи-  
чески, духовно. Поэтому про-  
тивопоставление вырождению  
силы духа «не работает». Ско-  
рее всего, Чехов не соглашался  
с самой идеей о вырождении  
человека. И абсолютно достовер-  
ен источник его доводов —  
сахалинские впечатления.

Достоверно также и то,  
что споры были, что они волно-  
вали, задевали Чехова. Отголо-  
ски их и полемический настрой  
по отношению к Вагнеру ощу-  
щается и в письмах, и в «Дуэли».   
На штурм крепости, сооружен-  
ной аргументацией героя пове-  
сти зоолога фон Корена, писа-  
тель бросил всех участников  
развернувшейся драмы — Лаев-  
ского, доктора Самоilenко,  
дьякона Победова... и самого  
себя. Естественно, побеждает  
писатель.

Но предоставим слово  
фон Корену:

«Я зоолог, или социолог,  
что одно и то же, ты — врач;  
общество нам верит...» — гово-  
рит фон Корен, обращаясь к Са-  
моilenко<sup>10</sup>.

«...Первобытное челове-  
чество было охраняемо от та-

<sup>9</sup> Чехов М. П. Цит. соч.,  
с. 237.

<sup>10</sup> Чехов А. П. Поли. собр.  
соч. Т. 7. М.: Наука, 1977,  
с. 375—376.

<sup>8</sup> Чехов А. П. Письма.  
Т. 4, с. 247.

ких, как Лаевский, борьбой за существование и подбором; теперь же наша культура значительно ослабила борьбу и подбор, и мы должны сами позаботиться об уничтожении хилых и негодных, иначе когда Лаевские размножатся, цивилизация погибнет, и человечество выродится совершенно. Мы будем виноваты.

— Если людей топить и вешать — сказал Самойленко, — то к черту твою цивилизацию, к черту человечество! К черту!»<sup>11</sup>

«...Каждый смутно чувствует потребность в чистой любви, хотя знает, что такой любви нет, — разве все это предрассудок? Это, братец, единственное, что уцелело от естественного подбора...»<sup>12</sup>

«Гуманитарные науки... только тогда будут удовлетворять человеческую мысль, когда в движении своем они встретятся с точными науками и пойдут с ними рядом»<sup>13</sup>.

Суждения фон Корена, множество связанных с ним реальных, которые рассыпаны по всей повести, — все это неопровержимо восходит к Вагнеру. На просьбу своего издателя Суворина изменить фамилию фон Корена Чехов ответил: «Фон Корен пусть остается фон Кореном. Изобилие Вагнеров, Брандты, Фауссеки и проч. отрицают русское имя в зоологии, хотя все они русские...»<sup>14</sup>.

И все же, фон Корен — это не Вагнер. В одной из своих статей, посвященной философии Ренана и Ницше, Вагнер близко подходит к центральному пункту рассуждений фон Корена — пресловутой идее о вырождении человечества. От этой идеи, пишет Вагнер, отталкиваются два таких различных философа, как романтик Ренан и пессимист Ницше, и видят задачу будущего в одном — в создании сверхчеловека (которого, правда, представляют себе противоположным образом). Ход рассуждений «двух мыслителей века, — продолжает Вагнер, — на долю

которых выпало так много страстных нападок и страстных увлечений <...> представляется тем более интересным, что оба они пользуются в своей аргументации биологическими данными, которыми так часто злоупотребляли и продолжают злоупотреблять после выхода в свет знаменитой книги Дарвина «О происхождении видов»<sup>15</sup>. Дальше Вагнер показывает, что «биологические» идеи как Ренана, так и Ницше построены на принципиальных ошибках, на непонимании эволюционной теории, и заключает статью следующим образом: «Нужен, стало быть, не сверхчеловек... нужен нормальный человек, а для этого, прежде всего, нужны нормальные условия жизни»<sup>16</sup>.

Как это далеко от «биологического экстремизма» фон Корена! Да Чехов и не предполагал здесь никакого психологического соответствия.

Ведь не мог же он сказать о жестком рационалисте фон Корене, от которого за версту веет вульгарным материализмом, так, как он однажды в состоянии раздражения (вызванном обстоятельствами, о которых будет говориться ниже) написал Суворину о Вагнере: «Вас пугают материалистические идеи Вагнера? Тоже, нашли материалиста! Это баба, кисель, и уж если говорить об его направлении, то скорее всего он спиритуалист (в смысле идеалист. — Н. У.) и толстовец даже. Я в миллион раз больше материалист, чем он!»<sup>17</sup>. Еще раз оговоримся, что это было сказано в раздражении (бедные великие люди — каждое им лыко в строку!). Но оговорка эта касается больше тона, чем существа. Так, в одном из своих писем Н. А. Рубакину уже в 20-х годах Вагнер признается: «Я недостаточно материалистичен»<sup>18</sup>. Что же, фигура Вагнера

слишком значительна, чтобы нуждаться в приукрашивании. Напротив, нам кажется, что мировоззрение Вагнера может стать интереснейшим объектом для профессионального историко-философского анализа.

Что же касается слов, определяющих характер Вагнера, то Чехов подразумевал свойственные Вагнеру колебания и сомнения (в правильности своих поступков), которых он не имел привычки скрывать. К этому мы еще тоже вернемся.

Несмотря на расхождение во взглядах, Чехов абсолютно доверял мнению Вагнера во всем, что касалось его специальности. Вместе они написали фельетон «Фокусники», в котором речь шла о Московском зоологическом саде и научном камуфляже, которым занималась его дирекция. В фельетоне описывалось бедственное и нелепое состояние этого учреждения, которое посетители иначе не называли, как «кладбищем животных». И при всем том «летом по ночам гремит музыка, трещат ракеты, шумят пьяные и мешают спать зверям, которые еще не окопели с голода»<sup>19</sup>.

Допустим, все это можно объяснить отсутствием средств и необходимостью для их притока устраивать дополнительные развлечения. Но с какой же целью при такой-то бедности в Зоологическом саду открываются одна за другой зоологическая лаборатория и ботаническая опытная станция, которые, естественно, никакими исследованиями заниматься не могут и должны рассматриваться только как неуважение к науке и публике?

Фельетон начинается ссылкой на брошюру К. А. Тимирязева «Пародия науки» (М., 1891), в которой рассказывается о том, что представляет собой так называемая ботаническая станция. Из дальнейшего читатель узнает, что и с зоологической лабораторией дела обстоят не лучше, да и «самое возникновение ее, очевидно, имеет тот же мотив, что и у ботанической станции. В самом деле, существова-

<sup>15</sup> Вагнер В. А. Ренан и Ницше. О звере в человеке. — Вопросы философии и психологии, 1901, март—апрель, с. 201.

<sup>16</sup> Там же, с. 217.

<sup>17</sup> Чехов А. П. Письма. Т. 5, с. 170.

<sup>18</sup> Отдел рукописей Государственной библиотеки им. В. И. Ленина, ф. 358, к. 212, ед. хр. 29.

<sup>11</sup> Там же, с. 393.

<sup>12</sup> Там же, с. 412.

<sup>13</sup> Там же, с. 429.

<sup>14</sup> Чехов А. П. Письма. Т. 4, с. 266.

<sup>19</sup> Чехов А. П. Полн. собр. соч. Т. 16, М., 1979, с. 248.

ние при саде лаборатории есть несомненное доказательство блестящего состояния его дела и в то же время оно свидетельствует о научном направлении деятельности его руководителей»<sup>20</sup>. В основе фельетона лежали выписки из публикаций «Отчета зоологической лаборатории» и «Дневника Зоологического сада», которые предоставил Чехову Вагнер. Одно время Вагнер был секретарем Общества акклиматизации животных и растений, в ведении которого находился Зоологический сад, и даже написал «Путеводитель по зоологическому саду», так что прекрасно ориентировался во всей обстановке.

Фельетон Чехова и Вагнера был резким выпадом против директора Зоологического сада профессора А. П. Богданова. Направляя «Фокусников» для публикации в газете «Новое время» и приложив брошюру Тимирязева, Чехов писал Суворину: «Дело в том, что у нас в Москве и в России вообще есть проф. Богданов, зоолог, очень важная превосходительная особа, забравшая в свои руки все и вся, начиная с зоологии и кончая российской прессой. Сия особа проделывает безнаказанно все, что ей угодно. И вот Тимирязев выступил в поход. Напечатал он свою статью в брошюрке, а не в газете, потому что, повторяю, все газеты в руках Богданова. <...> Как добавление к брошюре, посылаю заметку. <...> Подписываюся я буквой Ц, а не собственной фамилией на том основании, что, во-первых, заметка писана не мною одним, во-вторых, автор должен быть неизвестен, ибо Богданову известно, что Вагнер живет с Чеховым, а Вагнеру надо защищать докторскую диссертацию и т. д. ...»<sup>21</sup>.

Чтобы не ввести в заблуждение кого-нибудь из наших читателей, надо сказать, что А. П. Богданов (1834—1896) был выдающимся зоологом и антропологом, одним из основателей Общества акклиматизации растений и животных, а также организатором весьма продуктивного Общества любителей естествознания, антропологии и эт-

нографии. Ему в значительной мере принадлежит заслуга создания Политехнического музея, в котором, по словам того же Тимирязева, «наука впервые пришла в тесное соприкосновение с массой населения»<sup>22</sup>. Но, энергичный и властный, Богданов не всегда был разборчив в способах достижения своих целей. Так, для привлечения к своим делам частных и государственных средств он нередко прибегал к дешевой рекламе, которая компрометировала его же полезные начинания и вызывала протесты ученых.

Вагнер хорошо знал все это, тем более что начинал свой путь как ученик Богданова. Естественно, что отношение к нему у Вагнера было более сложным, чем у Чехова. Когда фельетон был уже отправлен в газету, Вагнер просил Чехова послать Суворину телеграмму и отменить публикацию. Чехову это было не по душе. Слова «баба, кисель» могли относиться к этому факту. Тем не менее телеграмма была отправлена, но почему-то не дошла. Фельетон был напечатан.

Авторство Чехова долго оставалось тайной. Первым узнал об этом К. А. Тимирязев, к которому несколько лет спустя, на обеде, устроенном «Русской мыслью», подошел Чехов и, заявив: «А мывместе с вами в поход ходили», — рассказал всю историю «Фокусников»<sup>23</sup>.

Сразу же после появления фельетона в печати Вагнер сообщил Чехову, что «Фокусники» произвели эффект бомбы, тем не менее официальной реакции не ожидается. Это не совсем так. Выступая с отчетным докладом на годичном заседании Общества акклиматизации, его секретарь признал, что в деятельности Общества были ошибки, которые делались несознательно, а между тем вызывали жестокие упре-

ки, и закончил свою речь «пожеланием дальнейшего преуспевания нашему Обществу и долгой плодотворной деятельности неутомимому его основателю и работнику Анатолию Петровичу Богданову»<sup>24</sup>.

Кончилось лето, разъехались временные обитатели богимовской усадьбы. Вскоре Чехов переселился в Мелихово и с Вагнером встречался редко. Но зато возникла переписка, по которой можно судить о том, что их связывало в последующие годы. К сожалению, до нас дошло только одно письмо Чехова к Вагнеру — с сообщением о публикации «Фокусников». В отношении же писем Вагнера к Чехову нам повезло больше. Их одиннадцать. Все они хранятся в Отделе рукописей Государственной библиотеки им. В. И. Ленина. Они охватывают период с октября 1891 по декабрь 1894 г. (на некоторых из них даты проставлены рукой Чехова). Письма, как правило, длинные, по несколько небольших листов, исписанных очень мелким, но размашистым почерком, взволнованные. Причина появления большинства из этих писем и волнения их автора — хлопоты об организации популярного естественнонаучного журнала, в котором, по словам Вагнера, Чехов «принял близкое участие», хотя и «более платонически, чем реально»<sup>25</sup>.

Вагнер был человек обстоятельный, дорожил советами Чехова в незнакомом деле, и поэтому из писем можно понять все, что происходило с журналом. Идея эта возникла у Вагнера и Чехова, по-видимому, еще в Богимове. Благодаря знакомству Вагнера с Сувориным, который дважды приезжал на дачу к Чехову, мысли о журнале начали приобретать реальные очертания. Чехов участвовал в обсуждении планов и даже придумал журналу название — «Натуралист». «...Вы таким обра-

<sup>20</sup> Там же, с. 253.

<sup>21</sup> Чехов А. П. Письма. Т. 4, с. 264—265.

<sup>22</sup> Тимирязев К. А. Пробуждение естествознания в третьей четверти века. — В кн.: История России в XIX в., т. 7, вып. 26, 1907, с. 23.

<sup>23</sup> Федоров И. В. А. П. Чехов и К. А. Тимирязев. — Наука и жизнь, 1949, № 9, с. 23.

<sup>24</sup> Труды Русского общества акклиматизации животных и растений. Т. 5, ч. 4, вып. 1, 1892, с. 8. См. также комментарии В. Б. Катаева к Полн. собр. соч. А. П. Чехова, т. 16, с. 507—509.

<sup>25</sup> Здесь и далее письма В. А. Вагнера цит. по: Отдел рукописей ГБЛ, ф. 331, к. 38, ед. хр. 3.

зом выходите его крестным отцом...» — писал Вагнер.

Через некоторое время Вагнер представил Суворину программу будущего издания, обсудил с ним финансовые дела, «штатное расписание», в которое, помимо двух главных редакторов (В. А. Вагнера и известного зоолога В. М. Шимкевича), входила еще лишь одна должность — секретарь редакции с окладом 600 руб. в год, и даже обусловил необходимость выпски для редакции книг и журналов на 200 руб. ежегодно. Суворин дал объявление в газетах. Вагнер с полным энтузиазмом начал работать.

В письме от 23 марта 1893 г. подробно описывается структура журнала и круг его авторов. «В настоящее время, — пишет Вагнер, — нам обещали свое сотрудничество профессора всех университетов, кроме Томского, к которому не обращались. Обещали участие: Ковалевский, Мечников, Воейков, Меншуткин, Иностранцев, Бекетов, Глазенап, Анучин. <...> Очень бы хотелось, чтобы три первых книжки заключали в себе статьи, по которым бы читатели могли себе составить близкое представление о тех задачах, которые хотелось достигнуть журналом. А они широки. <...> Меня это дело поглощает настолько, что я как-то позабыл даже о своей докторской диссертации, а она, кажется, задалась...»

И в конце письма снова: «...До сих пор не заявлял в университет о том, что с будущего года открываю курс биологии. Журнал как-то вытеснил у меня из головы первоначальные планы и соображения».

А между тем Вагнера ожидала неприятная новость. Суворин уже больше чем месяц тому назад сообщил Чехову, что издавать журнал не хочет и объяснил почему: боится материализма Вагнера. Дело принимало некрасивый оборот. Суворин выходил из игры, когда это уже было поздно и неприлично. Чехов как посредник в организации журнала чувствовал себя крайне неловко, был раздражен поведением Суворина и ответил ему письмом, в котором с досадой опровергал его довод: «Вас пугают материалистические идеи Вагнера? Тоже, нашли ма-

териалиста!» «Впрочем, — писал Чехов, — дело не в этом. Если журнал не подухе, то издавать его не следует».

Кстати говоря, примерно в это время дружба Чехова с Сувориным дала первую трещину и вскоре оборвалась совершенно.

А Вагнер не понимал причины молчания Суворина, волновался за судьбу журнала до отчаяния и надеялся на встречу с Чеховым: «...На дворе скоро май, а Вас все нет и нет! Время же тянется для меня, как для посаженного на кол: час за год! Судите сами: о журнале спрашивают, переводы для журнала делают, статьи для журнала присылают, а издатель журнала молчит, как утопленник. <...> Ждут Вас здесь 100 000 Ваших поклонников и я один — как 200 000 поклонниц, взятых вместе. Неужели все это Вас ни на волос не трогает и Вы не велите запрягать лошадей?»

Чехов вынужден был обсуждать с Сувориным версии предстоящих объяснений. Он делает попытки разными способами охладить пыл Вагнера и отговорить его от издания журнала. Какое там! Вагнер и слышать ничего не хочет. Заговорщик из Чехова был плохой — в конце концов он рассказал Вагнеру все как есть. Поскольку в ответном письме от 20 мая Вагнер последовательно опровергал все его аргументы, то мы знаем, какими они были. Чехов писал, что между Сувориным и Вагнером нет «единомыслия и искренности», что Суворин не хочет иметь с ним дела, а насильно мил не будешь и т. д. Кроме того, Чехов, как человек, более опытный в издательских делах, объяснял, что раз журнал не утверждён и нет письменного договора, то издатель имеет формальное право от него отказаться.

Это вызвало настоящую бурю. Вагнеру трудно было примириться с провалом так увлекших его планов. Ему кажется, что еще можно выработать какой-то компромисс. Он готов уменьшить объем журнала, сократить до минимума все расходы. «У меня нет денег, — признается он, — но я могу выплатить Суворину обязательство выплатить в известный срок (разом

не имею возможности) все то, что им будет недовыручено с этой суммы от подписчиков».

И наконец он открывает Чехову причину, почему ему так дорог этот журнал:

«Выставляя по необходимости такую программу журнала, которая уже была одобрена начальством... мы собираемся пользоваться ею ровно настолько, насколько необходимо пользоваться фразом, чтобы говорить за конторкой защиты, или рясою для священника за аналоем. Не отступая от того, к чему она нас обязывает формально, мы вовсе не предполагаем говорить о красоте ангорских кошечек или таких листьях виктории, на которых младенцы плавать могут. <...> Главная задача журнала предполагается в разработке таких вопросов и данных естествознания, которые начинают залегать в основы гуманитарных наук: истории, социологии, юриспруденции вообще и криминалистике в частности, философии, психологии, этики, эстетики, политической экономии, [а также] ерунды, которую принято называть метафизикой, теософией, спиритизмом, теологией и пр. и пр. и пр., им же несть числа».

Да, пожалуй, Суворин все же не зря боялся Вагнера.

Написав почти 10 страниц, Вагнер спохватывается: «Но всемо на свете бывает конец. Вы вправе требовать, чтобы он наступил и для моих рассуждений о журнале. Довольно! довольно! довольно!».

А в следующем письме (без даты) — снова: «Кто о чем, дорогой Антон Павлович, а я все о журнале». Через Чехова он просит Суворина дать объявление в «Новом времени», что издание «Натуралиста» не может быть осуществлено по причине временной перегруженности магистра зоологии В. А. Вагнера специальными работами. «Письмо это, — пишет Вагнер, — развязало бы мне руки: я исподволь продолжал бы хлопотать о журнале».

С этой мыслью Вагнер не расставался много лет. Ему все грезился журнал, о котором они мечтали вместе с Чеховым. В 1912 г. эти мечты воплотились в жизнь: Вагнер и Писаржевский основали «Природу».

## ЛАУРЕАТЫ НОБЕЛЕВСКОЙ ПРЕМИИ 1981 ГОДА

По физике — Н. Бломберген, А. Шавлов, К. Зигбан

Нобелевская премия по физике за 1981 г. присуждена американским физикам Николаю Бломбергену и Артуру Шавлову — за вклад в развитие лазерной спектроскопии — и шведскому физикам Каю Зигбану — за вклад в развитие электронной спектроскопии.

Н. Бломберген (Nicolaas Bloembergen) родился 11 марта 1920 г. в Дордрехте (Нидерланды). В 1943 г. окончил Утрехтский университет. С 1946 г. работает в Гарвардском университете (с 1957 г. — профессор). Член Национальной академии наук США с 1960 г.

А. Шавлов (Arthur L. Schawlow) родился 5 мая 1921 г. в Маунт-Верноне (США). Окончил университет Торонто (Канада) в 1942 г. В 1949 г. получил степень доктора философии. В 1949—1951 гг. работал в Колумбийском университете, в 1951—1961 гг. в лаборатории «Белл-Телефон». С 1961 г. — профессор Станфордского университета.

Основные работы Н. Бломбергена и А. Шавлова относятся к квантовой электронике, нелинейной оптике и лазерной спектроскопии.

Квантовая электроника (мазеры и лазеры) родилась из радиоспектроскопии и вызвала подлинную революцию во многих областях науки и техники, и в том числе в традиционной спектроскопии<sup>1</sup>. А. Шавлов — один из ведущих радиоспектроскопистов — в 1958 г. совместно с



Н. Бломберген.

Фото ЮПИ — ТАСС.



А. Шавлов.

Фото АП — ТАСС.

Ч. Таунсом предложил принципиальную схему лазера. Оптическая спектроскопия стала переживать вторую молодость после разработки примерно к 1970 г. достаточно хороших лазеров, перестраиваемых по длине волны. Высокая монохроматичность и мощность излучения таких лазеров не только позволили усовершенствовать метод в количественном отношении, но и привели к созданию качественно новой области — нелинейной лазерной спектроскопии.

Нелинейная спектроскопия базируется на методах нелинейной оптики, теоретические основы которой были заложены работами Н. Бломбергена, С. А. Ахманова и Р. В. Хохлова<sup>2</sup>. В настоящее время методы нелинейной лазерной спектроскопии довольно многочисленны и

глубоко развиты. Они позволяют достичь, казалось бы, невозможного — осуществить измерение тончайших спектроскопических эффектов внутри широкой доплеровской линии. Перечислим основные из этих методов<sup>3</sup>.

**Метод насыщения.** В его основе лежит облучение исследуемого вещества двумя волнами одной частоты, бегущими навстречу друг другу. Одна из этих бегущих волн сильная. Кванты излучения этой волны поглощаются атомами исследуемого вещества, в результате чего они переходят в возбужденное состояние. При этом интенсивность сильной волны такова, что число возбужденных и невозбужденных атомов практически выравнивается — как говорят, переход насыщается. Насыщение перехода означает,

<sup>1</sup> За разработку принципиально новых методов генерации когерентных волн, приведших к созданию мазеров и лазеров, советским физикам Н. Г. Басову, А. М. Прохорову и американскому физика Ч. Таунсу была присуждена Нобелевская премия по физике 1964 г.

<sup>2</sup> См.: Бломберген Н. Нелинейная оптика. М.: Мир, 1966; Ахманов С. А., Хохлов Р. В. Проблемы нелинейной оптики. М.: ВИНТИ АН СССР, 1964.

<sup>3</sup> См.: Летохов В. С., Чеботаев В. П. Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М.: Наука, 1975.

что поглощение веществом сильной волны выходит на некоторый уровень и не зависит от ее интенсивности. Другая (встречная) волна — слабая и насыщения не вызывает. Оказывается, что пропускание исследуемым веществом слабой волны резонансно возрастает при прохождении частоты обеих волн через центр доплеровски уширенной линии поглощения. Дело в том, что слабая волна в этом случае взаимодействует с теми же самыми частицами, которые насыщены сильной волной.

Первая экспериментальная реализация метода двухфотонной бездоплеровской спектроскопии с использованием встречных волн независимо и одновременно была осуществлена в 1974 г. Н. Бломбергом и А. Шавловым.

Метод насыщения послужил основой для разработки одного из наиболее эффективных способов стабилизации частоты газовых лазеров — по пику мощности генерации в лазере с внутрирезонаторной нелинейно-поглощающей ячейкой<sup>4</sup>. На этом принципе созданы лазеры с относительной стабильностью частоты лучше чем  $10^{-14}$ , что позволило по-новому подойти к проблеме создания эталонов длины и времени и к измерению фундаментальных мировых констант.

**Метод нелинейной флуоресценции**<sup>5</sup> основан на том факте, что при определенных условиях поглощение веществом квантов излучения стоячей световой волны приводит к резонансному изменению населенности энергетических уровней исследуемых атомов. Такое изменение населенности можно обнаружить по увеличению интенсивности сигнала флуорес-

ценции при совпадении частоты возбуждающего света с частотой атомных переходов — при резонансе. На фотодетектор, регистрирующий флуоресценцию, при этом не попадает излучение волн, возбуждающих исследуемые переходы в веществе. Использование этого метода позволяет в настоящее время осуществлять регистрацию практически отдельных атомов.

**Метод активной спектроскопии комбинационного рассеяния**<sup>6</sup>. Вещество, способное к комбинационному рассеянию, возбуждается двумя световыми волнами, разность частот которых изменяется в ходе измерения так, что проходит через частоту колебательного перехода исследуемых атомов. Затем это когерентное колебательное возбуждение «зондируется» третьей световой волной. Метод КАРС, как его принято называть среди специалистов, позволяет досконально исследовать структуру колебательных уровней, осуществлять дистанционное зондирование пламени, экспресс-анализ выхлопов двигателей внутреннего сгорания и т. д. В настоящее время он может быть применен к любому виду рассеяния или поглощения.

**Метод внутрирезонаторной лазерной спектроскопии**<sup>7</sup>. Если в лазере, спектр излучения которого достаточно широкий, устранить всякую селекцию типов колебаний, то он становится чрезвычайно чувствительным к внесению в его резонатор каких-либо веществ, поглощающих в этом спектре. Метод позволяет регистрировать как линии стабильных веществ, так и спектральные линии, например, короткоживущих «осколков» молекул. Уже реализованная в лабораторных условиях чувствительность метода позволяет регистрировать линии поглощения вещества, которые соответствуют ослаблению светового пучка в два раза, если бы он прошел в этом веществе путь в 10 000 км.

**Спектроскопия высокоионизированных атомов.** Первоначально ионизированные атомы получали в разрядах, дугах и т. п. Однако температуры этих «систем» довольно низки и поэтому была невелика кратность ионизации атомов (т. е. число «оторванных» от атома электронов). Качественный скачок в рентгено-спектроскопии был совершен, когда спектрометры вынесли в космос и стали непосредственно регистрировать рентгеновское излучение Солнца<sup>8</sup>. При этом температура излучающего объекта поднялась до 1—10 млн градусов. Следующий качественный скачок был совершен, когда для нагрева вещества в лабораторных условиях было применено лазерное излучение и были получены практически любые температуры вплоть до термоядерных<sup>9</sup>. Исследования полученных таким методом высокоионизированных атомов были начаты и успешно развиваются в лабораториях лазерной плазмы и спектроскопии Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР<sup>10</sup>. Поскольку метод позволяет получать ионы любого элемента и практически любой кратности, были измерены и уточнены длины волн многих рентгеновских переходов различных атомов.

Королевская академия наук в Стокгольме высоко и по достоинству оценила вклад Н. Бломберга и А. Шавлова в эту область физики.

В 1956 г. Н. Бломберг предложил один из основных приборов квантовой электроники СВЧ-диапазона — квантовый

<sup>4</sup> Метод внутрирезонаторной нелинейно-поглощающей ячейки предложен в 1967 г. В. С. Летоховым, В. Н. Лисицыным и В. П. Чеботаевым, а также независимо П. Ли и М. Школьников (США). За разработку и применение нелинейных узких резонансов в оптике В. С. Летохову и В. П. Чеботаеву присуждена Ленинская премия 1978 г.

<sup>5</sup> Предложен Н. Г. Басовым и В. С. Летоховым в 1968 г.

<sup>6</sup> Как спектроскопический метод с использованием перестраиваемых лазеров был сформулирован С. А. Ахмановым в 1972 г.

<sup>7</sup> Предложен А. Ф. Сучковым в 1970 г.

<sup>8</sup> За исследование рентгеновского излучения Солнца группа сотрудников Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР во главе с С. И. Мандельштамом была удостоена Государственной премии СССР за 1977 г.

<sup>9</sup> Принцип лазерного нагрева вещества до термоядерных температур выдвинул Н. Г. Басовым и О. Н. Крохиным в 1962 г.

<sup>10</sup> Определенный цикл этих исследований был удостоен премии им. Д. С. Рождественского Академии наук СССР, присужденной С. И. Мандельштаму в 1976 г.

парамагнитный усилитель, т. е. усилитель, в основе которого лежит парамагнитный резонанс. Он предложил использовать низшие энергетические уровни парамагнитных ионов в кристаллах, соответствующим образом расщепленные постоянным магнитным полем, а возбуждение активной среды и получение инверсной населенности осуществлять по так называемой трехуровневой схеме, предложенной в 1955 г. Н. Г. Басовым и А. М. Прохоровым. В качестве одной из активных сред Бломбергеном рекомендовал использовать гадолиний в кристалле этилсульфата лантана: 1% Gd, 99%  $\text{La}(\text{C}_2\text{H}_5\text{SO}_4)_9\text{H}_2\text{O}$ .

Вскоре после этого предложения Г. Сквиллом и др. в 1957 г. был запущен первый парамагнитный усилитель на соединении такого типа. Создание парамагнитных квантовых усилителей произвело подлинную революцию в развитии приемных устройств СВЧ-диапазона, так как позволило резко увеличить чувствительность СВЧ-приемных устройств. Действительно, парамагнитный усилитель работает при низких температурах (около 4 К), что приводит к резкому снижению тепловых шумов. Применение парамагнитных усилителей в приемниках позволило создать качественно новую аппаратуру и, в частности, провести фундаментальные исследования по радиолокации планет.

Большой и многолетний цикл работ Н. Бломбергеном относится к нелинейной оптике, т. е. оптике, где различные эффекты зависят от интенсивности излучения и развитие которой неразрывно и взаимно связано с развитием лазеров.

После опытов П. Франкена и др. (1961), в которых впервые наблюдалась генерация 2-й гармоники рубинового лазера, Н. Бломбергеном в 1962 г. была развита теория нелинейного взаимодействия в веществе между четырьмя световыми волнами. Другими словами, была развита теория поляризации, кубичной по амплитуде светового поля. Эта теория, первоначально разработанная для процесса генерации 3-й гармоники, позволила Н. Бломбергеному построить осенью 1962 г. теорию вынужденного комбинационного рассеяния (ВКР) — буквально сразу же после его экспериментально обнаружения Е. Вудберри и В. Нг.

Наряду с теоретическими исследованиями в области нелинейной оптики Н. Бломбергеному принадлежат также многочисленные экспериментальные работы. Например, им впервые наблюдалась 2-я гармоника рубинового лазера при отражении от полупроводникового кристалла арсенида галлия (1963). Ему принадлежат первые наблюдения и исследования ВКР в поле пикосекундных световых импульсов, вынужденного концентрационного рассеяния (1970), ряда эффектов вынужденного комбинационного рассеяния в газах и т. д.

Н. Бломбергеном проведен (и ведется до сих пор) ряд исследований по нелинейной лазерной спектроскопии. В частности, в 1974 г. он выполнил первые опыты по двухфотонной внутридоплеровской спектроскопии<sup>11</sup>, т. е. спектроскопии, свободной от доплеровского уширения (одновременно и независимо такого рода опыты были выполнены А. Шавловым). В опытах Н. Бломбергеном были исследованы узкие двухфотонные резонансы в атомах натрия. Исследования проводились с помощью импульсного перестраиваемого по частоте лазера на красителе. В результате применения двух встречных бегущих волн с противоположными направлениями круговой поляризации в сигнале флуоресценции наблюдалось сверхтонкое расщепление.

Ряд теоретических и экспериментальных работ Н. Бломбергеном последних лет посвящен исследованию многофотонной диссоциации молекул в сильном инфракрасном поле лазерного излучения.

В предложенной А. Шавловым принципиальной схеме лазера оптическая накачка активной среды (пары цезия) осуществляется по уже упомянутой трехуровневой схеме. Возбу-

ждаемая активная среда помещена в резонатор Фабри—Перо<sup>12</sup>. Была дана также простая теория резонатора Фабри — Перо применительно к лазеру — с помощью модели металлического волновода.

В 1959 г. А. Шавлов предложил использовать кристаллы искусственного рубина в качестве активной среды лазера. Именно на этом кристалле в 1960 г. Т. Мейманом был запущен первый в мире лазер.

После создания твердотельных лазеров А. Шавловым выполнен ряд работ по спектроскопии лазерных кристаллов, отмечена возможность применения их для создания стабильных по частоте источников света. Это, по существу, были первые работы по лазерной спектроскопии. В 1961 г. А. Шавлов обратил внимание на возможность «выгорания дырки» в спектральной линии усиления люминесцентного лазерного кристалла из-за ее неоднородного уширения при низких температурах. В дальнейшем эффект «выгорания дырки» был найден в газах, спектральные линии которых при низком давлении уширены неоднородно из-за эффекта Доплера.

Основное направление работ А. Шавлова в последнее десятилетие — нелинейная лазерная спектроскопия высокого разрешения, развитие методов спектроскопии, свободной от доплеровского уширения (методы насыщения, нелинейной флуоресценции, двухфотонного резонанса, квантовых биений и т. д.). В результате этих работ была, в частности, разрешена сверхтонкая структура атомов (D — линии натрия, 1971 г.) и молекул (P и R — линии полосы 43—Obl<sub>2</sub>, 1972 г.). Развитие этих работ позволило с наивысшей в настоящее время точностью определить значения различных спектроскопических констант атома водорода (постоянной Ридберга, лэмб-ризерфордовского сдвига и т. д.), что имеет фундаментальное значение для науки, поскольку атом водорода

<sup>11</sup> Существование подобных узких двухфотонных резонансов было предсказано В. П. Чеботавым и др. в 1970 г.

<sup>12</sup> Резонатор Фабри—Перо для квантовых генераторов был независимо предложен А. М. Прохоровым и Р. Дике в 1958 г.

остаётся «пробным камнем» для всех квантовомеханических теорий.

В 1975 г. А. Шавловом была отмечена возможность радиационного охлаждения частиц до температуры, близкой к абсолютному нулю. Такое охлаждение связано с резким уменьшением скорости движения атомов и достигается световым давлением на частицы, возникающим при поглощении ими света.

В работах А. Шавлова последних лет предложены и успешно развиваются различные новые методы лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения. К числу этих методов относится, например, так называемая внутридуплеровская двухфотонная оптогальваническая спектроскопия (1979). Так же, как и в методе двухфотонной внутридуплеровской спектроскопии, упомянутом выше, двухфотонные переходы возбуждаются стоячей световой волной. Однако исследуемый газ находится теперь в газоразрядной трубке. Информацию о двухфотонном поглощении даёт изменение импеданса, которое вызывают возбуждённые атомы. Основное достоинство этого метода — в его простоте, так как схема регистрации двухфотонных резонансов — чисто электронная.

В последнее время А. Шавловом был предложен и развит так называемый поляризационно-интермодуляционный метод (1981), соединяющий преимущества модуляционного и поляризационного методов.

★

К. Зигбан (Kai M. Siegbahn) родился 20 апреля 1918 г. Член Шведской королевской академии наук. В 1944 г. получил степень доктора философии в Стокгольмском университете. Работал в Нобелевском институте физики. С 1951 г. — профессор Высшей технической школы в Стокгольме, с 1954 г. по настоящее время — профессор университета в г. Упсале и директор Института физики при этом университете.

Бурное развитие физики в начале нашего столетия привело к интенсивным исследованиям различных спектральных



К. Зигбан. Фото АП — ТАСС.

зависимостей в характеристическом оптическом излучении атомов, в рентгеновском излучении твёрдых тел, в фотоэффекте. В конечном итоге эти исследования послужили экспериментальным фундаментом при создании квантовой механики.

Изучение энергетического спектра электронов, выбиваемых рентгеновским излучением из различных материалов, было также начато в 10—20-х годах нашего столетия. Однако исследования в этом направлении ограничились лишь несколькими первыми работами. Основная причина заключалась в значительно худшем (по сравнению с абсорбционными и особенно эмиссионными рентгеновскими спектрами) спектральном разрешении<sup>13</sup>.

Датой рождения метода электронной спектроскопии для химического анализа (ЭСХА, как назвал его К. Зигбан), можно считать 1951 г., когда К. Зигбан начал осуществлять программу исследований энергетических спектров электронов, выбиваемых рентгеновским излучением,

с очень высоким разрешением. Разработка необходимого для этого электронного спектрометра заняла 3 года, и это несмотря на то, что прототип спектрометра с двойной фокусировкой для ядерной спектроскопии радиоактивных источников был создан им ещё в 1946 г. Проблемы здесь заключались как в формировании магнитного поля, необходимого для двойной фокусировки, так и в монохроматизации рентгеновского излучения, которое даёт вклад в измеряемую ширину электронного спектра.

После преодоления всех трудностей первые же эксперименты дали удивительные результаты, которые изменили направление исследований. Были получены очень узкие электронные спектры, максимумы которых соответствовали энергиям связи электронов на внутренних оболочках атомов, а ширина линий могла быть доведена до естественной ширины уровней. В течение последующих примерно десяти лет были изучены энергии связи электронов практически во всех элементах Периодической системы. Притом точность измерений намного превосходила ту, с которой были измерены эти параметры в рентгеноспектроскопии, и в некоторых случаях расхождения в энергиях связи доходили до 50%.

Электронные спектры очень чутко реагируют на окружение излучающего атома и поэтому стали мощным инструментом в изучении химических сдвигов. Величина сдвига зависит от направления связи, структуры и состава комплекса, с которым химически связан излучающий атом. Это позволяет определять структурную формулу вещества. О чувствительности метода говорит, например, тот факт, что в молекуле витамина В<sub>12</sub> один атом кобальта связан со 180 атомами других элементов, и тем не менее линии кобальта наблюдаются с хорошим контрастом. Недостаток, из-за которого спектроскописты долгое время игнорировали саму возможность использования для анализа эжектируемых электронов, а именно существенные потери энергии электронами, выходящими с большой глубиной, — в методе

<sup>13</sup> Небезынтересно отметить, что наибольшие достижения в развитии рентгеновской спектроскопии того времени принадлежат М. К. Зигбану, отцу К. Зигбана, который был за них удостоен Нобелевской премии 1924 г.

ЭСХА стал достоинством. Благодаря высокой чувствительности метода, для анализа используется поверхностный слой вещества толщиной всего лишь порядка 10 нм. Это позволяет изучать образование поверхностных пленок окислов, адсорбированные молекулы на поверхности, коррозию и кинетику поверхностных реакций и т. д.

С уверенностью можно сказать, что работами К. Зигбана с сотрудниками метод ЭСХА доведен практически до совершенства<sup>14</sup>. Соответствующие установки выпускаются промышленностью. Они содержат

в настоящее время практически все известные методики спектроскопии и дифракции электронов и ионов. Эти установки — обязательная принадлежность любой лаборатории, занимающейся химическим анализом или физикой поверхности. Присуждение Нобелевской премии по физике за 1981 г. Каю Зигбану

<sup>14</sup> Подробнейшее изложение техники, методики и результатов метода ЭСХА читатель может найти в книге: Зигбан К. и др. Электронная спектроскопия. М.: Мир, 1971.

рассматривается огромной аудиторией физиков и химиков как признание его заслуг в создании столь совершенного и уникального инструмента исследований и выдающихся открытий в области электронной спектроскопии.

**А. З. Грасюк,**

доктор физико-математических наук

**И. Г. Зубарев,**

доктор физико-математических наук

Физический институт

им. П. Н. Лебедева АН СССР  
Москва

## По химии — К. Фукуи и Р. Хоффман

Нобелевская премия по химии за 1981 г. присуждена химикам-теоретикам Кеничи Фукуи (Япония) и Рольду Хоффману (США) за вклад в развитие теории механизмов химических реакций.

К. Фукуи (Kenichi Fukui) родился 4 октября 1918 г., окончил университет в Киото в 1941 г., работал преподавателем этого университета с 1943 г., докторскую степень получил в 1948 г., с 1951 г. — профессор химии в университете г. Киото.

Р. Хоффман (Roald Hoffmann) родился 18 июля 1937 г. в Польше. С 1949 г. живет в США. Учился в Колумбийском и (с 1958 г.) в Гарвардском университетах. Окончил Гарвардский университет в 1960 г. После окончания университета в 1960—1961 гг. в течение 9 месяцев стажировался на физическом факультете Московского университета, затем работал в Гарвардском университете, где в 1962 г. получил степень доктора философии. С 1965 г. Р. Хоффман работает в Корнеллском университете (г. Итака), с 1968 г. — профессор этого университета.

Работы обоих ученых оказались пионерскими и сыграли определяющую роль в развитии качественных квантовохимических представлений об электронных факторах, управляющих механизмами химических реакций.



К. Фукуи.

Фото АП — ТАСС.



Р. Хоффман.

Фото ЮПИ — ТАСС.

Присуждение Нобелевской премии за работы по квантовой химии подчеркивает значение этого направления для общего развития химической науки. Действительно, концепции орбитальных взаимодействий, развитые в работах К. Фукуи, Р. Хоффмана и других теоретиков пронизывают современную химию во всех ее областях.

К. Фукуи и Р. Хоффман принадлежат к разным поколениям химиков-теоретиков. Они живут и работают на противопо-

ложных концах земного шара, однако в их творческих биографиях, в их научном подходе и научных интересах много общего. Для их творчества характерны глубокий интерес к проблемам экспериментальной химии, превосходное знание химического эксперимента и искусное владение теоретическими методами квантовой химии.

Первые работы К. Фукуи, которые в конечном счете принесли ему Нобелевскую премию, появились в 1952 г. В это время

закончился начальный период развития современной квантовой химии; в основе которой лежит теория молекулярных орбиталей. Эта теория применялась главным образом к  $\pi$ -электронным молекулярным системам для объяснения и предсказания электронных свойств, спектров и реакционной способности ароматических и других сопряженных углеводородов, а позднее и гетероатомных соединений. Основным расчетным методом был тогда простой метод молекулярных орбиталей Хюккеля.

Молекулярная орбиталь — это волновая функция, описывающая пространственное положение одного из электронов молекулы. В соответствии с принципом Паули, каждая молекулярная орбиталь может быть заполнена двумя электронами с противоположными спинами (или только одним). Электроны, которые способны принимать участие в образовании химической связи, могут занимать  $\delta$ - и  $\pi$ -молекулярные орбитали. Первые заполняются электронами, локализованными вдоль химических связей. Область локализации вторых находится вне плоскости химической связи. Соответственно пары электронов относят к  $\sigma$ -связям,  $\pi$ -связям,  $\sigma$ -или  $\pi$ -неподеленным парам.  $\pi$ -электроны соседних атомов образуют единую (сопряженную)  $\pi$ -систему.

Одной из первых трудных проблем, с которыми столкнулась молодая наука, оказалась проблема ароматического замещения и вообще проблема реакционной способности сопряженных молекул по отношению к атакующим реагентам нуклеофильной, электрофильной и радикальной природы. Естественно было попытаться непосредственно связать реакционную способность молекулы с ее электронным строением. В результате сложился подход, получивший название метода индексов реакционной способности. К началу работ К. Фукуи был предложен ряд индексов, которые отражали представления об индуктивном и мезомерном влиянии атакующих реагентов. Такие индексы, как полные  $\pi$ -электронные заряды и порядки связей, свободные валентности, поляризуемости, энергии лока-

лизации, учитывали вклад в энергию активации химической реакции электростатического взаимодействия атакующих реагентов с реакционным центром или изменение  $\pi$ -электронной энергии (энергии сопряжения) реагирующей молекулы при «выключении» данного реакционного центра из сопряжения из-за образования связи реакционный центр — атакующий реагент. Теория оказалась на первых порах весьма успешной, однако вскоре обнаружился ряд досадных исключений, для которых предсказания теории оказались неверными. Число этих исключений стало расти по мере перехода к более точным расчетам методом самосогласованного поля. Расхождение предсказаний теории с экспериментом обнаружилось даже для таких «классических» объектов, как бутадиев, нафталин, антрацен, азулен и т. д.

Предложил и развил впоследствии теорию граничных орбиталей, К. Фукуи сделал важнейший шаг вперед на пути создания последовательной квантовохимической теории реакционной способности. В теории граничных орбиталей подчеркивается важность учета взаимодействия электронов образующейся связи реакционный центр — атакующий реагент с остальной сопряженной системой. К. Фукуи рассмотрел вопрос о реакционной способности как задачу о межмолекулярном взаимодействии реагирующих молекул. Использование теории возмущений для оценки энергии взаимодействия в переходном состоянии позволило ему сохранить простоту приближения изолированной молекулы и получить выражения для индексов реакционной способности в терминах невозмущенных молекулярных орбиталей реагентов. Кроме того, К. Фукуи предложил учитывать вклад в энергию взаимодействия только членов, возникающих от смешивания граничных орбиталей, т. е. верхней занятой и нижней вакантной, поскольку по теории возмущений этот вклад является основным. Это приближение легло в основу теории и дало ей название.

Предложенные К. Фукуи индексы позволили интерпрети-

ровать реакционную способность в тех случаях, когда другие подходы оказывались неудовлетворительными.

Решающим достоинством теории К. Фукуи оказалась ее общность. Эта теория позволяет описать не только одноцентровые атаки, но и реакции с многоцентровыми переходными состояниями.

В начале 60-х годов, когда стали развиваться расчеты  $\delta$ -электронных молекул (в которых разделение на  $\pi$ - и  $\delta$ -электроны невозможно), К. Фукуи применил свою теорию к  $\delta$ -системам. Вскоре после открытия правил Вудворда — Хоффмана К. Фукуи предложил подход к описанию мономолекулярных реакций, рассмотрев взаимодействие верхних занятых и нижних вакантных молекулярных фрагментов, претерпевающих перестройку в ходе реакции. В 70-х годах К. Фукуи развил теорию граничных молекулярных орбиталей в применении к каталитическим реакциям.

По мере развития расчетных методов квантовой химии использование теории граничных орбиталей для количественных представлений, как и вообще приближение индексов реакционной способности, стало отходить на второй план. Теория сделала следующий шаг вперед и перешла к прямым количественным расчетам энергий и структурных переходных состояний методами самосогласованного поля и конфигурационного взаимодействия. Вместе с тем более ясным стало глубокое значение теории К. Фукуи для качественного предсказания реакционной способности и механизмов химических реакций. Оказалось, что наиболее важным в теории является не само приближение граничных орбиталей, которое используется лишь для создания простой расчетной схемы, а квантовохимический анализ энергии взаимодействия реагирующих молекул и выделение орбитальных вкладов в это взаимодействие. Именно на этой основе сформировалась концепция орбитальных взаимодействий, которая сейчас господствует в химии.

Термические и фотохимические реакции, структурно стабильных молекул и переходных состояний, донорно-акцептор-

ные комплексы, каталитические реакции — вот далеко не полный перечень проблем, понимание которых с единых позиций дает концепция орбитальных взаимодействий.

К. Фукуи продолжает активно работать и в настоящее время. Он — один из самых авторитетных специалистов в области теоретической химии в Японии. Сейчас его интересы связаны с проблемами расчета и анализа поверхностей потенциальных энергий химических реакций, а также каталитических металло-комплексных систем.

Начало научной деятельности Р. Хоффмана приходится на тот период развития квантовой химии, когда теория  $\Pi$ -электронных систем была в основном завершена, а теория  $\sigma$ -электронных молекул только начинала развиваться. Молодой исследователь быстро добился первого успеха, предложил использовать для расчета  $\sigma$ -электронных молекул расширенный метод Хюккеля, который часто называют также методом Хоффмана. Метод оказался довольно удачным, особенно при исследовании конформаций и состоянии молекулярных орбиталей сложных молекул. Явный учет перекрытия атомных орбиталей в методе Хоффмана позволяет правильно передать наиболее важные особенности орбитальных взаимодействий в  $\sigma$ -системах, а простота метода делает его вполне доступным и приемлемым для расчетов даже очень больших молекулярных систем.

К тому времени, когда Р. Вудворд предложил Р. Хоффману теоретически объяснить некоторые особенности стереоспецифичности изучавшихся им в ходе синтеза витамина  $B_{12}$  реакции циклизации, Р. Хоффман провел своим методом уже довольно много расчетов органических молекул и хорошо знал, как устроены их молекулярные орбитали. Идея использования корреляционных диаграмм для анализа изменения энергий орбиталей в ходе реакции и условия сохранения симметрии орбиталей оказалась очень плодотворной. Успех Р. Вудворда и Р. Хоффмана во многом определялся тем, что они глубоко оценили универсальную применимость сформулированных ими

правил сохранения орбитальной симметрии для согласованных реакций.

В 1965 г. появились первые совместные публикации, а в 1969 г. в известной монографии были подведены итоги применения правил Вудворда — Хоффмана к самому широкому кругу термических и фотохимических органических реакций. Достаточно только перечислить их основные типы, чтобы показать, насколько значительным оказалось это достижение: электроциклические реакции (т. е. мономолекулярные реакции замыкания цикла), бимолекулярные реакции циклоприсоединения и циклораспада, сигматропные реакции перемещения  $\sigma$ -связанной группировки, реакции переноса и элиминирования групп, хелотропные реакции синхронного образования или разрыва двух  $\sigma$ -связей, оканчивающихся на одном центре.

Правила Вудворда — Хоффмана вскрывают глубокую физическую причину формирования энергетического барьера на пути химического превращения. Если в ходе химической реакции новые связи образуются одновременно с разрушением старых, то говорят, что реакция протекает по согласованному механизму. Если новые связи образуются только после разрыва старых, то система обязательно проходит через бирадикальное состояние, в котором по крайней мере два электрона разорвавшейся связи оказываются несвязанными и занимают каждый свою несвязывающую молекулярную орбиталь. Такой процесс называют несогласованным, и в этом случае энергия активации велика — порядка энергии разрыва данной химической связи.

Вудворд и Хоффман показали, что реакция может протекать по согласованному механизму только в том случае, если между орбиталями исходного и конечного состояний реагентов можно установить соответствие по симметрии, при котором каждая занятая молекулярная орбиталь исходного состояния коррелирует с занятой орбиталью конечного состояния. В противном случае по крайней мере одна занятая молекулярная орбиталь в ходе реакции меняется местами с одной из вакантных,

при этом в области переходного состояния граничные орбитали системы инвертируются, а кривые их энергетических уровней пересекаются. В результате симметричное согласованное переходное состояние оказывается неустойчивым и переходит (в согласии с известной теоремой Яна — Теллера) в несимметричное, соответствующее несогласованному бирадикальному процессу.

Дестабилизация граничных молекулярных орбиталей, в результате которой возможна их инверсия, обусловлена довольно общим физическим явлением, так называемым фермиевским отталкиванием заполненных оболочек, существо которого связано с такими фундаментальными принципами, как принцип Паули и принцип суперпозиции. Подобное отталкивание проявляется, например, при сближении двух атомов благородных газов. В результате фермиевского отталкивания при сближении двух молекул или молекулярных фрагментов, необходимом для образования новых связей, может возникнуть резкая дестабилизация граничной орбитали, если две высоколежащих и близких по энергии орбитали при этом сильно перекрываются. Если эта дестабилизирующаяся молекулярная орбиталь в свою очередь может взаимодействовать с близкой к ней по энергии низколежащей вакантной орбиталью, то такое взаимодействие будет, наоборот, стабилизировать соответствующую орбиталь и препятствовать пересечению энергетических уровней. В подобной интерпретации устанавливается тесная связь между правилами орбитального контроля Вудворда — Хоффмана и теорией граничных орбиталей Фукуи. Становится ясно также, что симметрия является полезным, но не решающим критерием возможности или невозможности реализации согласованного механизма химической реакции. Она позволяет простым образом установить корреляцию орбиталей при анализе корреляционных диаграмм или определить, какие орбитали будут участвовать в «отталкиваемом» или связывающем взаимодействии. Однако решающим фактором является орбитальное взаимодействие, кото-

рое может быть большим или очень малым и при отсутствии строгой симметрии.

Примерно с начала 70-х годов интересы Р. Хоффмана смещаются из области чисто органической в область неорганической химии, теории строения комплексов переходных металлов, теории металлоорганических соединений. При этом Р. Хоффман показал, каким мощным средством теоретического анализа может быть метод корреляционных диаграмм. Он широко использовал также подход, при котором сложный комплекс разбивается на взаимодействующие фрагменты и выделяются доминирующие орбитальные взаимодействия.

Р. Хоффман использовал расчеты молекулярных орбиталей комплексов и металлоорганических соединений своим методом, который он последовательно усовершенствовал, в первую очередь как эвристическое средство, но в ряде случаев ему удалось сделать и количественные предсказания, подтверждавшиеся затем в экспериментальных работах и в более точных теоретических расчетах. Р. Хоффманом в последнее время систематически рассмотрены вопросы стереохимии моно- и биядерных комплексов с карбонильными, олефиновыми, ацетиленовыми, ароматическими лигандами. Им рассмотрен также ряд важных проблем реак-

ционной способности металлокомплексных систем, связанных с задачами катализа.

В 1978 г. Р. Хоффман вновь был в Советском Союзе. Его яркие и исключительно насыщенные лекции по основному вопросу теории металлоорганической химии произвели большое впечатление на советских ученых, с которыми Р. Хоффман постоянно поддерживает научные контакты.

**А. А. Багатурьянц**

кандидат химических наук

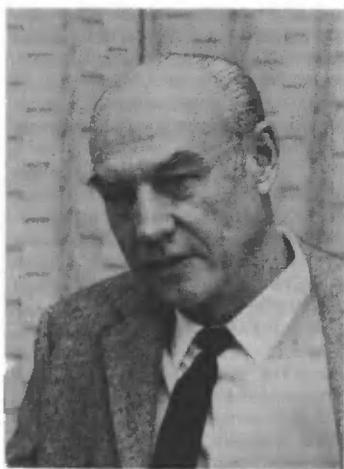
Институт органической химии  
им. Н. Д. Зелинского АН СССР  
Москва

## По медицине — Р. Сперри, Д. Хьюбел, Т. Визел

Нобелевская премия по медицине за 1981 г. присуждена американскому ученому Роджеру Сперри за выдающиеся открытия в области функциональной специализации полушарий мозга, американскому исследователю Дэвиду Хьюбелу и шведскому ученому Торстену Визелу за открытия в области обработки информации в зрительной системе.

Роджер Сперри (Roger Sperry) родился в Хартфорде (Коннектикут, США) 20 августа 1913 г. В 1935 г. окончил Оберлинский колледж, степень доктора философии получил в Чикагском университете в 1941 г. С 1941 по 1946 г. стажировался в Гарвардской лаборатории, в 1946—1953 гг. работал в Чикагском университете. С 1954 г. — профессор психологии Калифорнийского технологического института. Член Национальной академии наук США и Королевской академии наук.

В 50-е годы нашего столетия появилась целая система наук о закономерностях нервной деятельности: нейрофизиология, нейрохимия, нейроанатомия, нейрофармакология, нейроэтология и нейропсихология. Дальнейшее их развитие определилось эффективностью



Р. Сперри.

Фото ЮПИ — ТАСС.

используемых методов исследования. В частности, бурное развитие нейрофизиологии обусловила «методическая триада»: микроэлектродная техника регистрации реакций отдельных нервных клеток мозга, метод меченых атомов, позволивший изучать структурные основы динамики возбуждения нейронов и метод локальной перерезки нервных путей.

С именем Р. Сперри свя-

зано открытие селективной регенерации аксонов ганглиозных клеток, ведущих из сетчатки в мозг. В своих исследованиях Р. Сперри сочетал перерезку зрительного нерва у рыбы с локальным разрушением участка сетчатки, исключая тем самым регенерацию аксонов ганглиозных клеток, образующих зрительный нерв на этом участке сетчатки. Изучая затем распределение аксонов по поверхности и по глубине крыши среднего мозга, Р. Сперри установил, что при регенерации аксон «находит своего адресата», т. е. осуществляет контакт именно с теми нейронами, с которыми был связан до перерезки зрительного нерва. Своими работами Р. Сперри показал, что регенерация связей восстанавливает исходную нервную организацию, обеспечивая нормальную работу зрительной системы после операции.

Помимо этого, Р. Сперри первым исследовал взаимоотношения генетических факторов и внешней среды в формировании нервных связей. Изучая рефлекс лягушки, у которой предварительно было повернуто глазное яблоко в орбите глаза, а затем перерезан зрительный нерв, Р. Сперри обна-

ружил, что регенерация нерва и установление нервных связей зависит только от положения ганглиозных клеток на сетчатке, а не от ориентации глазного яблока. После такой операции лягушка воспринимала искаженную картину внешнего мира и неадекватно реагировала на зрительные раздражения. Кроме того, зрительную систему такого животного не удавалось «переучить»: каждое неадекватное движение лягушки Р. Сперри сопровождал отрицательным подкреплением, но нормальной реакции не добился. Следовательно, делает вывод Р. Сперри, существуют генетически запрограммированные связи между нейронами и эти связи не зависят от индивидуального опыта животного.

Основополагающее исследование функций больших полушарий головного мозга Р. Сперри выполнил в 1968—1974 гг. Для предотвращения припадков при тяжелом течении эпилепсии нейрохирурги перерезали мозолистое тело (скопление нервных волокон, связывающих оба полушария), а Р. Сперри проводил оригинальные психологические тесты. После этой операции, известной в нейрофизиологической литературе под названием операции «расщепленного мозга», больные при поверхностном осмотре не отличались от здоровых людей. Но Р. Сперри заметил, что при подаче различных сигналов только в одно полушарие у больных с «расщепленным мозгом» буквально одна рука не знает, что делает другая: предмет, опознанный наощупь одной рукой, человек не узнает, если ощупывает его другой. Точно также воспринимали оперированные лица запах, слуховые и зрительные сигналы. Из этих наблюдений Р. Сперри делает заключение, что после рассечения мозолистого тела процессы в каждом полушарии протекают независимо, словно действуют два человека — каждый со своим жизненным опытом. При этом в каждом полушарии представлены свои собственные функции: в левом — речь, письмо и счет, в правом — восприятие пространственных отношений и не идентифицируемое словами

опознание. Правда, речевые функции представлены и в правом полушарии, но лишь в элементарной форме, поэтому оперированные больные не могут назвать предмет, ощупывая его левой рукой, хотя легко узнают его среди других объектов.

Продолжая исследования, Р. Сперри выявил пластичность речевых функций: у больных с рассеченным мозолистым телом (в особенности у молодых) речевые функции правого полушария со временем совершенствуются. И Р. Сперри высказывает предположение, что уровень этих функций в правом полушарии низок потому, что левое полушарие подавляет в нем необходимые для их осуществления синаптические связи.

Все эти результаты позволили Р. Сперри сделать важнейший вывод: сознание нельзя связать ни с промежуточным мозгом, ни с мозжечком, ни с другими нижележащими структурами мозга. Большие полушария головного мозга и межполушарные связи — вот что образует нервный субстрат сознания.

Не менее значителен вклад в нейробиологию двух других лауреатов — Д. Хьюбела и Т. Визела.

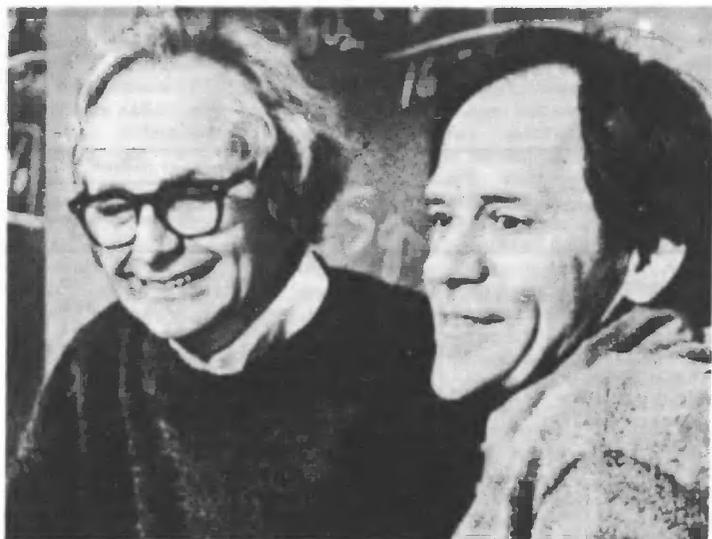
Дэвид Хьюбел (David Hubel) родился в Виндзоре (Онтарио, Канада) 27 февраля 1926 г. В 1947 г. окончил Мак-Гиллский университет в Монреале (Канада). Степень доктора медицины получил в 1951 г. С этого времени и до 1959 г. (с перерывом в три года — 1955—1958 — когда служил в армии США) работал в госпитале Джона Гопкинса. С 1959 г. — профессор медицинского факультета Гарвардского университета. Член Американской академии искусств и наук, Национальной академии наук США, Лондонского королевского общества и Германской академии естествоиспытателей («Леопольдина»).

Торстен Визел (Torsten Wiesel) родился в Упсале (Швеция) 3 июня 1924 г. Окончил Королевский институт в Швеции. В 1954 г. получил степень доктора медицины. В 1954—1955 гг. работал в Королевском медико-хирургическом институте в отделении детской психиатрии, а с 1955 по 1974 г. — в университете

Джона Гопкинса, где в 1967 г. получил звание профессора. С 1974 г. профессор медицинского факультета Гарвардского университета. Член Американской академии искусств и наук.

Первая и основная научная заслуга Д. Хьюбела и Т. Визела — раскрытие принципов переработки информации в нейронных структурах мозга, воспринимающих внешние сигналы. До их исследований нейронный механизм анализа внешних воздействий был неизвестен, хотя еще И. П. Павлов показал, что воспринимающие системы мозга представляют собой биологические анализаторы, которые «дробят» внешние воздействия, выделяя в них отдельные признаки.

Приступая к исследованиям переработки информации в зрительной системе, Д. Хьюбел и Т. Визел опирались на уже установленные их предшественниками факты. Из работы Дж. Летвина, Г. Матураны, У. Маккалока и У. Питса, которая называлась «Что говорит глаз лягушки мозгу лягушки?», следовало, что в сетчатке этой амфибии специализированные нейроны-детекторы распознают некоторые признаки объектов (наличие темных пятен, их границы, направление движения объектов и др.) и образуют независимые каналы передачи этой информации в мозг. В сетчатке же млекопитающих большинство ганглиозных клеток обладают малоспециализированными полями и потому способны выделять лишь локальные перепады яркости. Д. Хьюбел и Т. Визел показали, что более сложные признаки объектов воспринимаются только корой больших полушарий. В своих экспериментах они удачно использовали в качестве зрительного стимула линию как простейший элемент формы. Этот оригинальный по простоте прием позволил ученым обнаружить зависимость от угла поворота линии количества импульсов, генерируемых нейроном, и избирательность реакции отдельных нейронов на линии разного наклона. Оказалось, что и ориентация линии, при которой ответ нейрона максимален, неодинакова у разных клеток, но в то же время разные наклоны линии представлены по-



Д. Хьюбел (слева), Т. Визел.  
Фото АП — ТАСС.

стоянным числом селективно реагирующих нейронов. Таким образом, не просто линия, а ее ориентация (наклон) перекодируется в максимум возбуждения специализированного нейрона-детектора.

Такую схему переработки зрительной информации Д. Хьюбел и Т. Визел неоднократно подтвердили в последующих экспериментах. Более того, выяснилось, что кодирование при помощи нейрона-детектора — универсальный механизм работы анализаторов: так же кодируются направление и скорость движения, интенсивность и цвет зрительного стимула. Этот же принцип используется в стереоскопическом зрении. Принцип кодирования селективным нейроном-детектором относится и к слуховой системе, включая механизм ультразвуковой локации.

Следующий шаг в нейробиологии зрительной системы — открытие Д. Хьюбелом и Т. Визелом структурной организации детекторов. Используя в экспериментах микроэлектроды, исследователи продвигали их в глубину зрительной коры перпендикулярно ее поверхности и обнаруживали колонки нейронов, обладающих одним и тем же свойством — максимальной

реакцией на линии одного и того же наклона. Колончатая структура коры объясняет и изменение от нейрона к нейрону оптимального наклона линии (при котором была максимальная реакция), если электрод перемещать под углом к поверхности коры. При таком способе введения электрод перемещается не по колонке, а из одной колонки в другую, и потому оптимальный наклон линии меняется. После этих экспериментов стало очевидным, что каждый участок сетчатки представлен в зрительной коре набором колонок детекторов, «настроенных» на разные наклоны.

В других экспериментах Д. Хьюбел и Т. Визел использовали не микроэлектроды, а меченую по тритию или углероду диоксиглюкозу. Оказалось, что ее поглощают преимущественно активированные нейроны. Применяя разные по ориентации линии в поле зрения животного, Д. Хьюбел и Т. Визел зафиксировали избирательное поглощение ее разными колонками нейронов, а именно теми, которые «настроены» на выделение линий с применявшимися в экспериментах наклонами. Следовательно, как и в опытах с микроэлектродами, вывод мог быть только один — функционально разные детекторы действительно собраны в отдельные колонки.

Продолжая исследования, Д. Хьюбел и Т. Визел уста-

новили, что другие признаки сигнала — степень удаления, скорость и направление движения — представлены своими собственными колонками специализированных нейронов-детекторов.

К этому же времени экспериментально был установлен тот факт, что линия, помещенная в каком-то участке сетчатки, в зависимости от своего наклона и толщины, возбуждает нейрон, находящийся на определенной глубине коры в одной из колонок. Следовательно, размеры рецептивных полей, т. е. участков сетчатки, с которых собирается информация, систематически возрастают с погружением в глубину коры.

Таким образом, стало ясно, что трехмерная структура коры представляет собой многомерный аппарат отображения признаков зрительного сигнала.

Заключительным аккордом в серии работ по нейробиологии зрения было открытие Д. Хьюбелом и Т. Визелом избирательного влияния внешних воздействий на формирование детекторов в процессе развития животного. Экспериментаторы содержали животных в условиях зрительной изоляции и обнаружили, что при строгом ограничении зрительных воздействий эффективно формируются только те детекторы, которые возбуждаются окружающими животное предметами в ранний период его развития. Это сенсационное открытие вызвало целую лавину исследований, подтвердивших выводы Д. Хьюбела и Т. Визела. Так, у животных, содержащихся в «вертикальной среде», отсутствовали детекторы горизонтальных линий, и, вырастая, животные не могли преодолеть горизонтальных препятствий. Животные же, воспитанные в «горизонтальной среде», не могли пройти даже между ножками стула.

Такими образом, работы Д. Хьюбела и Т. Визела открыли путь к изучению взаимоотношений генетически обусловленных нервных связей и связей, определяемых воздействием внешней среды.

**Е. Н. Соколов,**  
доктор биологических наук  
Московский государственный  
университет  
им. М. В. Ломоносова

## Космические исследования

## Запуски космических аппаратов в СССР (сентябрь—октябрь 1981 г.)

В сентябре — октябре 1981 г. в Советском Союзе было запущено 18 космических аппаратов, в том числе 14 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой для исследования космического пространства. «Космос-1314» продолжает исследования природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этого спутника поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

Спутник «Ореол-3» запущен в соответствии с программой сотрудничества СССР и Франции в области исследования и использования космического пространства в мирных целях. Находящаяся на его борту научная аппаратура разработана советскими и французскими специалистами в рамках проекта «Аркад-3» и предназначена для исследования физических процессов, протекающих в магнитосфере и ионосфере Земли, и изучения природы полярных сияний. Одновременно со спутником координированные исследования осуществлялись наземными геофизическими экспедициями и стационарными исследовательскими комплексами в Арктике и Антарктике.

Основная цель запуска автоматической межпланетной станции «Венера-13» — продолжение научных исследований планеты Венера. В процессе перелета станции к планете исследовались рентгеновское и гамма-излучение, магнитные поля в космическом пространстве, характеристики солнечного ветра, космических лучей и межпланетной плазмы. Наряду с советской научной аппаратурой на станции установ-

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1303»	4.IX	216	398	70,4	90,4
«Космос-1304»	4.IX	917	984	83	104
«Космос-1305»	11.IX	648	13 870	63	264
«Космос-1306»	15.IX	156	494	65	90,9
«Космос-1307»	15.IX	209	419	72,9	90,4
«Космос-1308»	18.IX	978	1 017	82,9	104,9
«Космос-1309»	18.IX	225	282	82,3	89,2
«Ореол-3»	21.IX	380	1 920	82,6	108,2
«Космос-1310»	23.IX	478	524	65,9	94,6
«Космос-1311»	29.IX	470	521	83	94,5
«Космос-1312»	30.IX	1 495	1 531	82,6	116
«Космос-1313»	1.X	214	314	70,4	89,5
«Космос-1314»	9.X	220	263	82,3	89
«Радуга»	9.X	35 900	35 900	0,4	1 442
«Космос-1315»	14.X	628	685	81,2	97,7
«Космос-1316»	15.X	215	407	70,3	90,5
«Молния-3»	17.X	649	40 644	63	736
«Венера-13»	30.X	—	—	—	—

лены приборы, созданные специалистами Австрии и Франции.

Очередной спутник связи серии «Радуга» (международный регистрационный индекс «Стационар-3») выведен на близкую к геостационарной круговую орбиту. Спутник оборудован ретрансляционной аппаратурой для обеспечения в сантиметровом диапазоне длин волн непрерывной круглосуточной телефонно-телеграфной радиосвязи и одновременной передачи цветных и черно-белых программ Центрального телевидения СССР на сеть станций «Орбита». Очередной спутник связи серии «Молния-3» запущен для дальнейшей эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи и передачи программ Центрального телевидения СССР на станции сети «Орбита» и в рамках международного сотрудничества. На борту спутника установлена ретрансляционная аппаратура, работающая в сантиметровом диапазоне длин волн, и необходимое служебное оборудование.

Продолжался полет орбитальной научной станции «Салют-6», запущенной 29 сентября 1977 г. и успешно функцио-

нирующей в околоземном пространстве более четырех лет. В сентябре — октябре 1981 г. станция совершила полет в автоматическом режиме вместе со спутником «Космос-1267», стыковка которого со станцией произошла 19 июня 1981 г. В соответствии с программой продолжались испытания бортовых систем и оборудования комплекса в условиях длительного космического полета.

## Астрономия

## Полное солнечное затмение 31 июля 1981 г.

В этот день лунная тень за 122 мин пробежала по Земле путь длиной в 8250 км, пройдя по густонаселенным районам СССР — от побережья Грузии через Северный Кавказ, Казахстан и Южную Сибирь до восточных границ страны. Вдоль этой полосы шириной около 100 км можно было наблюдать полное солнечное затмение продолжительностью до 129 с, и почти по всей территории СССР наблюдалось частное затмение.

По существу, затмение 31 июля 1981 г. было на территории СССР последним в XX в. благоприятным для научных и массовых наблюдений. При очередных затмениях, которые должны состояться 22 июля 1990 г. и 9 марта 1997 г., путь лунной тени будет значительно короче, и пройдет она по малонаселенным северным районам СССР. Поэтому июльское затмение вызвало столь большой интерес: в полосу полной фазы отправились многочисленные научные экспедиции и множество любителей астрономии.

Большую научную программу в период затмения выполнили и сотрудники Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга (ГАИШ). В полосу затмения отправились две экспедиции, одна на Дальний Восток, в пос. Мариинское Хабаровского края, другая — в Казахстан, в пос. Шортанды Целиноградской области. Любопытно, что астрономические инструменты первой экспедиции были установлены на Батарейной Горке, там, где 125 лет назад известный исследователь Дальнего Востока Г. И. Невельский установил артиллерийскую батарею для защиты судоходства русских кораблей по Амуру. Программа этой экспедиции включала более 10 экспериментов, в том числе получение фотоснимков солнечной короны в белом свете, в линии излучения ионизированного кальция и цветную киносъемку затмения. Были получены спектры хромосферы и короны Солнца, а также фотографии короны с эталоном Фабри — Перо в красной линии FeX и в зеленой линии FeXIV.

Как и ожидалось, активные центры на Солнце в день затмения были расположены довольно удачно: на юго-западном краю солнечного диска расположились большие пятна, в короне им сопутствовала система арок горячей корональной конденсации, рядом с которой вытянулся яркий корональный луч. Поскольку затмение происходило в период максимальной солнечной активности, то корона была очень горячая и зеленая линия иона FeXIV, имеющая наибольшую яркость при темпе-

ратуре 2 млн К, была видна в ней почти повсюду. Красная же линия иона FeX, хорошо заметная при температуре 1 млн К, была видна только в наиболее холодных местах короны, а в арках корональной конденсации совсем пропадала — там для нее было слишком жарко.

Программа второй экспедиции, помимо фотографирования солнечной короны с радиальным компенсатором перепада яркости, включала чрезвычайно интересный эксперимент по наблюдению зодиакального света на установке с эталоном Фабри — Перо, разработанной Ю. М. Лянуновым. В этом эксперименте определялась длина волны некоторых линий поглощения в солнечном свете, рассеянном микроскопическими частицами вещества, которые заполняют околосолнечное пространство. Эта работа продолжилась начаты астрономами ГАИШа во время полного солнечного затмения 1973 г. в Сахаре исследование скорости орбитального движения близкой к Солнцу межпланетной пыли. Как показали результаты наблюдений, в Солнечной системе есть микрометеориты, движущиеся с гиперболическими скоростями. Пока это явление не получило объяснения с точки зрения небесной механики.

**В. Г. Сурдин**, кандидат физико-математических наук Москва

Физика

**Радиационное замедление и монохроматизация атомных пучков**

В. И. Балыкин, В. С. Летохов и В. Г. Миногин (Институт спектроскопии АН СССР) исследовали возможность радиационного замедления и монохроматизации пучка атомов натрия резонансным лазерным излучением фиксированной частоты.

Обычно разброс скоростей атомов в пучке довольно широкий. Однако в ряде экспериментов требуются пучки, в которых скорость всех атомов одинакова (т. е. спектр их скоро-

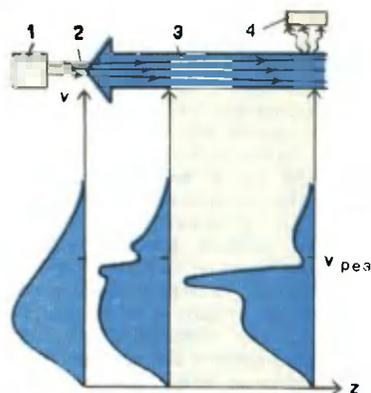


Схема эксперимента по монохроматизации пучка атомов натрия (вверху): 1 — источник атомов; 2 — атомный пучок; 3 — лазерный луч; 4 — детектор флюоресценции. Внизу — спектры распределения скоростей атомов в пучке на разных расстояниях от источника. Видно, что по мере прохождения пучка, т. е. увеличения длительности его взаимодействия с лазерным лучом, максимум в распределении скоростей смещается в область значений, меньших  $v_{рез}$ . При этом распределение приобретает вид узкого пика — пучок монохроматизируется.

стей имеет форму узкого пика; такие пучки называют монохроматическими).

Возможность радиационного замедления, приводящего в конечном итоге к монохроматизации пучков, основана на том, что в электромагнитном поле световой волны атом может обмениваться с этим полем квантами энергии. При этом оказывается, что в спектре скоростей атомов выделена одна — резонансная, связанная с частотой внутриатомных переходов  $\omega_0$  простым соотношением:  $v_{рез} = -(\omega - \omega_0)/k$ , где  $\omega$  — частота электромагнитного поля,  $k$  — волновое число. Для этой скорости световое давление на атомы в пучке резко возрастает, и в результате при встречном распространении пучка и световой волны максимум спектра атомных скоростей смещается в область скоростей, меньших резонансной, а сам спектр существенно деформируется, приобретая вид узкого пика.

В эксперименте использовался лазер непрерывного дей-

ствия на красителе (интенсивность излучения  $800 \text{ мВт/см}^2$ ). Навстречу световому лучу был направлен пучок атомов натрия (температура источника  $300^\circ\text{C}$ ); взаимодействие пучка со световым полем происходило на длине  $38 \text{ см}$  в вакуумированной кювете при давлении  $5 \cdot 10^{-6} \text{ мм рт. ст.}$  Измерялась интенсивность сигнала флуоресценции атомов натрия, которая, согласно теории, пропорциональна количеству атомов с резонансной скоростью. Поскольку за счет радиационного замедления атомов в пучке большинство из них приобретает скорость, меньшую  $v_{\text{рез}}$ , интенсивность флуоресценции должна уменьшаться по мере замедления атомов. Зная зависимость сигнала флуоресценции от длительности взаимодействия пучка с резонансным полем, а следовательно и то, как меняется во времени число атомов со скоростью  $v=v_{\text{рез}}$ , для каждого момента можно рассчитать вид спектра распределения атомов по скоростям (см. рисунок).

Анализ, проведенный авторами работы, показал, что при таких интенсивностях лазерного излучения, когда наступает эффект насыщения поглощения атомов, монохроматизация пучка происходит очень быстро. ЖЭТФ, 1981, т. 80, вып. 5, с. 1778.

#### Физика

### Фоторождение очарованных барионов

В Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (США) исследовалось фоторождение очарованных барионов  $\Lambda_c$ .

Очарованный барион  $\Lambda_c$  впервые наблюдался пять лет назад. С тех пор его существование неоднократно подтверждалось в опытах с нейтрино, в процессах  $e^+e^-$ -аннигиляции и в столкновениях адронов<sup>1</sup>. Согласно кварковой модели адронов,  $\Lambda_c$  подобен бариону  $\Lambda^0$ ,

только вместо странного кварка  $s$  в его состав входит очарованный кварк  $c$ . Хотя сам факт существования бариона  $\Lambda_c$  надежно установлен, нет полного согласия в определении величины его массы.

В экспериментах, проведенных в Лаборатории им. Э. Ферми, использовался нейтральный пучок, состоящий из нейтронов, фотонов и долгоживущих  $K_L^0$ -мезонов, которые рождались при столкновении пучка протонов ( $E \approx 400 \text{ ГэВ}$ ) с бериллиевой мишенью. Проходя через  $34$ -метровый слой жидкого дейтерия, нейтральный пучок превращался в пучок жестких фотонов с энергией до  $200 \text{ ГэВ}$ . Было изучено взаимодействие примерно  $6 \cdot 10^{11}$  фотонов, энергия которых составляла свыше  $50 \text{ ГэВ}$ , со сцинтилляционной мишенью длиной  $22 \text{ мм}$ , состоящей из  $91\%$  углерода,  $8\%$  водорода и  $1\%$  алюминия. Очарованные барионы, рождающиеся при взаимодействии фотонов с ядрами мишени, регистрировались в спектрометре и счетчиках по продуктам распада. Определена масса  $\Lambda_c$ , оказавшаяся равной  $2284 \pm 5 \text{ МэВ}$ .

Physical Review Letters, 1981, v. 46, No 13, p. 799 (США).

#### Физика

### Магнитные моменты барионов

В Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (Батавия, США) экспериментально получены новые, более точные значения магнитных моментов  $\Xi^-$ - и  $\Xi^0$ -гиперонов:  $\mu_{\Xi^-} = -1,253 \pm 0,014$ ,  $\mu_{\Xi^0} = -0,75 \pm 0,06$  ядерных магнетонов (прежние результаты:  $-1,20 \pm 0,06$  и  $-1,85 \pm 0,75$ , соответственно).

В опытах по определению  $\mu_{\Xi^-}$  использовался пучок протонов с энергией  $400 \text{ ГэВ}$ . При их взаимодействии с ядрами мишени ( $p+N \rightarrow \Xi^+X$ ) рождались нейтральные странные  $\Xi^0$ -гипероны со средней энергией

$134 \text{ ГэВ}$ . Всего наблюдалось  $270$  тыс таких частиц, распадавшихся по схеме  $\Xi^0 \rightarrow \Lambda p$ . Регистрация таких событий велась по последующим реакциям  $\Lambda \rightarrow p\pi^-$  и  $p^+ \rightarrow \pi^+\pi^+$ . Измерялась величина вектора поляризации  $\Xi^0$ -гиперонов и его прецессия во внешнем магнитном поле. Полученные данные позволили уточнить значение  $\mu_{\Xi^-}$ .

Магнитный момент составных частиц является одной из важнейших характеристик, позволяющих проверить предсказания кварковой модели адронов. Естественная единица его измерения есть определенная комбинация ее заряда, массы и фундаментальных констант ( $ef/2mc$ ) — магнетон. Для электрона — это магнетон Бора ( $\mu_B$ ), для протона — ядерный магнетон ( $\mu_N$ ).

Точечная частица со спином  $1/2$  описывается уравнением Дирака. Одно из его следствий — точное равенство магнитного момента частицы одному магнетону. Для электрона отклонение магнитного момента от магнетона Бора невелико ( $\approx 0,1\%$ ) и объясняется в рамках квантовой электродинамики эффектами виртуального испускания фотонов и поляризации вакуума. Предсказания теории с высокой точностью подтвердились и для других точечных частиц — позитронов,  $\mu^\pm$ -мезонов. Иначе обстоит дело с протоном, спин которого также равен  $1/2$ . Когда в 1933 г. его магнитный момент был измерен О. Штерном<sup>2</sup>, оказалось, что он почти в три раза больше ожидаемого по теории Дирака. В 1940 г. Л. Альварес и Ф. Блох обнаружили магнитный момент у электрически нейтральной частицы — нейтрона, который оказался близок к  $-2\mu_N$  (минус указывает на противоположность направлений спина и магнитного момента частицы). Сейчас ясно, что все адроны являются составными частицами, и их магнитные моменты могут существенно отличаться от дираковских.

Согласно кварковой модели, состоящие из трех квар-

<sup>1</sup> О  $\Lambda_c$  и других очарованных барионах см.: Природа, 1979, № 9, с. 106; 1981, № 1, с. 111.

<sup>1</sup> Rev. Mod. Phys., 1980, v. 52, No 2.

<sup>2</sup> О. Штерн за открытие магнитного момента был удостоен Нобелевской премии 1943 г.

**Магнитные моменты барионов со спином  $1/2$  (в единицах  $\mu_N$ )**

Частица	Теория	Эксперимент
$\Sigma^+$	$(4\mu_u - \mu_s)/3 = 2,674 \pm 0,002$	$2,33 \pm 0,13$
$\Sigma^-$	$(4\mu_d - \mu_s)/3 = -1,091 \pm 0,002$	$-1,41 \pm 0,25$
$\Sigma^0$	$(2\mu_u + 2\mu_d - \mu_s)/3 = 0,791 \pm 0,002$	—
$\Xi^0$	$(4\mu_s - \mu_u)/3 = -1,436 \pm 0,007$	$-1,253 \pm 0,014$
$\Xi^-$	$(4\mu_s - \mu_d) = -0,495 \pm 0,007$	$-0,75 \pm 0,06$

ков барионы со спином  $1/2$  образуют восьмерку частиц (октет). Сюда входят протон (p), нейтрон (n),  $\Lambda$ -гиперон, три сигма-гиперона ( $\Sigma^0$  и  $\Sigma^\pm$ ), два кси-гиперона ( $\Xi^0$  и  $\Xi^-$ ). Существование октета и других мультиплетов связано со спещифической симметрией сильных взаимодействий — унитарной SU (3)-симметрией<sup>3</sup>. Кроме того, кварки каждого сорта могут быть в трех различных состояниях: существует дополнительная, «цветная», симметрия. Свойства симметрии диктуют вид волновых функций каждого бариона.

Согласно общим принципам квантовой механики, наблюдаемое значение магнитного момента бариона есть усредненная по его волновой функции сумма магнитных моментов кварков (u, d, s), входящих в состав этого бариона. В результате

$$\mu_p = \frac{1}{3}(4\mu_u - \mu_d), \quad \mu_n = \frac{1}{3}(4\mu_d - \mu_u), \quad \mu_\lambda = \mu_s \text{ и т. д.}$$

На опыте<sup>4</sup> точнее всего измерены  $\mu_p$ ,  $\mu_n$  и  $\mu_\lambda$ :

$$\begin{aligned} \mu_p &= (2,7928456 \pm 0,0000011)\mu_N, \\ \mu_n &= (-1,91304184 \pm 0,00000088)\mu_N, \\ \mu_\lambda &= (-0,614 \pm 0,005)\mu_N. \end{aligned}$$

Эти данные и выписанные выше формулы позволяют найти магнитные моменты u- и d-кварков:  $\mu_u = 1,85167\mu_N$  и  $\mu_d = -0,97186\mu_N$  ( $\mu_s = \mu_\lambda$ ) — и, уже зная их, вычислить магнитные моменты остальных членов октета.

Следует подчеркнуть, что были приведены результаты теории, с простейшим выбором волновых функций основного состояния барионов, основанного лишь на соображениях симметрии. Учет динамических поправок должен улучшить согласие теории и эксперимента. В то же время даже простейший вариант теории оказывается слишком близким к истине, чтобы его можно было с легкостью отбросить.

В целом проблему вычисления магнитных моментов барионов нельзя считать окончательно решенной. Теория связанных состояний кварков на основе современной теории сильных взаимодействий — квантовой хромодинамики, еще не построена. Исследование свойств адронов, в том числе их магнитных моментов, имеет исключительное значение для дальнейшего развития физики элементарных частиц.

Physical Review Letters, 1981, v. 46, № 14 (США);  
Preprint CERN-EP/80—163 (Швейцария).

**Физика**

**Сверхпроводимость органических молекул при атмосферном давлении**

К. Бехгаард с сотрудниками (Копенгагенский университет, Дания) сообщили о наблюдении при атмосферном давлении и температуре  $\sim 1,3$  К сверхпроводимости квазиодномерных кристаллов органического проводника  $(TMTSF)_2ClO_4$ , близ-

кого по структуре к соединению  $(TMTSF)_2PF_6$ . О сверхпроводимости последнего примерно при той же температуре, но давлении порядка 6 кбар недавно сообщалось<sup>1</sup>. Оба вещества принадлежат к классу солей на органических катионных радикалах  $(TMTSF)_2X$  и имеют идентичную кристаллическую структуру; различаются они некоторой разупорядоченностью анионов  $ClO_4^-$  по сравнению с анионами  $PF_6^-$ , а также большей компактностью структуры первого соединения по сравнению со вторым. Так, согласно данным структурного анализа, объем элементарной ячейки  $(TMTSF)_2ClO_4$  равен  $694,3 \text{ \AA}^3$  а ячейка  $(TMTSF)_2PF_6$  на  $20 \text{ \AA}^3$  меньше. Именно такое изменение объема наблюдалось у  $(TMTSF)_2PF_6$  при давлении порядка 3 кбар. Это обстоятельство и наводило исследователей на мысль заменить уплотняющее действие давления уплотнением кристаллической решетки при изменении химической формулы вещества.

Переход  $(TMTSF)_2ClO_4$  в сверхпроводящее состояние фиксировался по исчезновению электрического сопротивления у находящихся в криостате монокристаллов (размерами  $4 \times 0,2 \times 0,2 \text{ мм}^3$ ), сквозь которые пропускался переменный электрический ток. Небольшие вариации температуры сверхпроводящего перехода от образца к образцу вызваны, по мнению авторов, наличием в кристаллах дефектов и примесей. Наложение магнитного поля, перпендикулярного оси сверхпроводящих кристаллов, переводило их в нормальное состояние, причем величина необходимого для такого перехода поля была тем больше, чем ниже была температура образца.

Появление органических сверхпроводников открывает широкие возможности создания целого спектра сверхпроводящих материалов, параметры которых можно менять химическим путем в широких пределах. Physical Review Letters, 1981, v. 46, № 13, p. 852—854 (США).

<sup>3</sup> Подробнее см.: Шехтер В. М. Кварки.— Природа, 1980, № 2, с. 53.

<sup>4</sup> См. сноску 1.

<sup>1</sup> Природа, 1981, № 4, с. 109.

## Физика

**Синтез сверхпроводящих соединений в космосе**

В последнее время объектом исследований космической металлургии стали сверхпроводящие соединения, в том числе системы молибден — калий и ниобий — олово. Как известно, в ближнем космосе пониженная гравитация с ускорениями порядка  $10^{-4}$ — $10^{-5}g$  — основной фактор отличия космических условий от земных; невесомость оказывает существенное влияние на процессы кристаллизации расплавов, на взаимодействие твердых и жидких металлов. Так, уменьшение уровня гравитации приводит к преобладающей роли сил поверхностного натяжения, в результате при формировании слитков расплавленные материалы стремятся принять форму шара, а не вмещающих их сосудов.

Как показали исследования, проведенные в Институте металлургии им. А. А. Байкова АН СССР, в космических условиях возможны существенные изменения состава и свойств композитов, получающихся при взаимодействии твердых и жидких металлов. Например, при контакте металлокерамического молибдена с жидким галлием образцы молибдена как в космосе, так и в земных условиях насквозь пропитываются галлием, образуя композит, состоящий из молибдена, галлия и соединения  $MoGa_5$ . Однако при этом земные образцы оказались парамагнитными, а космические обладали диамагнитными свойствами. Это, по мнению исследователей, связано с большим содержанием свободного металлического галлия в космическом композите, в процессе образования которого диффузия была замедленной и отсутствовало конвективное перемешивание. Этими же причинами объясняется и различие в составе соединений, получающихся на границе твердый молибден — жидкий галлий или твердый ниобий — расплавленное олово. Если в земных образцах при взаимодействии монокристаллического молибдена с жидким галлием получалось только одно соединение —  $MoGa_5$ , то в космосе непосредственно на границе мо-

нокристаллический молибден — жидкий галлий со стороны молибдена был расположен еще слой вещества состава  $Mo_3Ga$ , переходящий в слой  $MoGa_5$ . В системе твердый ниобий — расплавленное олово в космосе образовывалось соединение  $Nb_3Sn$  с критической температурой перехода в сверхпроводящее состояние 17,8 К; в земных образцах это соединение не обнаружено.

Таким образом, хотя невесомость непосредственно не может менять параметры сверхпроводящих соединений, в частности температуру перехода в сверхпроводящее состояние или критический ток, ее влияние на процессы взаимодействия компонентов, состав и структуру образующихся композитов может быть использовано для получения новых, в том числе сверхпроводящих фаз.

Доклады АН СССР, 1981, т. 257, № 1, с. 102—104.

## Физика

**Легирование поверхности методом имплантации ионов**

Как известно, введение в титан, хром, нержавеющие стали и ряд других металлов и сплавов небольших добавок элементов платиновой группы (Pt, Pd, Ru, Re) приводит к значительному повышению их коррозионной устойчивости. Однако для такого объемного легирования требуются достаточно большие количества этих дефицитных и дорогостоящих элементов. Поэтому особый интерес вызывают методы, позволяющие заменить объемное легирование поверхностным.

К таким методам относится имплантация ионов палладия в образцы титана, осуществленная в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова. С помощью ионного ускорителя создавался мощный поток ионов палладия с энергией от 40 до 90 кэВ, которым обрабатывалась поверхность титановых мишеней. Изучение поверхностного слоя титановых мишеней методами электронографии, рентгеноспектрального анализа и Оже-спект-

роскопии показало, что при бомбардировке ионами палладия с поверхности титана исчезала аморфная окисная пленка. При небольшом количестве имплантированных ионов они образовывали новую фазу —  $Ti_2Pd$ , сильно текстурированную, с размерами кристаллитов 30—60 Å. С увеличением имплантации на поверхности формировался слой другого состава —  $TiPd_2$ , а затем — пленка металлического палладия с размерами кристаллов порядка 100 Å.

Имплантированные образцы титана наряду с исходными подвергались электрохимическим и коррозионным испытаниям в 20-процентном растворе серной кислоты при 100°C. Скорость коррозии чистого титана составляла  $60,5 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ , а у имплантированных образцов она была меньше  $0,05 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ .

Доклады АН СССР, 1981, т. 256, № 5, с. 1129—1133.

## Физическая химия

**Расщепление воды светом**

Специалисты Федеральной политехнической школы в Лозанне (Швейцария) разрабатывают способ получения кислорода и водорода путем фотодиссоциации воды. Реакция фотодиссоциации воды протекает на поверхности катализатора — полупроводника, состоящего из смеси оксидов рутения и титана, нанесенного на платиновую подложку. При фотодиссоциации окисляется одна и восстанавливается другая молекула воды.

Перенос электрона (т. е. процесс окисления) от первой молекулы ко второй (восстановление) осуществляется с участием фотовозбужденных молекул введенного в воду светочувствительного металлоорганического вещества S. Вначале молекула воды, находящаяся на поверхности катализатора, взаимодействует с молекулярными ионами  $S^+$ , отдавая им два электрона и распадаясь на нейтральный атом кислорода и два иона  $H^+$ . Образующиеся в результате молекулы S поглощают кванты света и переходят в возбужденное

состояние  $S^*$ . Взаимодействуя в возбужденном состоянии с катализатором, эти молекулы отдадут ему свои электроны, которые, попадая в зону проводимости катализатора, заряжают его отрицательно. Так как энергия электрона в зоне проводимости близка к энергии диссоциации молекулы воды, то при соприкосновении второй молекулы воды с заряженной поверхностью катализатора эта молекула принимает лишний электрон и диссоциирует на радикал  $OH^-$  и нейтральный атом водорода.

Реакция разложения может идти и в отсутствие вещества  $S$ , если катализатор освещается ультрафиолетовым излучением.

Расщепление воды с участием молекул  $S$  проходило непрерывно с квантовым выходом 5 молекул водорода на 100 поглощаемых фотонов. Следующий этап работы — решение проблемы разделения образующихся кислорода и водорода. *New Scientist*, 1981, v. 89, № 1239, p. 337 (США).

#### Химия

### Биополимеры в организме человека

К полимерным материалам, используемым в медицине для внутреннего протезирования (эндопротезирования) предъявляются особенно жесткие требования, так как при имплантации протез будет находиться в тесном контакте с клетками живого организма. Опыт многолетней имплантации синтетических полимерных материалов показывает, что на конечный результат эндопротезирования влияет собственно химическая чистота материала, низкомолекулярные фрагменты полимера, наличие которых вызывает раздражение окружающих имплантант тканей, а также продукты деградации самого полимера. Последний фактор наиболее сложен для оценки, но чрезвычайно важен для длительного и успешного эндопротезирования.

Как показали исследования Т. Т. Дауровой и С. М. Дегтя-

ревой (Институт хирургии им. А. В. Вишневского АМН СССР), через определенные сроки после имплантации происходят необратимые изменения свойств полимерных материалов, которые до сих пор считались «биоинертными». Например, оказалось, что образцы полидиметилсилоксановых имплантантов, находясь в живом организме в течение двух лет, теряют в весе 13—16%. Дело в том, что при длительном эндопротезировании идет процесс биодеградации синтетического полимера и одновременно взаимодействие продуктов его распада с тканями организма. При использовании сетчатых протезов из полиэтилентерефталата в течение 2-2,5 лет наблюдалось вполне благополучное сосуществование имплантата и организма. Но по мере удлинения срока после имплантации до 5,5 лет выявляются нарушения в обмене веществ: соединительные ткани истончаются и разрываются, в них появляются зоны жирового перерождения, в сосудах наблюдается тромбоз, а иногда и их атрофия.

Таким образом, до имплантации необходимо правильно и четко оценивать пригодность синтетического материала для эндопротезирования.

Высокомолекулярные соединения, краткие сообщения, 1981, т. XXIII, № 4, с. 272—276.

#### Биохимия

### Новый способ определения канцерогенов

На промышленных предприятиях и в научных учреждениях разных стран ежегодно осуществляется синтез множества новых веществ. К сожалению, не всегда можно знать заранее, являются ли такие вещества канцерогенами. Современные методы определения канцерогенности связаны с проведением весьма длительных испытаний на животных с последующим сложным статистическим анализом полученных результатов, что не всегда приводит к правильному ответу.

Тем больший интерес вызывает сообщение группы исследователей во главе с Дж. Витфельдом (Оттавское отделение центра биологических наук, Канада), которые предложили сравнительно простой и удобный способ испытания веществ на канцерогенность. Способ основан на открытом этой группой факте, что для развития нормальных клеток необходимо присутствие в окружающей среде ионов кальция, тогда как для раковых клеток кальций не нужен и они его вообще не усваивают.

Свойства раковых клеток при росте обходиться без кальция может найти применение и в диагностике рака. Дело в том, что анализ часто усложняется присутствием в смеси исследуемых клеток не только злокачественных, но и здоровых. Это вынуждает извлекать из смеси раковые клетки и выращивать их в отдельной среде для последующего изучения; процедура эта очень трудная, громоздкая и требует большого искусства, поэтому не всегда выполнима. Канадские исследователи предлагают выдерживать смесь исследуемых клеток в бескальциевой среде, что делает невозможным рост нормальных клеток и приведет их к быстрой гибели. В результате можно будет получить чистую культуру опухолевых клеток.

Высказывалось предположение, что способность опухолевых клеток расти в бескальциевой среде связана с пониженным содержанием в этих клетках кальмодулина<sup>1</sup>, вещества, находящегося внутри клеток и управляющего множеством процессов их жизнедеятельности, в том числе поступлением внутрь клеток ионов кальция. Значение этого факта пока трудно оценить, но, учитывая те множественные функции, которые выполняет кальмодулин, можно предположить, что уменьшение его уровня в клетке может быть связано с переходом ее в злокачественное состояние.

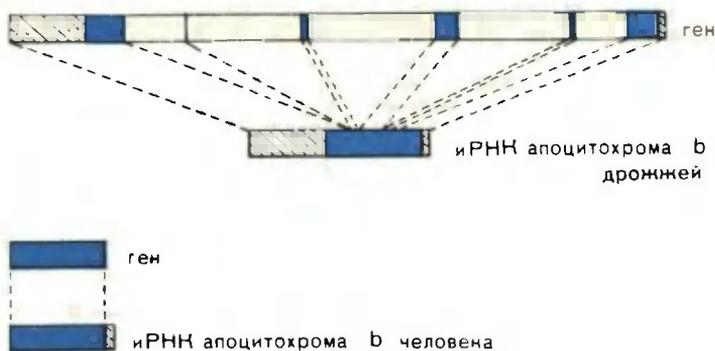
*Science Dimension*, 1981, № 3, p. 26—30 (Канада).

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: *Природа*, 1980, № 12, с. 93.

## Организация митохондриального генома человека.

Усовершенствованные методы исследования позволили изучать организацию и структуру генома таких сложных организмов, как человек. Наиболее удобным объектом оказалась кольцевая ДНК митохондрий человека, состоящая всего из 16 569 пар оснований (в то время как митохондриальная ДНК дрожжей почти в 5 раз длиннее — содержит 78 000 пар оснований). Используя метод Сендлера по определению последовательности нуклеотидов<sup>1</sup>, удалось установить полную первичную структуру этой ДНК, а анализ митохондриальных транскриптов, осуществленный в лаборатории Дж. Аттарди (Калифорнийский технологический институт, США) позволил определить порядок расположения большинства генов в ДНК митохондрий человека, а также выяснить особенности генетического кода в митохондриях.

Оказалось, что организация митохондриального генома человека — пример чрезвычайно экономичного использования кодирующих возможностей ДНК. Гены двух рибосомных РНК (рРНК), двадцати двух тРНК и тринадцати идентифицированных к настоящему времени белков располагаются столь близко друг к другу, что в ДНК практически не остается места для некодирующих последовательностей. Экономичность строения генома митохондрий человека проявляется не только в плотной упаковке генов в ДНК. В составе иРНК из митохондрий человека отсутствуют так называемые начальные и хвостовые последовательности нуклеотидов, не несущие информации о структуре белков, но обычно присутствующие в составе эукариотических иРНК. Гены митохондрий человека не обладают мозаичной<sup>2</sup> (т. е. интрон-экзон-



Строение генов и соответствующих им иРНК для белка апоцитохрома b из митохондрий дрожжей и человека. Кодирующие последовательности нуклеотидов (экзоны) показаны цветом, интроны — белым цветом; не транслируемые участки нуклеиновых кислот заштрихованы. Видно, что дрожжевой ген содержит значительное количество нуклеотидных последовательностей, которые не кодируют структуры белка апоцитохрома.

ной) структурой. В большинстве иРНК митохондрий человека отсутствуют специальные кодоны, выполняющие функции сигнала останова синтеза белка; их роль играет «стык» между уридином и началом полиаденилатного фрагмента, расположенного на 3'-конце иРНК. В соответствии с принципами жесткой экономии в митохондриях человека осуществляется и регуляция транскрипции, и организация аппарата белкового синтеза. Так, в составе митохондриальных рибосом человека отсутствует 5S РНК — компонент, обычно встречающийся в рибосомах из разных организмов; рибосомные РНК человека отличаются небольшой длиной (1559 нуклеотидов и 954 нуклеотида для большой и малой рРНК, соответственно); аппарат белкового синтеза обслуживает лишь 22 тРНК, причем некоторые из них способны распознавать сразу четыре кодона.

В чем причина столь резительных отличий строения и принципов организации генома в митохондриях человека и дрожжей? По мнению авторов

работы, одно из возможных объяснений заключается в том, что гены митохондрий, кодирующие рРНК и тРНК, претерпевают чрезвычайно быструю эволюцию. Так, рРНК большой рибосомной субчастицы из митохондрий мыши и крысы содержат лишь 68% гомологичных последовательностей; треониновые тРНК из митохондрий человека и быка — 74% гомологичных последовательностей и т. д. Такая высокая скорость расхождения генов митохондрий, кодирующих рРНК и тРНК, среди близких видов млекопитающих может объясняться невысокими требованиями к аппарату трансляции в митохондриях. В самом деле, в митохондриях синтезируется лишь ограниченное количество белков, образование которых может происходить с постоянной скоростью, не подвергаясь тонким регуляторным механизмам. Поэтому митохондриальные системы могут эволюционировать значительно быстрее по сравнению с системами, в которых образуется большое количество разнообразных белков с максимальной эффективностью.

Nature, 1981, v. 290, p. 443—445 (Великобритания).

### Медицина

## Прививка от малярии

Несмотря на успехи, достигнутые в борьбе с малярией, это заболевание еще широко распространено в ряде мест

<sup>1</sup> Подробнее об этом методе см.: Природа, 1978, № 8, с. 139.

<sup>2</sup> Природа, 1980, № 8, с. 109; № 10, с. 112.

земного шара. Болеют малярией люди всех возрастов, но наиболее восприимчивы к ней дети. До сих пор борьба с малярией велась путем уничтожения ее переносчиков — комаров, а также лечения заболевших различными химиотерапевтическими средствами.

Недавно О. Орье, А. Кохрейн и П. Муссенцвейг (отделение паразитологии факультета микробиологии Нью-Йоркского университета) провели опыты на животных, результаты которых позволяют надеяться на возможность борьбы с малярией с помощью иммунопрофилактики. Были взяты две группы мышей: молодые (возраст от 2 до 24 дней) и взрослых (8—10 недель от рождения); всех животных иммунизировали убитыми в результате облучения спорозитами — возбудителями малярии, находящимися в организме комара. После иммунизации всем подопытным животным, а также соответствующим им по возрасту мышам контрольных групп внутривенно были введены живые инфекционные спорозиды.

Опыты показали, что иммунизация защитила от малярии 32% взрослых животных и, что очень важно, от 80 до 93% молодых мышей. Все контрольные животные погибли. В последующих экспериментах мыши возраста 18—25 дней, родившиеся у самок, подвергавшихся иммунизации, были в свою очередь заражены инфекционными дозами спорозоитов. Контролем служили мыши того же возраста, родившиеся и вскормленные самками, которые не подвергались иммунизации. В результате в подопытной группе не заболело малярией 60% животных, а в контрольной — только 4,5%. Так было доказано, что устойчивость к заболеванию может передаваться с молоком матери.

Эти данные позволяют надеяться на возможность создания защиты против малярии с помощью иммунопрофилактики, причем в первую очередь иммунизации следует подвергать кормящих матерей, что поможет предохранить от заболевания не только их самих, но и грудных детей.

Nature, 1981, v. 291, № 5813, p. 331—333 (Великобритания).

## Бактериальные культуры хранятся высушенными

Широко распространенный способ хранения бактериальных культур путем их систематического пересева на свежие питательные среды трудоемок, неэкономичен и не исключает изменения микроорганизмов. Новым перспективным способом является хранение лиофилизированных — высушенных при замораживании — бактерий. Успех лиофилизации во многом зависит от ее режима, определяемого температурой охлаждения, длительностью высушивания, глубиной вакуума и другими условиями. Однако вопрос, как перечисленные условия лиофилизации отражаются на жизнеспособности и наследственных свойствах бактерий, до последнего времени практически не был изучен. Недавно М. В. Данилова, И. М. Надирова, Т. В. Емцева и Е. В. Кузнецова (Институт микробиологии АН СССР) завершили исследования, в которых выяснился оптимальный режим лиофилизации.

Исследования проводили на культурах бактерий *Pseudomonas fluorescens*, *Escherichia coli* и *Setfaria marcescens*. Суспензии бактерий перед высушиванием охлаждали до минус 6—8, 12—16, 20—24, 35—38, 45—48, 55—60 или 75—80°С. Жизнеспособность бактерий определяли до их лиофилизации, сразу после нее и 10 лет спустя путем посева культур на твердую питательную среду и учета выросших колоний.

При охлаждении бактериальных культур до минус 6—8, 12—16, 35—38, 45—48° результаты лиофилизации были неудовлетворительными. При температуре минус 55—60 и 75—80° высокая жизнеспособность наблюдалась у бактерий лишь сразу после лиофилизации (у *P. fluorescens* она составляла 74,0, у *E. coli* — 82,3 и у *S. marcescens* — 83,4% по сравнению с периодом до лиофилизации). Спустя же 10 лет жизнеспособность высушенных при таком режиме бактерий резко снижалась — соответственно до 9,1, 8,5, 5,4%.

Наиболее высокая выживаемость бактерий при их длительном хранении отмечена после охлаждения культур до минус 20—24°. Хотя сразу после лиофилизации при этих температурах выживаемость была ниже, чем при более низких, зато через 10 лет хранения в жизнеспособном состоянии оставалось у *P. fluorescens* — 35,8, у *E. coli* — 51,0 и у *S. marcescens* — 49,9%. Именно такой режим лиофилизации применяется сейчас в отделе типовых культур Института микробиологии АН СССР для поддержания коллекции бактерий.

Известия АН СССР, серия биологическая, 1981, № 2, с. 307—310.

## Экология

### Уровень накопления тяжелых металлов у жуков-плавунцов зависит от пола

А. В. Жулидов и В. М. Емец (Ростовский государственный университет и Воронежский государственный заповедник) изучали накопление тяжелых металлов (Mn, Zn, Co, Cu, Pb) особями разного пола у двух видов жуков-плавунцов: полоскуна желобчатого (*Acidiscus canaliculatus*) и плавунца окаймленного (*Dytiscus marginalis*). Эти жуки, используемые для диагностики загрязнения пресноводных водоемов<sup>1</sup>, были собраны на различных по степени загрязненности реках Воронежского заповедника — Усмани и Ивнице. Усмань за пределами заповедника, выше по течению, собирает стоки промышленных предприятий и населенных пунктов; Ивница формируется в центральной части заповедника и потому свободна от антропогенных стоков.

Значение коэффициентов накопления тяжелых металлов авторы рассчитывали как отношение их концентраций в теле жуков-плавунцов и в пробах воды. Оказалось, что для особей

<sup>1</sup> Подробнее см.: Водные беспозвоночные — индикаторы загрязнения водоемов. — Природа, 1981, № 2, с. 111.

обоего пола, взятых из Усмани, этот коэффициент был более высоким, однако если для самцов из Усмани и Ивницы он отличался в 1,4—4,3 раза, то для самок — только в 1,1—2,6 раза. Таким образом, самцы жуков-плавунов накапливают тяжелые металлы в больших количествах и потому для контроля загрязнения водных экосистем более предпочтительны.

Пониженное накопление тяжелых металлов самками рассматривается исследователями как приспособление, обеспечивающее защиту потомства от повреждающего действия этих элементов.

Журнал общей биологии, 1981, т. 92, № 4, с. 583—585.

#### Палеоботаника

### Древнейшие цветковые растения

При раскопках в районе г. Осен (Норвегия) палеоботаники Э. Фрис (Бедфордский колледж, Лондон) и А. Скарбю (Стокгольмский геологический институт) обнаружили в глиняных отложениях из каменноломен ископаемые остатки цветковых растений, которые можно считать древнейшими из когда-либо найденных до сих пор: по данным анализа, этим растениям около 80 млн лет.

Находки ископаемых цветков вообще очень редки, а их сохранность чрезвычайно мала, так как чаще всего они оказываются раздавленными в процессе окаменения пород. Данная находка отличается тем, что цветки сохранились полностью. Причина, очевидно, в том, что во время лесного пожара, происшедшего в пору цветения, стенки клеток обуглились, внутренние нежные части цветка стали более прочными и приобрели определенную способность противостоять сжатию. Благодаря этому они вполне поддаются ботаническому описанию.

Размер цветка всего 2 мм в длину и 1 мм в поперечнике. По мнению авторов, это растение относится к порядку камнеломковых (*Saxifragales*), но ни к какому современному роду,

несмотря на относительную близость к роду гортензии (*Hydrangea*), его отнести не удастся. *Nature*, 1981, v. 291, № 5815, p. 484—486 (Великобритания).

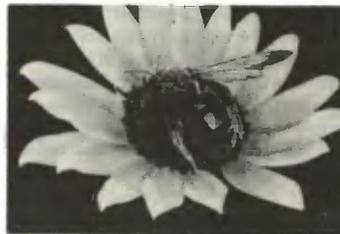
#### Зоология

### Лучший опылитель подсолнечника

До сих пор считалось, что лучшим насекомым-опылителем подсолнечника является домашняя европейская медоносная пчела, распространенная также и в Северной Америке. Ныне это мнение опровергается исследованиями, которые провели П. Херд (Смитсоновский музей естественной истории), У. Ла Бердж (Иллинойский музей естественной истории) и Г. Линсли (Университет штата Калифорния).

В течение трех лет они изучали поведение пчел в восьми удаленных друг от друга районах Техаса, Нью-Мексико, Аризоны и Калифорнии, где в последние годы посевы подсолнечника занимают все большие площади. Было идентифицировано 284 вида пчел, собиравших пыльцу на цветках подсолнечника. Однако, как оказалось, в 90% случаев подсолнечник опыляется лишь 17 видами пчел, не относящимися к домашним медоносным. Все они принадлежат к насекомым, которые собирают пыльцу с растений одного и того же или весьма близких видов и только в исключительных случаях берут нектар с других растений. Европейская же медоносная пчела относится к насекомым, не ограничивающим себя одним видом опыляемого растения.

Особенно активно посещали подсолнечник дикие американские пчелы, очень распространенные в юго-западных штатах. Интересно отметить, что даже в тех случаях, когда рядом с полем подсолнечника стояли ульи с европейскими медоносными пчелами, последние сажались на подсолнечник весьма редко. Так как в Северной Америке имеется около 50 видов подсолнечника, дикая пчела, очевидно, смогла отлично приспособиться к «сотрудничеству» с ними.



Дикая американская пчела.

В отличие от Советского Союза, где культура подсолнечника издавна занимает большие площади, а получаемое из него масло широко используется, в США подсолнечник лишь в последнее время стал играть существенную роль в сельском хозяйстве: с 70-х годов его плантации возросли с нескольких тысяч почти до полутора миллиона гектаров в 1980 г. Таким образом, опыление этих площадей дикой пчелой может оказаться более эффективным, нежели опыление пчелой домашней. *Smithsonian Institution Research Report*, 1981, № 33, p. 1, 6 (США).

#### Зоология

### Зеленых лягушек можно разводить в ирригационных каналах

О. С. Аврамова (Днепропетровский университет) изучала возможность выращивания зеленых лягушек (прудовой и озерной) в ирригационных каналах и сделала прогноз промышленного разведения этих земноводных. Дело в том, что интенсивный отлов зеленых лягушек, являющихся предметом экспорта, сократил их численность в природе. Кроме того, в степной зоне Украины они стали исчезать в связи со строительством ирригационных каналов, приведших к обмелению и высыханию малых рек и степных озер. Однако численность лягушек, как показала автор, можно восстановить, если использовать для их разведения сами каналы.

Весь процесс воспроизводства лягушек складывается из нескольких стадий — инкубации, развития личинок и наугула до

товарных размеров, причем инкубация и развитие личинок проходят в боковых дренажных каналах, а нагул — в магистральных. В период размножения на 1 м<sup>2</sup> вдоль боковых дренажных каналов сейчас встречается по 2—3 лягушки, а из 82 млн отложенных ими икринок метаморфоз заканчивают лишь 0,3 млн личинок — слишком велик процент естественной гибели. Сеголетки, 2- и 3-летние лягушки обычно переселяются в магистральные каналы, где они находят обильный корм: интенсивное освещение привлекает сюда огромное количество чешуекрылых и двукрылых насекомых.

Хотя от откладки икринок до нагула сеголеток выживает только 0,00002% особей, уже в настоящее время можно ежегодно добывать до 0,3—0,5 т лягушек с 1 га канала (1 га=2,5 км трассы), а с 200-километровой трассы канала Днепр—Донбасс можно получить 20—40 т ценного сырья. Самые минимальные затраты по защите молды от хищников увеличат отлов до 80—125 т. Если же создать оптимальные условия для инкубации икры, организовать подкормку личинок и сеголеток, то с 1 га магистрального канала можно будет добывать по 2—3 т промысловых лягушек.

Вопросы герпетологии (Пятая всесоюзная герпетологическая конференция, Ашхабад, Наука, 1981). Л.: 1981, с. 4.

Геотектоника

**Возвышенность Шатского: вулканический массив или микроконтинент?**

Возвышенность Шатского — крупнейшее поднятие дна в Северо-Западной котловине Тихого океана. Существуют разные гипотезы ее происхождения; к крайним точкам зрения относятся представления о том, что это либо останец материковой коры (микроконтинент), либо сугубо океаническое образование, возникшее благодаря скупиванию масс океанической ко-



Положение возвышенности Шатского в Тихом океане (показана цветом). Протяженность возвышенности около 1200 км, ширина — 200—250 км, над ложем океана поднимается на 3—3,5 км (изобаты — в километрах).

-  Места драгировок
-  Район глубоководного бурения
-  Положение профиля многоканального сейсмического профилирования
-  Глубоководные желоба, отделяющие Тихоокеанскую плиту от островных дуг

ры в процессе деформации дна океана.

Вопрос о происхождении возвышенности Шатского важен для расшифровки геологической истории древнейшей, мезозойской, части Тихого океана. Две попытки исследовать строение этого поднятия с бурового судна «Гломер Челленджер» в 1969 и 1973 гг. (6-й и 32-й рейсы) полностью успешными не были: удалось получить сведения о возрасте и строении осадочной толщи, перекрывающей фундамент, но сам фундамент практически достигнут не был. Изучению этого поднятия были посвящены 21-й (1978 г.) и 23-й (1979 г.) рейсы «Дмитрия Менделеева», в которых сотрудники Института океанологии им. П. П. Ширшова и Геологического института АН СССР провели его геолого-геофизическое иссле-

дование (руководитель научной программы Ю. М. Пуцаровский, начальник экспедиции Ю. П. Непрочнов).

В этих экспедициях «Дмитрия Менделеева» впервые были получены представительные данные о составе пород фундамента возвышенности (с помощью драгировок) и о его внутреннем строении (методом многоканального глубинного сейсмического профилирования). Поднятые драгами породы оказались довольно сильно выветрелыми<sup>2</sup>. Некоторые образцы имели вишнево-красную окраску, обычно наблюдающуюся при изменении вулканических пород в приповерхностных (субаэральных) условиях. По химическому составу породы фундамента близки к толеитам — примитивным базальтам ложа океана, но отличаются от них несколько повышенным содержанием окислов железа и алюминия и минимальным для толеитов содержанием окислов титана.

Тот факт, что на возвышенности Шатского нигде (ни бурением, ни драгировками) не были обнаружены кислые породы, дает основание считать ее структурой, образованной в пределах океана. Возможно, в некоторые, наиболее ранние периоды ее формирования она даже обнажалась на поверхности океана или же была значительно более мелководной, чем в настоящее время. Детальные сейсмические исследования показали,

<sup>1</sup> Пуцаровский Ю. М., Меланхолина Е. Н. — Геотектоника, 1981, № 4, с. 5.

<sup>2</sup> Кашинцев Г. Л., Суюмов А. Е. — Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 4, с. 968.

что и по структуре фундамента возвышенность Шатского не похожа на микроконтинент<sup>3</sup>.

Если в пределах Северо-Западной котловины земная кора имеет достаточно простое строение, типичное для ложа океана, то в зоне перехода от котловины к возвышенности происходит резкое утолщение второго и третьего слоев океанической коры (соответственно до 6 и 8 км). Оба слоя распадаются на несколько неравномерных по мощности толщ<sup>4</sup>. Между осадочным слоем и фундаментом зарегистрирован новый слой, с переходными между ними пластовыми скоростями сейсмических волн (3,5—4,5 км/с). Второй и третий слои коры в пределах возвышенности имеют блоковое строение. Они состоят, очевидно, из переслаивающихся линзовидных тел протяженностью до 8—10 км. Два эти факта как раз и объясняют то, что на сейсмическом разрезе отсутствуют протяженные границы слоев земной коры.

Как объяснить слоистоблоковую структуру фундамента? По своей морфологии «блоки» напоминают слившиеся в единую цепь вулканы, понижения между которыми заполнялись вулканогенно-осадочными породами. Видимо, в геологическом прошлом возвышенность Шатского была похожа на современный Азорский архипелаг. Как и последний, она также располагалась вблизи зоны стыка трех плит и возникла в результате интенсивного подводного вулканизма. По-видимому, в основании возвышенности расположен крупный разлом земной коры, который мог служить источником вулканического материала. Анализ магнитных аномалий показывает, что этот разлом был долгоживущим; он постепенно распространялся с юго-запада на северо-восток, так что фундамент возвышен-

ности — разновозрастное образование.

Итак, геолого-геофизические исследования не подтвердили прежних представлений о том, что возвышенность Шатского — останец материковой коры. Более обоснован вывод, что это — древнее вулканическое образование.

**А. Е. Сузюмов,**  
кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

#### Океанология

### Вихри в Индийском океане

В марте — июле 1980 г. научно-исследовательское судно АН УССР «Академик Вернадский» совершило очередной, 22-й рейс в северо-западную часть Индийского океана; исследования велись также в Красном, Средиземном и Черном морях. На нескольких полигонах, практически охвативших всю открытую часть Аравийского моря, изучались гидрофизические характеристики океана. Экспедиция выявила, в частности, вихревые образования водных масс размером от 60 до 200 миль.

Всего на полигонах обнаружено 12 вихрей — 7 циклонических и 5 антициклонических. В отличие от вихрей, зафиксированных международной экспедицией ПОЛИМОДЕ<sup>1</sup> (1977—1978 гг.), вихри, открытые в Индийском океане, отличаются сравнительно небольшой интенсивностью и быстрой изменчивостью форм. Так, один из вихрей, изученный более полно, смещался со средней скоростью 9 миль в сутки в запад-юго-западном направлении; скорость течения в самих круговоротах воды составляла 10—30 см/с.

Наиболее четко вихревые образования выделялись в толще воды на глубине 100—400 м, а ее увеличением постепенно исчезали. На поверхности Аравийского моря вихри практически нигде не проявлялись в виде аномалий температур, но им часто соответствовали аномалии солёности воды: при образовании вихря часть водной массы захватывается им и перемещается в район с другими характеристиками водной среды, создавая аномалии солёности.

В пределах вихря происходит, по-видимому, не только горизонтальный, но и вертикальный перенос водной массы, а вместе с ней — растворенных веществ и взвешенных частиц. Вследствие этого возникают аномалии оптических характеристик воды, пространственно приуроченные к вихрям. В центре вихря наблюдается подъем вод, по периферии — их опускание. В пределах циклонического вихря наибольших величин достигало также содержание хлорофилла в верхнем слое воды — до 30 мг/м<sup>2</sup>.

Специалисты предполагают, что по крайней мере одной из причин образования вихрей в Индийском океане могло служить меандрирование гидрологического фронта (извилистость границы, разделяющей водные массы с разными свойствами), который пересекал Аравийское море в те месяцы, когда там проводились исследования. К другим причинам можно отнести изменения скорости и направления ветра, изменения в динамике вод в прибрежных районах Аравии и Индостана.

Океанология, 1981, т. XXI, вып. 4, с. 757—759.

#### Геохимия

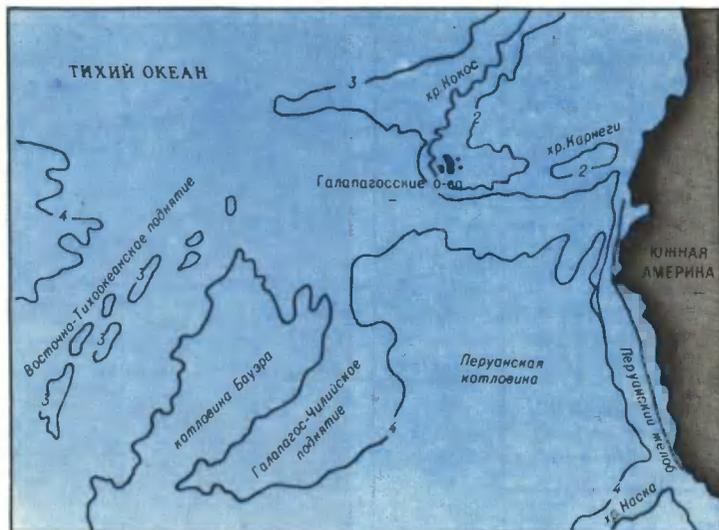
### Металлоносные осадки Тихого океана

Ю. В. Кузнецов, Э. И. Альтерман и А. П. Лисицын (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) исследовали скорость седиментации металлоносных осадков, а также изменения их радиохимического и химического составов в юго-вос-

<sup>3</sup> Меланхолина Е. Н., Непрочнов Ю. П. Северо-западная область Тихого океана. — В кн.: Тектоника континентальных окраин северо-запада Тихого океана. М.: Наука, 1980.

<sup>4</sup> Коган Л. И. — Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 4, с. 831; т. 259, № 4, с. 922.

<sup>1</sup> Аббревиатура названий двух уже проведенных экспериментов — советского «Полигон» и американского «MODE» («Mid Ocean Dynamical Experiment»). См. также: Поле синоптических океанских вихрей. — Природа, 1979, № 5, с. 120.



## Древнейшему поселению Сибири — 1,5 млн лет!

Открытое А. П. Окладниковым более 10 лет назад палеолитическое поселение Улалинка<sup>1</sup>, расположенное в предгорьях Алтая, на речке Улалинке (правого притока р. Маймы), в черте г. Горно-Алтайска, вызывает все возрастающий интерес не только у археологов, но и у специалистов по геологии и геоморфологии. Дело в том, что в вопросе о возрасте этого древнейшего поселения Сибири нет единого мнения. Между тем его окончательное выяснение позволило бы уточнить время появления человека на территории нашей страны.

Найденные на стоянке каменные орудия<sup>2</sup>, изготовленные из местного кварцита, отличаются поразительной архаичностью форм и техники обработки камня. Древние люди мелко раскалывали крупные гальки на две половинки, грубо заостряли их ударной ретушью — получались скребловидные галечные орудия, орудия с выемками и «носиками», орудия, близкие к ручным рубилам. Такая архаичность каменных изделий до сих пор находилась в противоречии с молодым геологическим возрастом поселения, который определялся спелеологами никак не древнее 100 тыс. лет. Полевые наблюдения и расчистки, проведенные на Улалинке в 1977—1979 гг. автором под руководством А. П. Окладникова, позволили получить новые данные, изменившие прежние представ-

Батиметрическая схема юго-восточной части Тихого океана, на разрезе, проходящем от оси Восточно-Тихоокеанского поднятия через впадину Бауэра (крупный разлом земной коры в одноименной котловине) к Галапагос-Чилийскому поднятию.

Химический анализ донных отложений показал, что осадки на гребне Восточно-Тихоокеанского поднятия обогащены железом и марганцем, но обеднены алюминием, кремнием и титаном. Осадки Галапагос-Чилийского поднятия на 99% состоят из карбонатного материала и, таким образом, являются фоновыми по отношению к металлоносным отложениям. Для глубоководной депрессии Бауэра характерна четкая синхронность в распределении по вертикали основных химических компонентов (окислов железа, марганца, алюминия, кремния и титана).

По данным авторов, это объясняется низкими темпами накопления осадков на глубине, близкой к критической для карбоната кальция (т. е. на глубине, где это вещество начинает растворяться в морской воде). В этих условиях на разделе морская вода — осадок гидротермального железа и марганец гидролизуются, при этом образуется большое количество хлопьевидных

коллоидов, которые интенсивно захватывают из воды большинство присутствующих в ней химических компонентов и выводят их в осадок. Именно поэтому в глубоководных условиях впадины Бауэра все изменения в скорости седиментации проявляются наиболее отчетливо.

Во всех колонках донных отложений вдоль исследованного разреза содержание радиоактивного изотопа тория <sup>230</sup>Т падает по мере углубления в толщу осадков.

По распределению в осадочной толще радиогенных элементов была рассчитана скорость отложения металлоносных осадков: самая большая — 15 мм/1000 лет — на гребне Восточно-Тихоокеанского поднятия; минимальная — 0,3 мм/1000 лет или несколько выше — в депрессии Бауэра.

Характер вертикального распределения радиозлементов и основных химических компонентов свидетельствует, по мнению авторов, о том, что происхождение рудных компонентов связано как с гидротермами, так и с подводным вулканизмом. При этом металлоносные осадки накапливаются не только вдоль свода срединно-океанического хребта, но и на значительном удалении от него, в районах, где дно океана нарушено глубинными разломами.

Океанология, 1981, т. XXI, вып. 2, с. 308—317.

<sup>1</sup> Окладников А. П. Сибирь в древнекаменном веке. Эпоха палеолита. — В кн.: Древняя Сибирь. Улан-Удэ, 1964; Окладников А. П., Рагозин Л. А. — Изв. Сиб. отд. АН СССР, 1978, № 6, сер. обществ. наук, вып. 2.

<sup>2</sup> Подробное описание орудий см.: Окладников А. П. Улалинка — древнепалеолитический памятник Сибири. — В сб.: Материалы и исследования по археологии СССР. Л., 1972, т. 7.

Абсолютный возраст, млн лет	Магнитные эпохи	Геологические периоды		ЮГ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ	УЛАЛИННА	ПАЛЕОЛИТИЧЕСКИЕ ОРУДИЯ АФРИКИ		
				лессовидные суглинки	лессовидные суглинки			
0,3	Брюнес	четвертичный		лессовидные суглинки	лессовидные суглинки	отбойники		
0,5				красно-дубровская свита	краснодубровская свита	ручные рубила		
1,0	Матуяма	неогеновый		кочковская свита	перерыв в осадконакоплении		галечные орудия	
1,5						павлодарская свита		ночковская свита с галечными орудиями в верхней части
2,0								
2,5	Гаусс				кварцевые пластины			
3,0						Гильберт		
3,5								
4,0								
4,5								

### Сопоставление геологического разреза Улалинской стоянки с другими территориями.

ления и значительно удрежнявшие возраст стоянки.

Геологическое строение района Улалинской стоянки достаточно сложное. Она расположена в зоне пересечения двух глубинных разломов, на оконечности увала, который представляет собой отрог хребта Иолго, сложенный окремненными известняками, кварцитами и другими древнейшими породами Алтая. Геологический разрез Улалинской стоянки характеризуется двумя резко отличными толщами. Верхняя — сероцветная (4,5 м) — сложена лессовидными суглинками, под которыми залегают буровато-серые глины. Нижняя — пестроцветная (2,5 м) — сложена охристо-желтыми глинами, перемежающимися линзовидными слоями золотисто-желтой и белой глины. В верхней части этой толщи и обнаружен культурный слой (0,25 м), представленный желтой глиной с кварцитовыми гальками, валунами и галечными орудиями. Кварциты, послужившие материалом

для изготовления галечных орудий, относятся к коренным горным породам очень древнего возраста, слагающим увал с Улалинской стоянкой.

Палеомагнитные исследования, проведенные Г. А. Поспеловой и З. Н. Гнибиденко, показали<sup>3</sup>, что только верхняя сероцветная толща имеет четвертичный возраст. Она относится к прямой палеомагнитной зоне, сопоставляемой с частью так называемой зоны Брюнес (как известно, шкала палеомагнитной полярности геологических образований позволяет определять возраст горных пород в абсолютных цифрах). Оказалось, что нижний слой этой сероцветной пачки имеет абсолютный возраст примерно 300 тыс. лет. Охристо-желтые глины нижней пестроцветной толщи с культурным слоем галечных орудий относятся к более древней, об-

ратной палеомагнитной зоне, которая может быть сопоставлена с зоной Матуяма или с зоной Гильберта, но в любом случае она древнее 690 тыс. лет.

Вся нижняя пестроцветная толща, таким образом, принадлежит не четвертичному, а более древнему геологическому периоду — неогену. Точнее — это местная, так называемая кочковская свита, относящаяся к последней, плиоценовой эпохе неогенового периода. Кочковская свита формировалась в интервале от 3,32 млн до 0,69 млн лет назад. Если сопоставить полученный палеомагнитный разрез Улалинской стоянки с палеомагнитным разрезом юга Западной Сибири, можно более точно определить возраст культурного слоя с галечными орудиями: он залегает в средней части кочковского горизонта и относится, вероятнее всего, к интервалу времени от 2,5 млн до 1,5 млн лет назад.

<sup>3</sup> Подробнее см.: Поспелова Г. А., Гнибиденко З. Н., Окладников А. П. О возрасте поселения Улалинка по палеомагнитным данным. — В сб.: Археологический поиск (Северная Азия). Новосибирск: Наука, 1980.

Недавно получены результаты термолюминесцентного анализа, проведенного на географическом факультете Московского государственного университета А.И. Шлюковым, ру-



Геологический разрез Улалинской стоянки (фотография 1978 г.). На дне раскопа в культурном слое видны галечные орудия архаичной формы; они залегают в кочковской свите, перекрытой четвертичными отложениями.

ководителем группы геохронологии. Анализ показал, что культурный слой с улалинскими галечными орудиями имеет возраст 1 млн 480 тыс. лет.

Примерно такой же возраст имеет аналогичная культура галечных орудий, впервые описанная Л. Лики в Олдувайском ущелье (Танзания). За последнее время география распространения галечных орудий значительно расширилась: они известны от Эфиопии до Южной Африки, от Индии и Китая до Индонезии. Теперь к этому ареалу присоединяются предгорья Алтая.

Архаичная, в полной мере первобытная, улалинская культура не исчезла бесследно. Она явилась исходной основой, на которой впоследствии выросли более поздние палеолитические культуры Сибири, сохранившие до голоцена в своем каменном инвентаре следы происхождения от этой древнейшей улалинской культуры.

Своеобразный психологический барьер о якобы позднем

заселении Сибири преодолевать нелегко. Только на стыке двух наук — археологии и геологии — удалось установить истинный возраст Улалинки, ставшей уникальным памятником палеолитической культуры на территории нашей страны.

Факт нахождения в Сибири орудий, близких галечным орудиям из Олдувая, представляет, бесспорно, теоретический интерес и может внести некоторые новые элементы в дискуссию по проблеме прародинны человека.

**Л. А. Рагозин,**  
доктор геолого-  
минералогических наук  
Москва

История науки

## Русские рукописные карты в парижских архивах

Сотрудник Библиотеки АН СССР Г. Н. Утин недавно описал и репродуцировал коллекцию русских рукописных карт первой половины XVIII в., хранящуюся в Париже. Значительная часть карт — это материалы первой государственной систематической съемки страны, начатой в 1720 г. русскими геодезистами. Коллекция была тайно переправлена во Францию академиком Петербургской академии наук, астрономом и картографом Ж. Делилем, находившемся на службе в России с 1726 по 1747 г. В 1754 г. русские карты купил у Делиля король Людовик XV, затем они были переданы в Королевскую (ныне Национальная) библиотеку и некоторые другие хранилища. В настоящее время карты находятся в Национальной библиотеке, в архивах службы истории морского флота и других архивах.

Всего в этих хранилищах Г. Н. Утин изучил 313 и репродуцировал 297 карт. Среди них — карты всей территории России (так называемые генеральные), карты европейской и азиатской территорий, отдельных губерний, уездов, населенных пунктов, морей, озер, рек, каналов и других объектов. Некоторые карты представляют

особую ценность. Так, в парижских архивах неходится большое число карт северных, центральных, юго-западных и восточных территорий Европейской части России и западных, юго-западных и южных территорий Азиатской части, которых вообще нет в отечественных хранилищах. Наиболее многочисленна коллекция карт уездов: 107 уездов положено на карты, увезенные из России; в Библиотеке АН СССР и других советских архивах сохранились карты лишь 60 уездов.

В парижских собраниях находятся — также отсутствующие в отечественных хранилищах — карты рек Волхова, Десны, Нарвы, Печоры, Северского Донца; карты дорог Москва — Петербург и Москва — Тобольск — Пекин, водных путей из оз. Ильмень в Ладожское и Онежское, из Балтийского моря в Черное.

Некоторые карты заслуживают самого пристального изучения, так как их очертания отличаются от очертаний карт того же времени, хранящихся в нашей стране. Такова, например, карта побережья Северного Ледовитого океана, составленная по материалам участников Великой Северной экспедиции — С. И. Челюскина, Х. П. и Д. Я. Лавретьева, В. В. Прончищева и др., или генеральная карта России И. К. Кирилова с надписями на русском языке. У ее северной рамки сохранилась карандашная пометка: «Carte générale de Kirilov».

Репродукции карт из парижских архивов не только обогатили фонд Библиотеки АН СССР и восполнили пробелы в коллекциях рукописных карт нашей страны. Эти достоверные, первые и точные по тому времени, карты представляют исключительный интерес для изучения русской науки и культуры XVIII в.

Поиск русских карт в парижских архивах, по мнению Г. Н. Утина, нельзя считать законченным: пока изучены не все карты из коллекции Делиля, полный каталог которых был сделан главным библиотекарем Национальной библиотеки Франции А. Иснером в 1916 г. Известия АН СССР, серия географическая, 1981, № 2, с. 126—131.

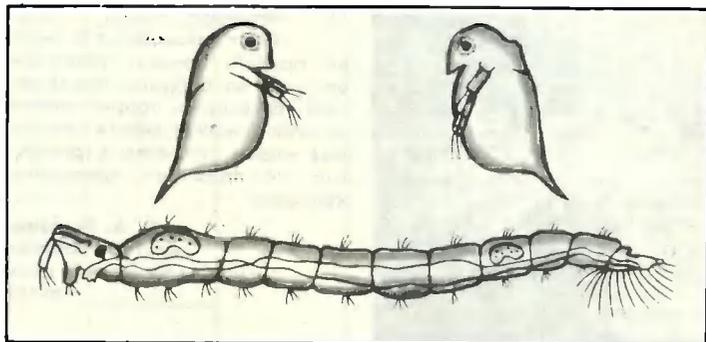


## Экология

## Хищник вызывает рост защитных образований у своих жертв

А. М. Гиляров,  
кандидат биологических наук

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова



Около 15 лет назад было обнаружено, что хищная коловратка аспланхна (*Asplanchna*) выделяет в воду вещество, которое, воздействуя на эмбрионы другого вида коловраток — *Brachionus calyciflorus* — ее жертвы, стимулирует у нее же образование длинных боковых отростков панциря. Особи с такими отростками в буквальном смысле слова «становятся поперек горла» аспланхне и поэтому поедаются ею значительно реже, чем обычные особи *Brachionus calyciflorus*.

Недавно опубликованы две независимо выполненные работы, в которых подобные явления впервые описаны и для ракообразных, испытывающих пресс хищных водных насекомых.

Как показали австралийские исследователи Г. Грант и И. Бейли<sup>1</sup>, у некоторых форм дафний из сложного комплекса видов *Daphnia carinata* (некоторые исследователи трактуют их как самостоятельные виды) в присутствии их обычных хищников — водяных клопов *Anisops* (из семейства *Notonectidae*) отрастает на спинной стороне тела гребень, рассматриваемый как характерная особенность других видов. В специальных опытах выяснено, что особей с таким

гребнем хищники поедают меньше по сравнению с формами, не имеющими гребня. Образование гребня вызывается каким-то растворимым в воде веществом, которое выделяет хищник; оно воздействует на молодых и взрослых, но не достигших еще своего максимального размера дафний. Во время опытов дафний и хищников помещали в один и тот же сосуд, но по разные стороны от перегородивающей его пополам сетки. При этом в разных вариантах опыта хищников кормили либо дафниями, либо головастиками, либо оставляли голодными. Стимуляция роста гребня отмечена во всех случаях, хотя при кормлении дафниями она была самой сильной, а в варианте с голоданием — самой слабой. Результаты опытов свидетельствуют, что гипотетическое вещество выделяется хищником, а не является

чем-то вроде «вещества тревоги» (известного для рыб), выделяемого самими дафниями в момент нападения на них хищника или при их поедании.

Данные, полученные австралийскими исследователями экспериментально, согласуются с результатами проведенного ими же обследования большого числа водоемов с целью установить возможную связь между количественным соотношением морфологически различающихся форм дафний и наличием хищных клопов *Anisops*. Оказалось, что с численностью хищника отрицательно коррелирована численность дафний, не имеющих гребня, и положительно — численность дафний с гребнем.

Другая работа, выполненная американскими исследователями Д. Крюгером и С. Додсоном<sup>2</sup>, показала, что из яиц типичной *Daphnia pulex* в присутствии хищников — личинок некусающихся комаров *Chaoborus americanus*<sup>3</sup> — развиваются особи, морфологически идентичные другому виду дафний — *Daphnia minnehaha*. Для последнего вида особенно характерно наличие в молодом возрасте

<sup>1</sup> Grant J. W. G., Bayliff I. A. E. — *Limnology and Oceanography*, 1981, v. 26, № 2, p. 201.

<sup>2</sup> Krueger D. A., Dodson S. I. — *Ibid.*, p. 219.

<sup>3</sup> Родственные виды из того же семейства *Chaoboridae* хорошо известны нашим аквариумистам под названием «коретра».

небольшого выроста на задней стороне головы, который, как показано экспериментально теми же авторами, в значительной мере предохраняет их от истребления личинками хаборуса, создавая неудобство хищнику при удержании добычи. Хаборусы воздействуют на дафний посредством неизвестного вещества, растворимого в воде, причем эффект, оказываемый голодающими личинками, слабее, чем накормленными. Экстракт из тел личинок также вызывает образование выростов, хотя и менее выраженных. В отличие от ситуации, описанной австралийскими исследователями, изменения у *Daphnia pulex* наблюдались только при воздействии личинок хаборуса на яйца или эмбрионы этого вида; у новорожденных дафний и находящихся на всех других более поздних стадиях развития присутствие хаборуса не вызывает каких-либо морфологических изменений.

Описанные открытия австралийских и американских исследователей имеют большой общебиологический интерес. Они заставляют по-новому взглянуть и на целый ряд проблем, возникающих при изучении зоопланктона. Во-первых, выявляется чрезвычайная сложность отношений хищник—жертва<sup>4</sup>. Случай с коловратками *Brachionus* и *Asplanchna* не выглядит столь уж уникальным или даже парадоксальным, каким он казался совсем недавно. Возможно, что возникающая в процессе онтогенеза реакция жертвы на присутствие хищника встречается в природе достаточно регулярно. Во-вторых, теперь получены дополнительные свидетельства, что так называемый цикломорфоз (закономерное сезонное изменение формы), весьма часто встречающийся среди планктонных животных, вероятно, связан с периодически меняющимся прессом хищников, а само образование различных выростов (шлемов, гребней, отростков и т. п.) может вызываться непосредственным присутствием хищников. В-третьих, еще

раз подтверждается несовершенство существующей систематики планктонных ракообразных, в частности такого распространенного рода, как *Daphnia*.

#### Зоология

### Симбиотические бактерии в половой системе кальмаров и каракатиц

К. Н. Насис,

кандидат биологических наук  
Институт океанологии  
им. П. П. Ширшова АН СССР  
Москва

В половой системе самок каракатиц и почти всех кальмаров есть пара нидаментальных (скорлуповых) желез. У зрелых самок эти объемистые ярко-белые железы, лежащие на брюшной стороне внутри мантийной полости, сразу бросаются в глаза. Во время нереста железы выделяют жидкую, но быстро уплотняющуюся в воде липкую слизь, из которой самка формирует оболочку яйцевой кладки (у кальмаров) или внешнюю оболочку яиц (у каракатиц, откладывающих яйца не общей массой, а поодиночке). Секрет этих желез не только приклеивает яйца к грунту (а у пелагических кальмаров уравнивает в толще воды), но еще и защищает кладку от обрастания плесневыми грибами и микроводорослями, не позволяет развиваться на ней инфузориям и другим мелким, но опасным врагам икры, делает кладку неуязвимой для хищников (даже все переваривающий желудок морской звезды не справляется с кладкой кальмара).

У каракатиц и пелагических кальмаров имеется еще и пара придаточных желез трубчатого строения, расположенных близ переднего конца основных желез. Эти придаточные железы только у незрелых самок белые; по мере созревания они желтеют, потом краснеют и у зрелых самок приобретают яркий кораллово- или розово-

красный цвет, так что просвечивают сквозь стенку мантии и хорошо заметны снаружи.

Уже более 60 лет известно, что придаточные железы — не только секреторный орган, но иместилище симбиотических бактерий<sup>1</sup>. Однако о роли этих желез и функции бактерий ничего не было известно. Ни одна из многочисленных гипотез не была подтверждена наблюдениями.

Когда в 70-х годах бельгиец В. Деклейр и француз А. Ришар исследовали красный пигмент придаточных желез каракатицы *Sepia officinalis*, они установили, что это — неизвестный ранее каротиноид, которому они дали название сепиасантин<sup>2</sup>. В последующих работах удалось проследить развитие этих желез у каракатицы от вылупления из яйца до созревания и нереста; были изучены также строение, секреторный цикл и бактериальное население этих желез у кальмаров *Loligo vulgaris*, *Alloteuthis subulata*, каракатиц *S. officinalis*, *Sepioteuthis atlantica*, выделены бактериальные пигменты и изучены их свойства. Работа облегчалась тем, что в лаборатории Ришара в Вимере (близ Па-де-Кале, Франция) с 1965 г. поддерживается лабораторная культура каракатиц, которые успешно завершают в аквариумах весь свой жизненный цикл в течение нескольких поколений.

Оказалось, что цвет придаточных желез изменяется в точном соответствии с ходом полового созревания. У юных самок (1—2-я стадии зрелости) железы бесцветные или белые; на 3-й стадии они сперва кремово-белые, потом бежевые; на 4-й — желтые, на 5-й — оранжевые, затем оранжево-красные и, наконец, у готовых к нересту самок — интенсивно кораллово-красные. Цикл развития желез не меняется после кастрации самок, т. е. не зависит от влияния личинки, но, по-видимому, контролируется гонадотропным

<sup>4</sup> См., напр.: Буруков-ский Р. Н. Креветки-чистильщики.— Природа, 1981, № 10, с. 101.

<sup>1</sup> Buchner P. Tierisches Leuchten und Symbiose. В., 1926.

<sup>2</sup> Declair W., Ri- chard A.— Biol. Jaarb. Dordonee, 1972, v. 40, № 1, p. 188.

гормоном оптических желез, который воздействует на развитие всех органов половой системы самцов и самок головоногих. Сами ткани железы не окрашены — ее окраска зависит только от цвета и количества бактерий, которое увеличивается по мере созревания самки и резко падает сразу же после нереста<sup>3</sup>.

Американский анатом Р. Блудгуд, который исследовал несколько зрелых самок кальмара *Loligo realei* с кораллово-красными придаточными железами, обнаружил, что у всех составляющих железу трубочек просвет заполнен белыми, желтыми или красными бактериями. В каждой трубочке бактерии были только одного цвета, а смесь всех цветов давала ярко-красный. Бактерии легко росли вне тела кальмара, на агаре, но через 1—2 дня полностью теряли окраску и заставить их синтезировать пигмент Блудгуду не удалось. Он тоже пришел к выводу, что синтез пигментов контролируется секретом придаточных желез, а их секреторная деятельность, в свою очередь, — половым гормоном самки, поэтому окраска железы и зависит от стадии половой зрелости<sup>4</sup>.

Симбиотические бактерии очень разнообразны. У *S. officinalis*, например, выделено 11 штаммов: 5 бесцветных, 3 желтых, 2 оранжево-желтых, 1 оранжево-красный, а бактерии, выделенные из других видов, не похожи на найденные у этой каракатицы. 6 штаммов окрашенных бактерий были размножены, причем удалось подобрать такие среды, что и в культуре бактерии нормально синтезировали пигменты. Их обнаружено 7: 3 желтых, 2 оранжево-желтых, 1 оранжевый и 1 — самый важный — оранжево-красный. Это кетокаротиноид адониксантин.

Он выделяется палочковидными бактериями и составляет около половины общего количества пигментов в железе зрелых самок. Очевидно, именно из него в железе образуется сепаиксантин, и можно предположить, что трансформация адониксантина в сепаиксантин стимулируется секреторной деятельностью железы, которая находится под контролем гонадотропного гормона и усиливается по мере созревания самки. Все прочие пигменты оказались  $\beta$ -каротинами<sup>5</sup>.

Исследователям, однако, не удалось получить ответа на основной вопрос: какова же физиологическая функция придаточных желез? Ранее считали, что они, наряду с основными, участвуют в формировании яйцевых оболочек. Но ни в яйцах, ни в их оболочках не был найден сепаиксантин и вообще каротиноиды. Возникла было мысль о связи этих желез с функцией свечения: ведь некоторые каракатицы и пелагические кальмары имеют светящиеся органы, в которых «работают» светящиеся бактерии (в отличие от океанических кальмаров, у которых собственный внутриклеточный биохимический механизм свечения). Но, во-первых, бактериальные светящиеся органы всегда четко обособлены от придаточных желез; во-вторых, они есть и у самцов, и у самок; в-третьих, как раз ни один из пяти изученных Блудгудом, Деклейром и Ришаром видов не имеет светящихся органов и, наконец, все выделенные штаммы бактерий в культуре не светились.

Деклейр и Ришар вспомнили о своеобразном способе лова каракатиц, который применяют рыбаки Булони: поймав зрелую самку, они помещают ее в ловушку-вершу на дно, а через некоторое время поднимают с несколькими «явившимися на свидание» самцами. Аналогичный способ, придуманный еще античными греками и независимо древними китайцами, до сих пор бытует в Юго-Восточной Азии: самку каракатицы привязывают на веревочку и

медленно буксируют за лодкой, а подплывающих к этой «подсадной утке» самок ловят острой или сачком. Очевидно, самка выделяет в воду какое-то привлекающее их вещество. Не секрет ли это придаточных желез? Однако в опытах самцы не реагировали ни на вырезанные из тела самки железы, ни на вытяжку из них.

Совершенно непонятна и роль бактерий в железе. Выгода бактериям от каракатицы очевидна: они используют необходимые им питательные вещества, содержащиеся в секрете желез. Но раз все самки всех без исключения видов каракатиц и пелагических кальмаров имеют придаточные железы, значит и бактерии приносят им пользу, но какую? Пока что на эти вопросы нет ответа. Ришар и его коллеги заключают: придаточные железы каракатиц и пелагических кальмаров — это «уникальный в животном мире орган... Ответ на вопрос о физиологической роли этих желез остается вызовом будущим исследователям».

<sup>3</sup> Richard A. et. al.— In: Cyclic phenomena in marine plants and animals, 13rd Europ. Marine Biol. Symp. Oxford, 1979, p. 173; Branden C. van den et. al.— Ann. Soc. roy. Zool. Belge, 1978, v. 108, № 3—4, p. 123.

<sup>4</sup> Bloodgood R. A.— Tissue and Cell, 1977, v. 9, № 2, p. 197.

<sup>5</sup> Branden C. van den et al.— Comp. Biochem. Physiol., 1980, v. 66B, № 2, p. 331.

## Организация науки

В. И. ЛЕНИН, КПСС О РАЗВИТИИ НАУКИ. Под общ. ред. К. М. Боголюбова. М.: Политиздат, 1981, 800 с., ц. 1 р. 50 к.

В первом разделе книги помещены избранные работы В. И. Ленина, полностью или в извлечениях, письма, рабочие записки, конспекты и другие документы, содержащие основные указания Владимира Ильича по вопросам развития научных исследований, о значении естественных, общественных и технических наук в развитии производительных сил общества, в построении социализма. Второй раздел сборника составлен из решений и резолюций партийных съездов и конференций, пленумов ЦК партии, которые связаны с организацией науки в стране. Собранные вместе, эти документы наглядно показывают, что вопросы научно-технического прогресса, внедрения достижений науки в практику строительства нового общества всегда были в центре внимания КПСС и им придавалось и придается первостепенное значение. Это подтверждают и материалы третьего раздела, в который включены различные постановления и другие документы ЦК КПСС и советского правительства. Они, как правило, посвящены более специальным вопросам, таким как работа отдельных научных учреждений, развитие определенных направлений в науке, ее материальное и финансовое обеспечение, подготовка специалистов, пропаганда достижений науки и др.

Этот сборник, подготовленный к печати Ф. П. Петровым, будет очень полезен для самого широкого круга ученых, партийных, советских и хозяйственных работников, занимающихся вопросами организации научных исследований.

## Физика

Г. И. Копылов. ВСЕГО ЛИШЬ КИНЕМАТИКА. Под ред. М. И. Подгорецкого. 2-е изд., перераб. М.: Наука, 1981, 176 с., ц. 25 к.

Мир элементарных частиц поражает воображение человека, впервые с ним столкнувшегося. Удивительны свойства этих микроскопических элементов материи, но не менее удивительно, что несмотря на чрезвычайно малые их размеры, невероятно короткую жизнь, огромные скорости, с которыми они движутся, ученым удалось довольно детально изучить их, научиться предсказывать их поведение и, наконец, систематизировать все многообразие известных сейчас элементарных частиц. Для этого понадобились хитроумные теоретические построения и огромные сложные приборы — ускорители. Однако ни теоретики, ни экспериментаторы не сумели бы так далеко продвинуться в своем понимании законов микромира без знания релятивистской кинематики — науки о столкновениях и превращениях частиц, движущихся со скоростями, близкими к скорости света. Она помогает увидеть то, что не под силу самым тонким приборам. Не будь релятивистской кинематики, не состоялось бы открытия нейтрино,  $\Lambda$ -мезонов, странных частиц каонов...

В начале книги автор на нескольких примерах знакомит читателя с основными соотношениями теории относительности, а затем уже рассказывает, как эти формулы «работают» в мире ускорителей. Автор не ставит своей задачей рассказать, как были открыты все элементарные частицы — а сейчас их известно около 200, — но несколько ярких примеров, иллюстрирующих методы, которыми пользуются физики при расшифровке снимков

пузырьковых камер, в книге приводятся. Думается, она будет полезна и любознательному школьнику, и студенту.

## Физика

И. М. Дмитриенко. В МИРЕ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ. Отв. ред. Э. А. Пашицкий. Киев: Наукова думка, 1981, 193 с., ц. 35 к.

Явление сверхпроводимости, открытое Г. Камерлинг-Оннесом в 1911 г. и объясненное лишь 50 лет спустя на основе квантовой теории, получило чрезвычайно широкое применение во многих областях науки и техники. Сверхпроводящими материалами оснащаются сейчас токамаки, с которыми связаны надежды на получение управляемых термоядерных реакций, и гиганты-ускорители, строящиеся для исследований в области физики высоких энергий, поезда на магнитных подушках и сверхчувствительные электронные приборы. Эти и многие другие сверхпроводящие системы описаны в книге И. М. Дмитриенко. В этот удивительный мир автор вводит читателя постепенно, начиная с рассказа об истории открытия явления сверхпроводимости и первых попыток его теоретического описания. Лишь после этого излагаются феноменологическая теория Гинзбурга — Ландау и микроскопическая теория Бардина — Купера — Шриффера, удостоенная Нобелевской премии 1972 г. В книге последовательно рассматриваются многочисленные известные сегодня свойства сверхпроводников, обсуждается волнующая всех проблема высокотемпературной сверхпроводимости. Автор выражает надежду на то, что книга «пробудит у молодого физика или радиоинженера интерес к фундаментальной и прикладной сверхпроводимости».

## Математика

Д. Гильберт, С. Кон-Фоссен. НАГЛЯДНАЯ ГЕОМЕТРИЯ. Пер. с нем. С. А. Каменецкого. 3-е изд. М.: Наука, 1981, 344 с., ц. 1 р. 30 к.

Основу книги составляют лекции выдающегося немецкого математика Д. Гильберта, которые он читал в 1920—1921 гг. студентам Геттингенского университета. «Этот курс лекций,— пишет в своем «Вступительном слове» академик П. С. Александров,— я имел счастье прослушать... и он произвел незабываемое, ничем не изгладимое впечатление». При подготовке к печати лекции Д. Гильберта были переработаны в отдельных деталях и частично расширены С. Кон-Фоссеном.

Читателю представлено достаточно строгое изложение геометрических теорий, но без излишних абстрактных рассуждений, символики и анализа, с наглядными фигурами вместо формул. При большом разнообразии материала (в книге рассматриваются простейшие кривые и поверхности, правильные точечные системы — геометрическая кристаллография, элементы дифференциальной геометрии, геометрическая сущность кинематики и топологии), каждой главе придана определенная законченность, чтобы ее можно было читать без полного знания предыдущих. В то же время все обсуждаемые проблемы взаимосвязаны и, благодаря разносторонности геометрии, дают представление о математике вообще с ее многообразием задач и богатством идей. Книга, по мнению Д. Гильберта, «должна послужить увеличению числа друзей математики, облегчая читателю проникновение в математику без необходимости изучения ее, сопряженного с известными трудностями».

## Биология

И. П. Сосновский. ЖИВЫЕ МУЗЕИ. Предисл. А. Г. БАННИКОВА. М.: Знание, 1981, 142 с., ц. 45 к.

Современный зоопарк — прежде всего научное учреждение, база для изучения различных сторон жизни животных,

своеобразная физиологическая, ветеринарная, этологическая, генетическая лаборатория. В последнее время зоопарки стали также очагами сохранения редких и исчезающих видов животных. Кроме того, нынешние зоопарки выполняют еще и важную функцию пропаганды естественнонаучных знаний среди населения.

Современным «живым музеем» посвящена книга И. П. Сосновского. Достаточно полно рассказано о каждом из 32 зоопарков Советского Союза, а также о крупнейших европейских зоопарках — Берлинском, Пражском, Лондонском, Базельском. Но наиболее подробно автор повествует о Московском, старейшем нашем зоопарке, открытом для посещения в 1864 г. Проработавший здесь более 40 лет, в том числе 25 лет в качестве директора, автор открывает для широкого читателя малоизвестные стороны внутренней жизни зоопарка, рассказывает о сложностях работы и победах его сотрудников.

В книге сделан экскурс к истокам зоопаркового дела в России, рассказано о первых скромных собраниях «диких животных» зверей, появившихся у нас в правление Ивана Грозного. Убеждая читателя в давности традиции создания живых коллекций, автор говорит о древнейших зверинцах Египта, Китая, Вавилона, Древней Греции и Рима. Книга снабжена фотографиями.

## Геология

Б. Тиссо, Д. Вельте. ОБРАЗОВАНИЕ И РАСПРОСТРАНЕНИЕ НЕФТИ. Пер. с англ. А. И. Колюхова, Г. В. Семерниковой и В. В. Чернышева. Под ред. и с предисл. Н. Б. Вассоевича и Р. Б. Сейфуль-Мулюкова. М.: Мир, 1981, 504 с., ц. 7 р. 10 к.

Геохимики-нефтяники Бернар Тиссо (Франция) и Дитрих Вельте (ФРГ) прочно стоят на позициях теории органического (или, иначе, осадочно-миграционного) происхождения нефти, поэтому стержневой в их монографии является идея о существовании нефтематеринских пород и их эволюции в

земной коре. Считая источником образования нефти фитопланктон и бактерии, а в дельтах и прибрежных континентальных областях — органику наземного происхождения, авторы доказывают единую природу всех видов горючих ископаемых — торфа, углей, нефти, газа, горючих сланцев, а их физические и химические различия связывают с последующей геохимической и историко-геологической эволюцией осадков. Последовательно характеризуя все стадии преобразования органического вещества в нефть и газ, авторы рассматривают и такие вопросы, как время образования нефти, термодинамические параметры этого процесса, миграция нефти.

Изложение сопровождается тщательно выполненными и доходчивыми рисунками, схемами, таблицами.

## История науки

С. И. Кан. НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ ЗУБОВ. М.: Наука, Науч.-биограф. сер., 1981, 135 с., ц. 45 к.

Книга знакомит с жизнью видного советского океанолога, инженера контр-адмирала Н. Н. Зубова (1885—1960), который был создателем учения о вертикальной циркуляции морских вод, одним из первых смельчаков, рискнувших давать ледовые прогнозы в арктических морях, участником и руководителем многих морских экспедиций.

Зубов с юных лет связал себя с морем. Кадровый морской офицер, выпускник Морского корпуса, 19-летний Зубов был одним из самых молодых участников Цусимского сражения. Окончив Морскую академию по редкой в то время специальности гидрографа-геодезиста, он начинает заниматься морской гидрологией.

Поскольку вся дальнейшая жизнь Зубова связана со становлением советской океанологии, книга знакомит читателя с этапами развития этой науки. Отдельные главы посвящены организации и работе

первого в нашей стране океанологического учреждения — Плавучего морского научного института, экспедициям в моря Северного Ледовитого океана, в которых принимал участие и Зубов, в том числе на «Персее», первенце советского научно-исследовательского флота, «Малыгине», «Книповиче», «Садко».

Автор книги — ученица Зубова. Ею документально воссоздана живая и творческая атмосфера научных семинаров, так называемых Зубовских пятниц, в Государственном океанографическом институте, где Зубов был директором в военные и послевоенные годы<sup>1</sup>. На страницах, посвященных работе созданных им кафедр океанологии в Московском гидро-метеорологическом институте и на географическом факультете МГУ, рассказывается, в частности, и о том, как происходило формирование знаменитой зубовской школы.

#### История науки

Г. В. Глякин. НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ АНДРЕЕВ (1880—1970). М.: Наука, Научн.-биограф. сер., 1980, с. 30 к.

Герой Социалистического Труда академик Н. Н. Андреев — бесспорно один из наиболее крупных советских ученых. Его имя, к сожалению, не так часто включается в плеяду имен наших замечательных физиков только потому, что область науки, в развитие которой в Советском Союзе он внес решающий вклад, волею судьбы оказалось вне магистрального (или, лучше сказать, модного) пути развития физики в XX в. Читатель — даже профессиональный физик — этой небольшой брошюры, которая вышла к столетию ученого, во многом открывает для себя и значение акустики и значение Андреева в развитии советской физики.

Работы Андреева заложили основы самых различных научных и технических направлений в акустике; нелинейная акустика, гидроакустика, зву-

ковоспроизводящая и приемная электронная техника, музыкальная и архитектурная акустика, физиология восприятия звука и биологическая акустика, подавление шумов и акустическая локация — лишь некоторые из них. Им был организован (впервые в стране) целый спектр акустических лабораторий, кафедр и институтов, основной из которых — Акустический институт Академии наук СССР — носит ныне его имя. Фундаментом этих исследований Андреева были его экспериментальные и теоретические работы в области физики колебаний, начатые им под руководством П. Н. Лебедева.

Андреев оставил также заметный след в популяризации науки. В 20-е годы им был организован научно-популярный журнал «Искра», он был одним из первых в нашей стране пропагандистов работ А. Пуанкаре и А. Эйнштейна, им написаны десятки научно-популярных статей.

В брошюре широко цитируются отрывки из дневников и воспоминаний ученого, которые вызывают огромное уважение к этому незаурядному деятелю отечественной культуры и сожаление о том, что такие уникальные материалы до сих пор не опубликованы.

#### История науки

К. Б. Яцимирский и Р. А. Кострова. ЛЕВ ВЛАДИМИРОВИЧ ПИСАРЖЕВСКИЙ. (на укр. яз.). Киев: Наукова думка, 1979, 80 с., ц. 20 к.

Данная брошюра вышла в серии научных биографий ученых, в честь которых учреждены именные премии и медали Академии наук Украинской ССР.

Один из основателей журнала «Природа» академик Л. В. Писаржевский был во всех отношениях выдающейся личностью. Ученик В. Оствальда и П. Г. Меликишвили (Меликова), Писаржевский одним из первых понял революционное значение для химии выдающихся физических открытий конца XIX — начала XX вв. — электронной, а впоследствии и квантовой теории — и стал,

по сути, создателем отечественной физической химии. О признании его заслуг научной общественностью говорят, например, такие факты: в 25 лет он получил высшую академическую награду, Ломоносовскую премию; он был избран в Академию наук во время первых советских выборов 1928 г.; он был одним из немногих лауреатов премии им. Б. И. Ленина (1930).

Вся деятельность Писаржевского характеризуется в книге как проявление общественной и организаторской активности. По его инициативе были созданы в нашей стране несколько химических институтов, в том числе Институт физической химии АН УССР, которому впоследствии было присвоено его имя; он был первым директором Грузинского филиала АН СССР — ныне Академии наук Грузинской ССР.

В 1911 г. подобно большинству демократически настроенной русской профессуры он принял активное участие в известном «инциденте с Кассо» и в знак солидарности с профессорами Московского университета покинул Киевский политехнический институт, где он заведовал кафедрой неорганической химии. В советские годы Писаржевский неоднократно избирался в ЦИК Украинской и Грузинской ССР и СССР. Создавая в 1912 г. журнал «Природа», В. А. Вагнер и Л. В. Писаржевский также считали это актом «общественного служения в самом широком смысле этого слова». «Подъем общего блага возможен лишь при условии, когда светом знания будут пользоваться не избранные, а все» — писали они на первой странице нового журнала.

Авторам брошюры удалось разыскать новые неизвестные факты о Писаржевском, они рассказывают о судьбе его научного наследия, о развитии его школы и основанного им института физической химии, о работах украинских химиков — лауреатов премии им. Л. В. Писаржевского. Один из авторов брошюры, академик АН УССР К. Б. Яцимирский был удостоин этой премии в 1970 г., ныне он возглавляет институт им. Л. В. Писаржевского.

<sup>1</sup> Кан С. И. Зубовские пятницы — Природа, 1978, № 5, с. 50.

## Письмо Л. В. Писаржевского Н. А. Морозову о выходе первого номера журнала «Природа»

Ниже публикуется хранящееся в архиве АН СССР (ф. 543, оп. 4, д. 1443, л. 26) письмо одного из основателей «Природы» Л. В. Писаржевского известному ученому и революционеру Н. А. Морозову, также одному из активных участников создания журнала. В нем, в частности говорится: «Первый № выйдет в пятницу». Письмо датировано 23 января 1912 г. Это означает, что датой рождения «Природы» можно считать 27 января (9 февраля нового стиля): 23 января в 1912 г. приходилось на понедельник. Милютинский переулочек, обозначенный на бланке редакции,— ныне ул. Мархлевского.

Дорогой Николай Александрович!

Непрерывно и поскорее давайте Вашу речь на мende-левском съезде<sup>1</sup>. Лучше только напишите ее для журнала не в виде речи (если это возможно

и если Вы ничего против этого не имеете).

Разбить статью на два номера можно. Было бы тогда хорошо, чтобы каждая из частей была самостоятельной и в то же время связана с другой.

Если Вы найдете какую-либо подходящую для нашего журнала статью или статьи в иностранных журналах, то дайте их для перевода госпоже Круковской под Вашей редакцией. Будем очень рады.

Крепко обнимаем Вас.  
Привет Ксении Алексеев-не.<sup>2</sup>

Ваш Л. Писаржевский.

Первый № выйдет в пятницу. Не могли бы Вы способствовать тому, чтобы о нем появились заметки в газетах и журналах. Очень буду Вам признателен. Кажется первый номер выйдет недурен.

<sup>1</sup> Информационная заметка Л. В. Писаржевского о Втором мendeлевском съезде по общей и прикладной химии и физике, состоявшемся с 21 по 28 декабря 1911 г. в Петербурге, была опубликована в январском номере «Природы» 1912 г. Речь Н. А. Морозова, о которой говорится в письме, «Прошедшее и будущее миров с современной геофизической и астрофизической точки зрения» напечатана в мартовском номере.

<sup>2</sup> Жена Н. А. Морозова.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

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

Сдано в набор 6.10.81  
Подписано к печати 21.12.81  
Т—24082  
Формат бумаги 70×100 1/16  
Офсет.  
Усл.-печ. л. 10, 32  
Усл. кр.-отт 2196,0  
Уч.-изд. л. 15,7.  
Бум. л. 4  
Тираж 61 100 экз. Зак. 2830

Ордена Трудового Красного  
Знамени Чеховский  
полиграфический  
комбинат Союзполиграфпрома  
Государственного комитета  
СССР по делам издательств,  
полиграфии и книжной торговли.  
г. Чехов Московской области.

23/1

1912

тел. 410-81

Дорогой

Николай Александрович!

Копейки и поскорее  
давайте Вашу работу на мисс-  
тетского сызда. Журнал  
только напишите ее для  
журнала не в свой рубри (если  
это возможно и если по кнжко  
против этого не пишете)

Развито стало и два намера  
маши. Было бы тогда хорошо,  
тоже кажда и частей была  
самокатерной, ~~что~~ и в то же время  
связанной с другой. -

Вам по кажде <sup>то</sup>  
каже-ть <sup>или статьи</sup> подходит для нашей  
журнала <sup>статьи</sup> в иллюстрациях  
журнала то дайте и в для  
перевода попомн Кривовой под  
Вашей редакцией. Будем оградить.

Криво отнимаем все  
прими. Если вы не

Ваша Шкафова

26

Николай Александрович!

Мы хотим в журнал

привести в наш журнал

в рубрику и журналы

Ваша работа

каждый в своем журнале

Цена 80 коп.  
Индекс 70707

