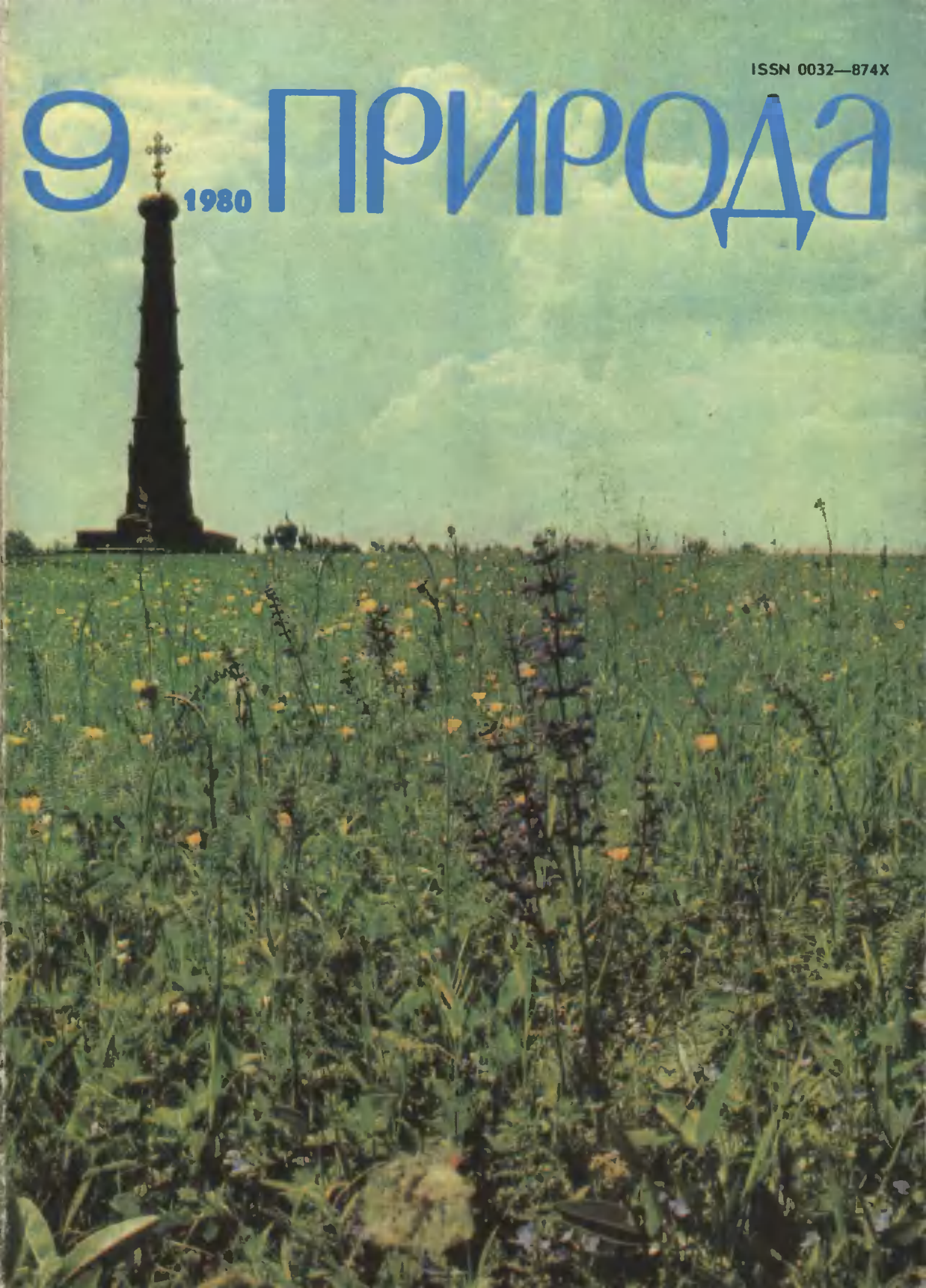


ISSN 0032—874X

# 9 ПРИРОДА

1980



# ПРИРОДА

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

Академик  
Ю. В. БРОМЛЕЙ

Доктор биологических наук  
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора  
член-корреспондент АН СССР  
В. М. ГАЛИЦКИЙ

Заместитель главного редактора  
В. А. ГОНЧАРОВ

Член-корреспондент АН СССР  
Б. Н. ДЕЛОНЕ

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

Академик  
К. К. МАРКОВ

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  
Н. В. ЦИЦИН

Академик  
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук  
А. В. ЯБЛОКОВ



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы. Подробно о программе см.: «Природа», 1979, № 1, с. 28.

На первой странице обложки, Белая цапля в Астраханском заповеднике. См. в номере: «У истоков ленинских природоохранных декретов». Фото Б. К. Машкова.

На третьей странице обложки. Рисунки Н. А. Северцова. Вверху — леопард (кавказский подвид); внизу — дарьинский тигр. См. в номере: Семенов-Тянь-Шанский А. П. «Воспоминания о Н. А. Северцове».

На четвертой странице обложки. Поперечные «ЯМР-сечения» брюшной полости лабораторной мыши, которой имплантировали раковые клетки. В красный цвет окрашены ткани с развитым злокачественным процессом. Вверху — 1-й день после имплантации, в центре — 18-й день, внизу — 30-й день после введения в организм раковых клеток. См. в номере: Федин Э. И. «ЯМР-интроскопия — новый метод изучения структуры биологических объектов».

© Издательство «Наука»,  
«Природа», 1980 г.

Сентябрь 1980 года

## В НОМЕРЕ

### «ЗА ЗЕМЛЮ РУССЬСКУЮ...»

К 600-летию Куликовской битвы и 500-летию «великого стояния на Угре»

3



Курнаев С. Ф. Куликово поле в прошлом и настоящем

4



Скворцов А. К. Река Угра — жемчужина среднерусской природы

14

Монин А. С., Ястребов В. С. Экспедиция в Красное море

25

### ВЕЛИКИЙ ЭНЦИКЛОПЕДИСТ ВОСТОКА

К 1000-летию со дня рождения Ибн Сины (Авиценны)

37

Турсунов А. «Лишь истина была ему пример...»

37

Нуралиев Ю. Н. Прославленный в веках врачеватель

46

Каганов М. И., Чудинов С. М. Метастабильный металл

53

Тимофеев-Ресовский Н. В. Генетика, эволюция и теоретическая биология

62

Радкевич Е. А. Тихоокеанский рудный пояс

66

Смондырев М. А. Квантовая электродинамика на малых расстояниях

74

Киселев Л. Л. Проект «Ревертаза» выполнен

78

Бурба Г. А. Тектоническая природа «каналов» Марса

88



Ковалев И. Е., Маленков А. Г. Поток чужеродных веществ: влияние на человечество

90

КРАСНАЯ  
КНИГА



Дробовцев В. И., Кошелев А. И. Белолицая савка

102

НОВОСТИ НАУКИ

105

Борис Николаевич Делоне

122

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ

Овчинников Н. Ф. Космология — узел методологических проблем

124

НОВЫЕ КНИГИ

126





## «ЗА ЗЕМЛЮ РУССЬСКУЮ...»

**К 600-летию Куликовской битвы  
и 500-летию «великого стояния  
на Угре»**

В этом году исполняется 600 лет со дня Куликовской битвы, положившей начало освобождению Руси от татаро-монгольского ига, и 500 лет со времени «великого стояния на Угре», завершившего это освобождение. Огромное значение этих событий в истории нашего народа и государства общеизвестно, и вполне понятен интерес ко всему, что с этими событиями было связано. Ниже мы публикуем статьи, посвященные природе Куликова поля и долины Угры. Редакция «Природы» поддерживает предложения авторов публикуемых статей об организации заповедных участков в этих исторических местах.

Остаток разнотравной ковыльной степи на окраине Куликова поля на высоком берегу реки Нижний Дубик (правый приток реки Непрядва).

Фото В. Н. Машатина.





## Куликово поле в прошлом и настоящем

С. Ф. Курнаев



Сергей Федорович Курнаев, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Лаборатории лесоведения АН СССР. Геоботаник, типолог. Автор монографий: Основные типы леса средней части Русской равнины. М., 1968; Лесорастительное районирование СССР. М., 1973; Теневые широколиственные леса Русской равнины и Урала. М., 1979. В «Природе» опубликовал статью «Тульские засеки, их природа, научное и хозяйственное значение» (1980, № 3).

Куликово поле, где 8 сентября 1380 г. разыгралась великая историческая битва между русскими и монголо-татарами, находится на юге Тульской области на стыке ее Куркинского, Богородицкого и Кимовского районов. Расположено оно на Среднерусской возвышенности в верховье р. Дона по его правобережью и занимает довольно ровное обширное пространство (протяженностью около 13 км) бассейна притоков Дона — рек Непрядвы, Смолки, Курца. Коренные берега этих рек пересечены многочисленными глубокими оврагами и балками. В южной части Куликова поля находится возвышение — Красный холм. Все поле одето мощным плащом лессовидных суглинков, лежащих частично на морене, частично непосредственно на коренных породах каменноугольной системы. В почвенном покрове господствует чернозем северного типа, так называемый выщелоченный чернозем. Однако по склонам долин упомянутых рек простираются значительные полосы серых лесных почв. Подобный характер почвенного покрова заставляет относить Куликово поле и его ближайшие окрестности к лесостепной зоне.

Какова же была природа Куликова поля в прошлом — в период битвы — и что с ней стало теперь?

Полею на древнерусском языке на-

зывалось достаточно обширное суходольное открытое пространство (не поляна), освобожденное от леса, или исконная открытая степь. Куликово поле, бесспорно, представляло собой степь, по крайней мере на его обширном пространстве, покрытом выщелоченным черноземом. Подтверждение этому мы находим прежде всего в древнерусских источниках. Так, в «Задонщине» (Слове о великом князе Дмитрее Ивановиче и о брате его князе Владимире Андреевиче, яко победили супостата своего царя Мамая) о врагах, погибших в этой битве, указано, что они «гораздо упились у быстрого Дону на поле Куликове на траве ковыле»<sup>1</sup>.

Преобладающим растением на Куликовом поле был ковыль. А ковыль — одно из самых типичных растений наших травяных восточноевропейских степей. Что это была естественная, самобытная, целинная, а не залежная степь, свидетельствуют другие летописные материалы и исторические документы<sup>2</sup>. Степная часть нашей Русской равнины долгое время оставалась малозаселенной. Во всяком случае, до сре-

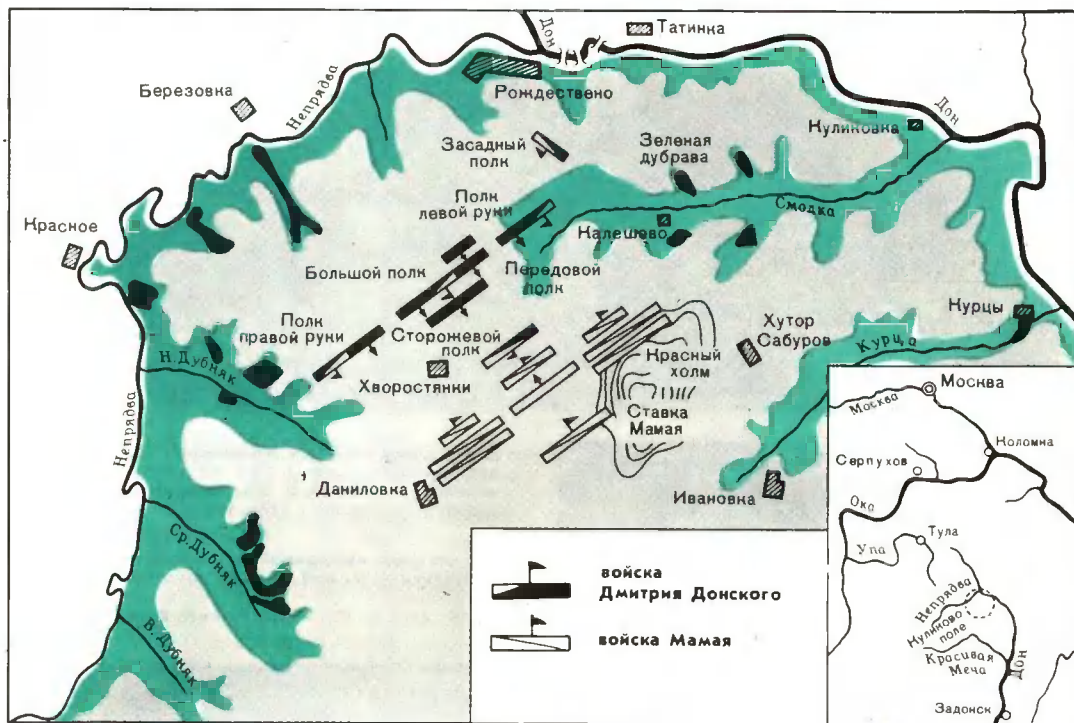
<sup>1</sup> Библиотека всемирной литературы, т. 15, М., 1969, с. 394.

<sup>2</sup> К и р и к о в С. В. Человек и природа восточноевропейской лесостепи в X — начале XIX вв. М., 1979.



дины XVI в. в ее пределах обитали лишь сравнительно немногочисленные кочевники скотоводы, которые, кочуя с места на место, не могли оставлять в природе глубоких нарушений. Склонные к оседлости, русские в тот период воздерживались поселяться в открытых степях, поскольку при попытках такого поселения постоянно подвергались набегам кочевников, сначала печенегов и половцев, а затем татаро-монгольских племен. Заметное заселение наших степей оседлыми земледельцами (в основном русскими) началось в пределах

ет и следующая историческая справка. В описании путешествия митрополита Пимена в Царьград (1389 г.) говорится, что когда он со своими спутниками плыл по верхнему течению Дона, то не встретил ни одного человека. «Нигде не было видно людей, только пустыня великая, и зверей множество: козы, гуси, лебеди, лоси, волки, лисицы, выдры, медведи, бобры, орлы, журавли и прочее. И была всюду пустыня великая»<sup>3</sup>. Открытыми непаханными степями на обширных пространствах были также более северные районы лесостепи и мно-



План Куликова поля:

- основные лесные массивы (дубравы) в XIV в.
- степь (ныне пашни)
- остатки дубрав в настоящее время

лесостепной части лишь с середины XVI в. с ослаблением татаро-монгольского ига, а в открытой (более южной) степи — с середины XVII в.

Во всяком случае, до конца XV в. лесостепь верхнего Подонья была диким пустынным краем. Об этом свидетельству-

го позднее. Так, в документах, относящихся к XVI в., говорится, что из Дедилова и Крапивны (Тульская область) было послано три станицы (группы по 6 человек), которым приказывалось выжечь траву в степи между всеми речками по обе стороны р. Упы вверх от Дедилова до ее верховья, а также в верховьях рек Меча и Зуша. По сведениям С. Г. Гмелина, еще осенью 1768 г. не были распаханы Дедиловский, Кузовский и Никитский участки степи. А в конце тех же 60-х годов XVIII в. от Зарайска (юг Московской области) начи-

<sup>3</sup> Путешествие из Москвы в Константинополь (хождение Пимена).—В кн.: Хрестоматия по истории СССР. М., 1960, с. 507.



Остаток Зеленой дубравы, в которой был укрыт русский засадный полк.

Фото В. Н. Машатина.

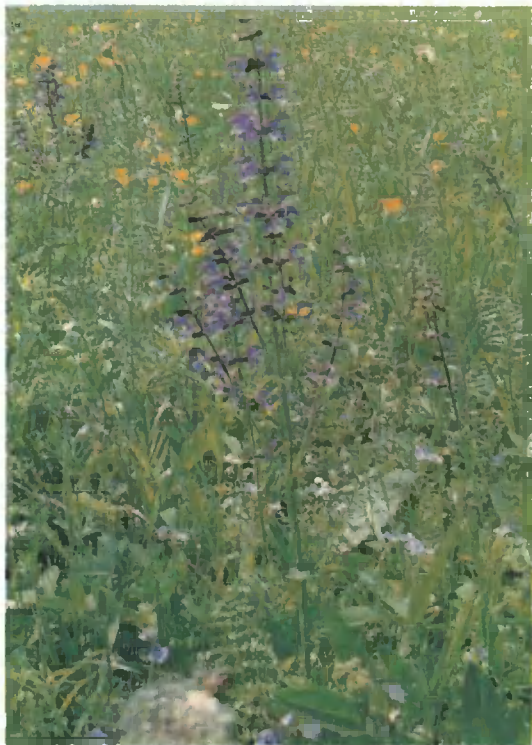


Виды степных кустарников Куликова поля: ранитник русский (слева) и дрок красильный (справа).

Фото С. А. Баландина.

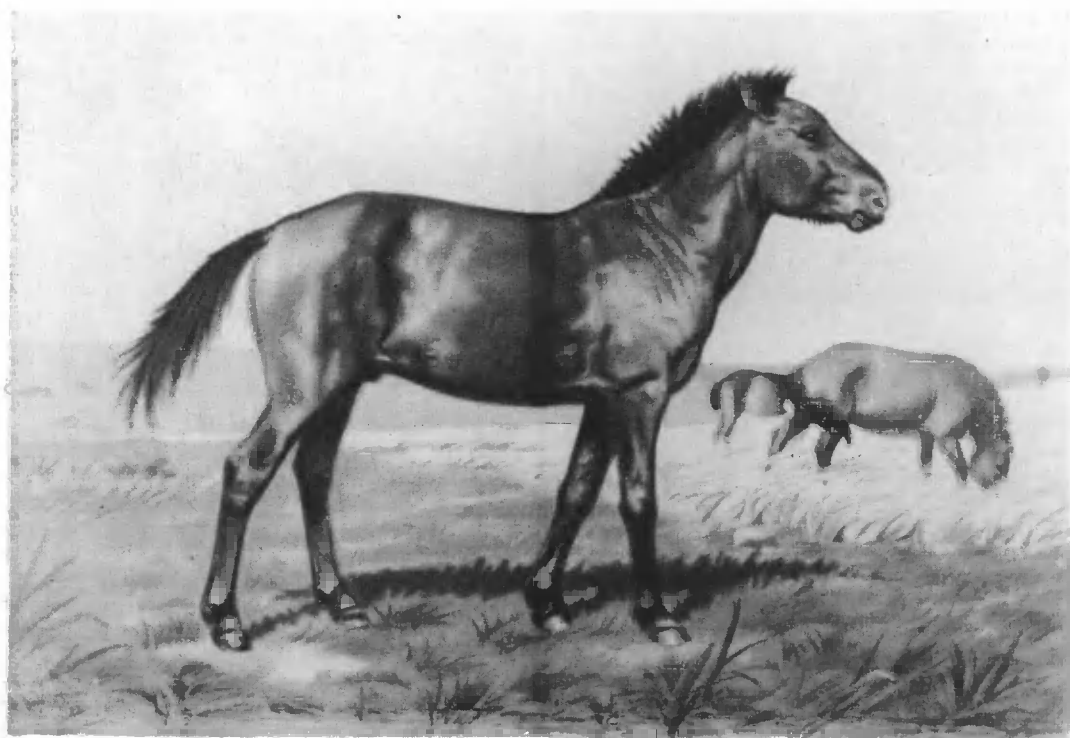






Типичные растения целинной степи: вверху: слева — незабудки, справа — шалфей (фото В. Н. Машатина); внизу: слева — ветреница лесная (фото В. Н. Машатина), справа — эспарцет (фото С. А. Баландина).





Тарпан — европейская дикая лошадь — в прошлом обычное животное среднерусских степей. Последние представители вида истреблены в конце XVIII — начале XIX в.

налась необозримая степь, тянувшаяся к Воронежу<sup>4</sup>.

Но что же это была за степь на самом Куликовом поле? Ее характер можно установить с помощью разработанного в ботанической географии метода перенесения на исследуемую местность данных из других, заведомо однородных по климатическим и почвенно-грунтовым условиям районов. В настоящее время в близких к Куликову полю условиях особенно хорошо сохранились участки целинных степей под Курском в Центрально-Черноземном заповеднике имени В. В. Алехина. Лучшими из них являются Стрелецкая и Каменная степи. Эти степи, несмотря на то что находятся значительно южнее (около 200 км) Куликова поля, очень сходны по своим климатическим условиям. В силу барьерного эффекта (перехвата осадков, поступающих с Атлантики) западной окраины Среднерус-

ской возвышенности, растительные зоны в ее западной части спускаются к югу далее, чем в восточной ее части. Стрелецкая и Каменная степи находятся даже ближе к лесной зоне — в 20 км от нее, тогда как Куликово поле в 130 км. Поэтому можно считать, что степь Куликова поля по характеру своей растительности была несколько более южного типа, т. е. более ковыльная. Однако, судя по однородности почвенного покрова — развития там и тут выщелоченного чернозема, — можно считать, что природа Стрелецкой и Каменной степей очень близка к Куликову полю, и, следовательно, по растительности Стрелецкой и Каменной степей можно представить себе и целинную степь Куликова поля.

Это была не чисто ковыльная степь, как можно было бы подумать из приведенной нами выдержки из «Слова о великом князе Дмитрии Ивановиче...», а разнотравно-ковыльная степь. Господствовал в покрове ковыль перистый (*Stipa ioannis*), крупные перистые ости которого в начале лета как бы покрывали степь серебристым ковром. В конце мая — июне очень красочный вид степи придавали цветущие разнообразные травы. Особенно выделялись своим обилием и эффектностью луговой шалфей (*Salvia pratensis*) с крупны-

<sup>4</sup> Гмелин С. Г. Путешествие по России для исследования трех царств естества, ч. I. Пер. с немец. СПб., 1771.

ми темно-синими цветами, таволжанка (*Filipendula vulgaris*) с довольно крупными пучками кремовых цветов, горный клевер (*Trifolium montanum*) с мелкими белыми головками, издающими сильный медовый аромат, русская валериана (*Valeriana rossica*) с белыми зонтиками своих соцветий. В меньшем количестве, но также заметны среди других эспарцет (*Onobrychis asenaria*) с крупными розовыми соцветиями, зопник клубненосный (*Phlomis tuberosa*) с бледно-фиолетовыми цветами, живокость клинолистная (*Delphinium cuneatum*) с крупными темно-голубыми соцветиями, синяк красный (*Echium rubrum*) с крупными красными колосовидными соцветиями, желтый подмаренник (*Galium verum*) с рыхлыми золотистыми метелками. К концу лета появлялись крупные черно-красные колосья соцветий черной чемерицы (*Veratrum pigrum*). В нижнем травянистом ярусе скрывалось большое количество мелких кустиков чабреца — богородской травы (*Thymus marschallianus*), обычно издающего очень сильный и приятный аромат, похожий на запах душицы. Этот запах чабреца в букете ароматов наших русских степей — один из главных компонентов. И можно сказать, что наши степи пахнут именно чабрецом.

По долинам притоков Дона — Непрядвы, Смолки и Курца (в пределах распространения серых лесных почв и частично смежной с ними окраины черноземов) располагались довольно крупные лесные массивы, слагавшиеся в основном дубом. Однако состав и структура их древостоев, в связи с сильной пересеченностью склонов речных долин оврагами и балками, была не однородна. На большой площади, но, в общем, в пределах серых лесных почв, по склонам речных долин, особенно в средней части массивов, лес был густой и сложный по составу. К дубу здесь в значительной мере примешивались ясень, ильм и клен, в подлеске было много лещины. По мере поднятия по склонам долин и выхода по водоразделам дуб постепенно освобождался от этих спутников и близ степной опушки росли разреженные чистые дубовые леса со слабо развитым подлеском. По лесным опушкам рядом с разнотравно-ковыльными степями, занимавшими все пространство Куликова поля, местами были распространены заросли степных кустарников: степной вишни, бобовника (кустарникового миндаля), раkitника, дрока, жостера, с отдельными деревьями яблони.

Такого характера была и та Зеленая



Многочисленны на Куликовом поле были суслики (вверху) и сурки (внизу).

Фото И. А. Мухина







Место впадения реки Непрядвы в Дон — здесь переправлялись войска Дмитрия Донского (вверху слева). Закат над запруженным ныне верховьем реки Смолки, где во времена Куликовской битвы была Зеленая дубрава (вверху справа).

Фото В. Н. Машатина.

Птицы, в прошлом обычные и многочисленные, а в настоящее время в окрестностях Куликова поля не встречающиеся: внизу слева — лебедь (фото И. А. Мухина), справа — стрепет (фото В. А. Гражданкина) и дрофа (фото В. П. Дациевича).



дубрава, располагавшаяся по долине р. Смолки, в которой князь Дмитрий Донской укрыл свой засадный полк. Густой лес в средней части дубравы и разреженный близ ее опушки были очень удобны для такой операции. С одной стороны, он очень хорошо укрывал воинов от неприятеля, а с другой — предоставлял возможность свободно передвигаться по своей разреженной окраине. Именно такая структура дубравы и позволила произвести незаметный для неприятеля и вместе с тем стремительный бросок на его полчища. И князь не зря выбрал место подхода своего войска к расположенной рати Мамай: не прямо с севера по ровному открытому степному водоразделу, а с левой стороны р. Дона под прикрытием этой дубравы, позволившей ему незаметно приблизиться и тайно укрыть свой засадный полк.

8 сентября, когда полки князя Дмитрия Донского перешли Дон и вступили в пределы Куликова поля, лес был одет еще густой зеленой листвой, был, следовательно, непроницаем для глаза врага и в полной мере выполнял свою защитную роль. «...И вниде под новосъсечено древа, многоветвено и лиственое, и ту скрыв себя...»<sup>5</sup> Степь в это время поблекла, цветущих растений в ней не было, но кусты чабреца были еще свежи и издавали свой сильный аромат. Это был родной запах русского поля, русской земли, биться за которую шли русские воины.

Очень богато было и животное население Куликова поля. Помимо многочисленных сусликов, постоянно издававших свой пронзительный свист, было много более крупных зверьков — сурков, там и тут маячивших небольшими столбиками по своим сурчинам, возвышавшимся над степным покровом. В бесснежный период года здесь паслись табуны тарпанов — диких лошадей (ныне вымерших). Кочевали стада зубров. Было много косуль, и, по всей вероятности, заходили и сайгаки. На зимний период эти копытные животные откочевывали в малоснежные районы нашей страны: в южные степи или в западные полесья. В лесах водилось много куниц. Всюду встречались лисицы, волки и зайцы. Из птиц, характерных для наших русских степей, гнездились много дроф, важно разгуливавших в летнее время по

степи со своими выводками, еще больше было стрепетов, то и дело проносившихся над степью.

По речкам водилось много бобров и выдр, а из птиц — лебедей, не говоря уже о множестве гусей и уток.

Когда войска Дмитрия Донского вступили в пределы Куликова поля, жизнь его, конечно, стихла: звери попрятались или разбежались, но вороны и орлы, почуяв предстоящую добычу, стаями поднялись в небо и долго кружили над собравшимися войсками. «...Тогда гуси возготаша и лебеди крылы всплескаша... вороны часто грают, а галицы свои речи говорить, орлы хлещут, а волцы грозно воют, а лисицы на кости брешут...»<sup>6</sup>. А в Никоновской летописи по этому поводу отмечается, что над русскими войсками, переправлявшимися через дон к полю Куликову, целыми стаями летали вороны и орлы, «грающе и клегчеще».

•

В настоящее время естественная растительность Куликова поля сильно нарушена человеком. Черноземы с их степную растительностью сплошь распаханы и заняты теперь сельскохозяйственными культурами. А на серых лесных почвах, которые ранее были покрыты лесом, остались отдельные мелкие лесные острова, представленные в основном дубом, реже березой и осинкой; остальная их площадь также распахана или обезлесена и занята вторичными ценозами с преобладанием типчака.

Но остатки коренной растительности еще сохранились по окраинам полей, главным образом по склонам оврагов и балок. Здесь можно встретить многие виды, некогда составлявшие покров целинной степи. Чаще всего встречаются шалфей, таволжанка, горный клевер, русская валериана, зопник клубненосный, желтый подмаренник, горчица весенний и др. Попадает и основной представитель бывшей целины Куликова поля — ковыль перистый. Местами встречаются степные кустарники: терн, вишня, бобовник, ракитник и др. Узкая полоска степной целины еще недавно сохранялась у подножья обелиска — памятника Дмитрию Донскому, воздвигнутого на Красном холме в 1850 г.

Здесь растут шалфей, таволжанка,

<sup>5</sup> Патриаршая, или Никоновская, летопись. — В кн.: Сборник документов по истории СССР, ч. II. М., 1971, с. 219.

<sup>6</sup> Библиотека всемирной литературы, т. 15. М., 1969, с. 386.



горный клевер и многие другие характерные для коренной степи растения. На месте некогда обширных дубрав, занимавших склоны долин рек Непрядвы, Смолки и Курца, теперь встречаются лишь мелкие разрозненные лесные клочки, составленные дубом, реже березой или осинкой.

Очень хорошо сохранились остатки целинной степи (размером до 2—3 га) в нескольких местах по высокому берегу реки Нижний Дубяк на довольно ровных участках с достаточно мощным черноземом. Здесь серебристый фон образует ковыль перистый, очень много таволжанки, горного клевера, шалфея лугового, василистника малого, подмаренника желтого, а также типчака (*Festuca vallesiacae*), незабудки (*Myosotis suaveolens*) и др. В меньшем количестве, но присутствуют и многие другие характерные представители наших северных среднерусских степей, например, овес кустистый и Шелля, костер прямой, эспарцет степной, сочевичник белый, ветреница лесная, скорцонера пурпуровая, зопник клубненосный, песчанка злаколистная, сон-трава, горичвет весенний, мытник хохлатый, синяк красный, живокость клинолистная и многие другие. Всего более 100 видов, в основном общих с составом флоры Стрелецкой степи.

Естественный ландшафт Куликова поля нарушен. Но хорошо бы восстановить Зеленую дубраву, сыгравшую такую важную роль в этой битве, а также в более крупном размере кусочек той целинной степи с ковылем, на которой происходил этот исторический бой, увеличив территорию вокруг обелиска, воздвигнутого в честь этого величайшего события в жизни нашей Родины.

К сожалению, в настоящее время при подготовке к 600-летию Куликовской битвы и этот остаток целины у подножья обелиска почти полностью уничтожен: засыпан мощным слоем чернозема и засеян луговыми травами. Таким образом, на месте красного русского поля, очень хорошо приспособленного к сухому степному климату, создан зеленый газон «английского типа» из луговых злаков. К тому же этот газон обложен бетонными плитами. В результате нарушена мемориальная сущность памятника.

Памятник должен стать на фоне дикого степного поля, т. е. того поля, на котором проходило сражение. Этот участок дикого поля должен быть обрамлен характерными для самобытного ландшафта Куликова поля деревьями и кустарниками,



Мемориал на Куликовом поле, сооруженный в 1850 г. по проекту А. П. Брюллова. До последнего времени вокруг обелиска еще сохранялся участок целинной степи. В этом году при подготовке к 600-летию последний остаток степи распашан, на нем уложены бетонные плиты и посеяна обычная газонная трава.

Фото В. Н. Машатина.

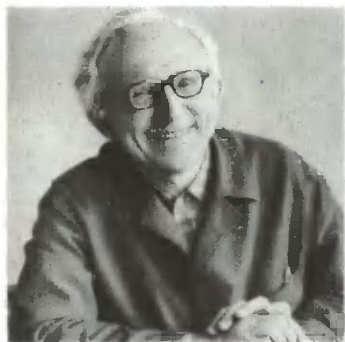
которые, кстати, отличаются высокой декоративностью. Здесь должны расти все наши степные аборигены: терн, степная вишня и яблоня ранняя со снежно-белыми цветами, бобовник с темно-розовыми цветами, дрок и раkitник русский с золотистыми соцветиями. Среди них должны быть высажены и отдельные группы дуба, символизирующие ту Зеленую дубраву, сыгравшую такую важную роль в этой исторической битве.

Необходимо также нашим организациям, занимающимся вопросами охраны исторических памятников и охраны природы, объединиться и решить вопрос о создании историко-природного заповедника «Куликово поле». Это поле, несомненно, заслуживает такого бережного отношения к себе и как типичный представитель русской степи, и как, прежде всего, замечательный свидетель героизма наших предков.



## Река Угра — жемчужина среднерусской природы

А. К. Скворцов



Алексей Константинович Скворцов, доктор биологических наук, заведующий отделом флоры СССР Главного ботанического сада АН СССР. Ботаник, систематик. Автор работ по теоретическим проблемам систематики растений, по флоре Европейской части СССР. Заместитель главного редактора журнала «Природа».

Река Угра не пользуется шумной славой, о ней мало пишут в книгах, журналах и газетах. Сейчас она больше всего известна, пожалуй, любителям водного туризма или тихого отдыха на лоне природы. Несмотря на значительную протяженность реки, о растительном мире и ее долины, и всего ее бассейна в литературе сведений почти нет.

Мое детство прошло на Угре. Здесь же еще в предвоенные годы я начал собирать растения, почувствовал себя ботаником. Но и мне эти края, хотя и были близки и приятны, тогда казались ничем не примечательными. Затем война и новые научные интересы на десятилетия оторвали меня от Угры. Привлекала экзотика: сперва ближняя — среднерусская лесостепь, а затем и все более далекая. Я побывал в лесах Приморья и в пустынях Средней Азии, в горах Скандинавии и в степях Даурии, в Арктике и в тропиках, на Кавказе и на Алтае, в Гималаях и в Аппалачах. И уже представляя себе все эти страны, я наконец смог по-настоящему, и профессионально, и эмоционально, оценить Угру. В течение последних лет я старался выкраивать время для ботанического обследования долины Угры. Удалось обойти, с небольшими перерывами, почти всю долину, начиная от поселка Угра — и до устья.

Результаты этой работы будут изложены в специальном журнале. Но самыми общими фактами и выводами я хочу поделиться с читателями «Природы». Мне кажется, что это особенно уместно сделать теперь, когда мы отмечаем 600-ю годовщину Куликовской битвы. Освобождение Руси от татаро-монгольского ига, начатое этой битвой, завершилось лишь после «великого стояния на Угре». Поэтому надо начать с истории.



Весной 1480 г. золотоордынский хан Ахмат во главе большого войска двинулся на Москву. Сначала он хотел пройти вдоль Дона, вверх по его течению, по направлению к Коломне. Однако, узнав, что великий князь московский Иван Васильевич (Иван III) выставил на северном

Угра выше устья реки Воры, близ границы Калужской и Смоленской областей.

Здесь и далее фото автора.

Памятник погибшим в Великой Отечественной войне известным героям у места впадения в Угру реки Воры. Могильный холм обрамлен солдатскими касками, подобранными здесь же по близости.

Остатки проволочных заграждений 1941—1943 гг. на лугу у реки Угры против деревни Беляево (фото 1979 г.).





берегу Оки выше Коломны сильное войско, Ахмат повернул на северо-запад и через Мценск, Одоев и Ворытск вышел к нижнему течению Угры. Но русские узнали и об этом маневре Ахмата и успели прежде него выйти к Угре и занять броды и перевозки. Попытки Ахмата с ходу форсировать реку были отбиты, и с июля месяца войска обеих сторон закрепились на берегах реки: русские — на левом, татары — на правом. Ставка командующего русским войском, князя Андрея Васильевича (брата Ивана III), находилась близ Угры верстах в 25 от Калуги; здесь для нее были срублены деревянные хоромы, «дворцы». Название «Дворцы» поныне сохранила деревня, находящаяся на этом месте. Главный лагерь татар раскинулся выше по Угре; воспоминание о нем сохранилось в названии села Палатки.

Войска стояли друг против друга до поздней осени. Ахмат ожидал помощи, обещанной ему польско-литовским королем Казимиром (владения Казимира были рядом: значительная часть бассейна Угры принадлежала тогда Литве). Но подкреплений Ахмат не дождался, а без них атаковать русских не решился. Услышав же о разгоревшейся в его отсутствие междоусобной борьбе в Орде, Ахмат решил совсем отказаться от похода на Москву и в ноябре повернул назад. По дороге домой в январе 1481 г. он был убит своими ордынскими соперниками. Власть Золотой Орды над Московским государством рухнула окончательно<sup>1</sup>.

Берега Угры и территория ее бассейна и в дальнейшем не раз были ареной освободительной борьбы нашего народа. У села Товарково в 1617 г. Дмитрий Пожарский разбил войско польских интервентов. В 1812 г. в левобережной части бассейна Угры, в бывших Юхновском и Ельнинском уездах, действовали партизанские отряды Дениса Давыдова; после сражений под Тарутиным и Малоярославцем, заставив французов отступать по старой разоренной дороге, преследовал на Ельню со своей ставкой Кутузов.

Но самые долгие и упорные бои шли на Угре в Великую Отечественную войну, с лета 1941 до весны 1943 г.: От верховьев Угры на Ельню было нацелено одно из первых крупных контрнаступлений нашей армии. У деревни Богатырь дала свой по-

следний залп знаменитая батарея «катюш» капитана Флерова. Много было и других боевых эпизодов. О них свидетельствуют теперь братские могилы и памятники. Фундаментальные мемориалы сооружены в Юхнове на Зайцевой Горе (на южной окраине бассейна Угры), прекрасный памятник погибшим в 1942 г. десанникам-парашютистам стоит около районного центра Угра и очень много скромных, самодельных — но от этого не менее волнующих — небольших памятников на могилах безвестных воинов, чьи пробитые осколками каски еще и сейчас можно подобрать в ближних овражках и запыленных окопах. Один из таких небольших памятников, сваренный из листов нержавеющей стали и окруженный подобранными касками, я сфотографировал на живописнейшем мысу у впадения в Угру речки Вори. И еще многие временные деревянные и обветшавшие памятники ожидают замены на долговечные. Там, где особенно долго находилась линия фронта, между устьями Вори и Рессы, еще и сейчас по склонам долины и у берегов сохранились остатки сплошных проволочных заграждений; ржавые колючие клубки и спирали еще порой можно встретить среди цветущего луга. Я думаю, не нужно их убирать: это ведь тоже память!

Теперь от истории обратимся к самой Угре. Ее общая длина — почти 400 км, из них 257 (до впадения Вори) Угра протекает по Смоленской области, а остальное течение ее приходится на Калужскую. Начинаясь с Ельнинской возвышенности, Угра вплоть до села Выходы остается совсем небольшой речкой, но затем, приняв сразу несколько притоков, близ районного центра, носящего то же имя Угра, приобретает тот облик, который сохраняет дальше уже без резких изменений вплоть до впадения Шани. Река течет среди слабо всхолмленной равнины, сложенной четвертичными отложениями, преимущественно песчаными и супесчаными. Только изредка на склонах долины выходят на поверхность каменноугольные известняки: у села Городище (немного ниже поселка Угры), у деревни Гремяча (на полпути от поселка Угры к Знаменке), у деревни Дрожжино (в нескольких километрах ниже устья Волосты); от Николю-Ленивца до Товаркова известняки встречаются чаще. Особенно велика толща известняков у Товаркова, где уже давно ведется их разработка; к счастью, карьеры находятся в стороне от Угры и почти не нарушают живописности ее долины. Почти

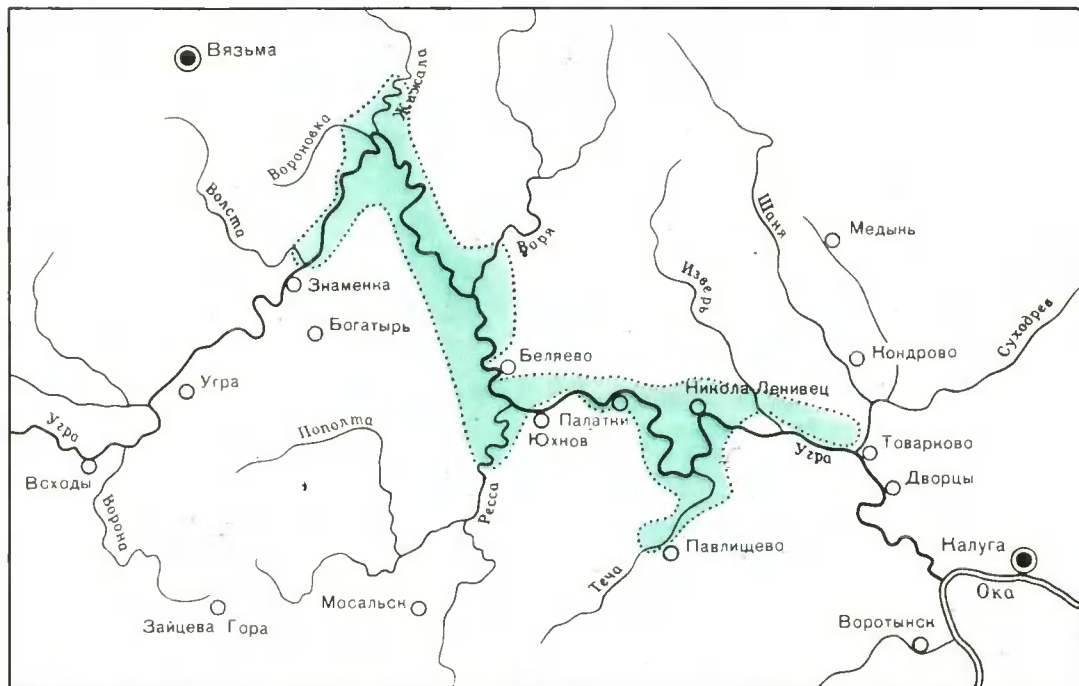
<sup>1</sup>Изложение событий, связанных с «великим стоянием», дано главным образом по кн.: Соловьев С. М. История России, кн. 3. М., 1960, с. 77—82.

езде из толщ известняков выходят ключи, иногда настолько мощные, что до войны на них существовали водяные мельницы (как, например, в деревне Гремяча или на правом же берегу Угры в нескольких километрах ниже устья Волосты, где была деревня Коростели).

На большей части своего протяжения — вплоть до впадения Шани — долина Угры неширока. Обычно один из склонов долины высокий и подступает к самой реке, а другой — пологий. Настоящая пойменная плоская терраса развита лишь местами,

вниз от поселка Угра, то не менее чем на 4/5 всего протяжения берегов путешественник будет видеть — то вплотную у русла, то в небольшом отдалении — разнообразный лес. Богат лесом и весь бассейн Угры, особенно та часть его, которая лежит внутри большой излучины реки и далее к югу в сторону речки Пополты.

Прежде эти леса почти без перерыва смыкались с Брянско-Жиздринским полесем. Это и были те самые «леса брянские», через которые когда-то Илья Муромец ехал к Киеву (название «Брынь»



Река Угра (кроме самого верхнего течения) и ее основные притоки. Пунктиром показаны приблизительные границы наиболее сохранивших свой естественный облик и наиболее живописных ландшафтов, одновременно обладающих и наибольшим богатством и разнообразием растительного покрова.

главным образом в излучинах реки или близ устьев притоков; ширина ее обычно не превышает нескольких десятков или 2—3 сотен метров. Чаше всего она используется под пастбища; иногда здесь хорошие сенокосы, а иногда пойма и распаханна. В первобытном же состоянии, несомненно, вся долина была сплошь покрыта лесом.

Склоны долины, особенно более высокие, и сейчас одеты лесом. Если плыть

дольше сохранила небольшая речка, левый приток Жиздры). Бассейн Пополты оставался глухим лесным районом совсем до недавнего времени: еще на рубеже нашего века здесь охотились на медведей.

В бассейне Угры издавна водились и бобры. Недалеко от поселка Угра протекает речка Дебря; местные же старики называли ее Бебря, что значило «бобровая». В свое время бобров истребили, но теперь они снова здесь поселились, и в окрестностях поселка Угра нетрудно найти следы их деятельности. И в целом животный мир бассейна Угры достаточно богат; недаром здесь существует несколько хороших охотничьих хозяйств.

Благодаря преобладанию песчаных и супесчаных четвертичных отложений



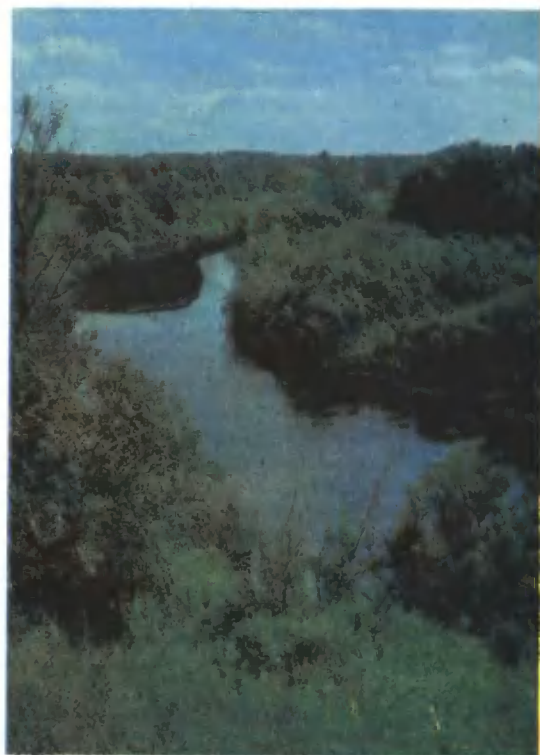
Угра в северной излучине (близ впадения реки Вороновки). Лес подступает почти к самому берегу.

Речка Воря — один из наиболее живописных притоков Угры, недалеко от впадения в Угру.

Сосняк с веинником (*Calamagrostis arundinacea*), близ Юхнова.

Живокость (*Delphinium elatum*) в устье речки Жижалы.

Гвоздика Фишера (*Dianthus fischeri*) — характерное растение более сухих лугов почти по всему течению Угры.



и большой лесистости, сдерживающей эрозию почв, берега Угры почти везде плотные, песчаные, сухие и чистые, не заиленные и не заболоченные. Почти на всем протяжении и дно реки чистое, песчаное и твердое. Нередки песчаные отмели и пляжи. Там, где река прокладывала себе путь через моренные отложения, богатые валунами или щебенкой, образовались перекапы с быстрым течением («бырь», по местной терминологии); в остальном течение реки спокойное и ровное.

Мелководные участки реки зарастают камышом (*Scirpus lacustris*); эти заросли, порой занимающие больше половины ширины реки, дают приют молоди рыб, утиным выводкам. Здесь обычно можно найти и белые водяные лилии и желтые кувшинки, которые на открытой воде часто уничтожаются.

На Угре нет таких необозримых просторов, как на Оке или Волге. Но зато Угра создает несравненное впечатление тихого уюта, доброжелательной приветливости и бесконечно меняющейся спокойной живописности пейзажа. Вода реки чиста: и на глубине двух метров можно разглядеть каждый камешек и каждую рыбешку, а старые друзья реки, вроде меня, еще и сейчас пьют из нее сырую воду.





Притоки Угры, по крайней мере в их нижнем течении, в большинстве своем столь же чисты и живописны. Особенно хороши Вороновка, Воря и Ресса. Вороновка течет по узкой долине, над которой по высокому склону берега почти стеной поднимается ельник — прямо-таки нестеровский пейзаж. Воря — почти сплошь в зарослях камышей, желтых кувшинок и белых лилий. Ресса — словно маленькая Угра, с чистейшим песчаным дном, довольно широкая, но неглубокая. Должна быть живописна и Жижала — но вверх по ней мне не довелось подняться.

Совсем иное впечатление производит Шаня. Собирая свои воды из района суглинистых почв и сравнительно интенсивного хозяйства, она уже в среднем течении мутна и грязновата, а затем в нее еще попадают стоки Кондровского бумажного комбината. Впадение Шани наносит Угре такой удар, от которого она не может вполне оправиться до самого своего устья. Несмотря на то, что в последние годы приняты некоторые меры к очистке стоков Кондровского комбината, положение еще нельзя назвать вполне исправленным. Жители Товаркова, чтобы искупаться, все еще идут на Угру только выше впадения Шани.

Ниже устья Шани сразу резко меняется и характер долины Угры. Пойменная луговая терраса разворачивается в ширину на километр и более, на ней появляются большие старицы, которых выше по течению не было; на левом берегу четко обозначается занятая сосняками надлуговая (боровая) терраса. Такая резкая перемена объясняется тем, что отрезок долины Угры ниже Товаркова — это кусок древней долины Оки, или пра-Оки. Когда-то Ока не сворачивала у Калуги на восток, как теперь, а текла дальше к северу до места теперешнего Товаркова, затем направлялась на северо-восток (где ныне течет Суходрев), выходила в долину нынешней Протвы и только затем близ Серпухова вновь попадала на то русло, по которому течет и теперь. Поэтому теперешняя долина Оки от Калуги до устья Протвы очень узка и почти не имеет боровой террасы, а долины Суходрева, нижней Протвы и низовья Угры — наоборот, несоразмерно широки и обладают широкими боровыми террасами.

•

Весь бассейн реки Угры расположен в зоне смешанных лесов. Это значит, что в условиях, принимаемых за некоторый типичный стандарт, а именно: на водораз-

делах с глинистыми или суглинистыми почвами до начала вмешательства человека существовал смешанный лес, состоявший как из хвойных пород (преимущественно ели), так и из широколиственных (дуб, липа, клен, ясень); в зависимости от условий господствовала то одна, то другая порода, но ни ель, ни широколиственные породы не могли совершенно отсутствовать. Если полностью исключить влияние человека, то и на ныне окультуренных землях начнется естественное восстановление первоначального растительного покрова. На других почвах (песчаных, каменных, торфянистых) естественная эволюция растительности идет в сторону опять-таки того же коренного типа, но гораздо медленнее и легче нарушается различными привходящими обстоятельствами. Так, старые сосняки на песчаных почвах постепенно заполняются подростом из ели, дуба, подлеском из лиственных кустарников, подавляющими возобновление самой сосны. В конце концов такой сосняк должен был бы перейти в смешанный елово-широколиственный лес. Но он вырубается, и этим весь процесс отбрасывается назад: на открытой вырубке на песчаных почвах сосна снова получает преимущество. К сходным результатам приводят и частые в сосняках пожары.

В итоге коренные елово-широколиственные леса на Угре — как, впрочем, и во всей зоне смешанных лесов — занимают лишь небольшую долю от всей площади, занятой лесом. Но сосновыми лесами Угра очень богата, причем не столь уж редко встречаются и участки с деревьями в возрасте 100 лет или даже более. Как и везде в нечерноземной полосе, в лесах много березы, серой ольхи и осины, которые быстрее всего заселяют вырубки и заброшенные пашни, но затем уступают место хвойным или широколиственным породам. По сырым низким местам встречаются заросли черной ольхи, черемухи, ивняков.

Луга в долине Угры (если они не деградировали от чрезмерного выпаса) очень красивы и довольно богаты в ботаническом отношении. Наряду со злаковой основой, видовой состав которой варьирует сравнительно мало (это костер безостый, ежа, тимopheева, луговая овсяница, на более влажных участках — лисохвост), широко представлено разнотравье. Для влажных мест характерны валериана, длиннолистная вероника, светлый василистник, речной гравилат (*Valeriana officinalis*, *Veronica longifolia*, *Thalictrum lucidum*, *Geum rivale*); особенно нужно отметить луговые

орхидные — виды рода дактилориза, из которых на Угре встречаются три: *Dactylorhiza incarnata*, *D. fuchsii*, *D. baltica*. Последний вид — западное растение, находящееся на Угре уже недалеко от пределов своего распространения к востоку. На сухих лугах наиболее обычны порезник, желтый подмаренник, шероховатый василек, цикорий (*Libanotis intermedia*, *Galium verum*, *Centaurea scabiosa*, *Cichorium intybus*), обращает на себя внимание яркая гвоздика Фишера. Часто примешиваются еще и многие другие, в большинстве своем ярко цветущие виды, и луг выглядит как настоящий цветной ковер — да еще и с неповторимым букетом ароматов.

Особая группа растений населяет полосу приречных ивняков. Это ежевика и ряд крупных трав, цветущих главным образом во второй половине лета: желтый василистник (*Thalictrum flavum*) с кремовым соцветием в виде нежного пушистого комка, вьющаяся по кустам калистегия (*Calystegia serium*) с крупными белыми воронковидными цветами, мыльнянка (*Saponaria officinalis*) с душистыми цветками нежной гаммы оттенков от белого до розового, наконец, расцветающий уже в самом конце лета желтый приречный крестовник (*Senecio fluviatilis*).

Очень характерны для долины Угры два высоких изящных растения из семейства лютиковых: желтый борец (*Aconitum lasiostomum*), который встречается чаще всего на выходящих к реке лиственных опушках, и высокая живокость (*Delphinium elatum*) с большими кистями оригинальных густо-синих или почти фиолетовых цветков.



Таков растительный покров всего протяжения Угры; вместе с тем отдельные отрезки ее течения имеют свои особенности. Например, виды среднеевропейского ареала (а в нашей средней полосе их можно назвать западными) — цветущие рано весной белая анемона (*Anemone nemorosa*) и голубая печеночница (*Hepatica nobilis*) — довольно обычные в верхнем течении Угры, но отсутствуют в нижнем. Печеночница на обоих берегах Угры сразу пропадает несколько выше Юхнова, а распространение белой анемона становится прерывистым, и в последний раз она встретилась мне близ села Палатки. Наоборот, желтая анемона (*Anemone ranunculoides*), весьма обычная близ Юхнова и ниже, редка в верхнем течении Угры, что, впрочем, говорит не о границах ее ареала, а скорее всего об определенной требовательности

к почвенным условиям. Западный вид чабреца (*Thymus pulegioides*), довольно характерный для сухих лужаек на большей части долины Угры, не замечен вовсе ниже впадения реки Течи.

Как и западные, некоторые северные виды также не доходят до нижнего течения Угры. Так, не встречен ниже устья Течи папоротник *Thelypteris phegopteris*; только в старых лесных участках между устьями Рессы и Вори есть в сосняках толокнянка (*Archostaphylos uva-ursi*), а в ельниках трехцветковый подмаренник (*Galium triflorum*).

Больше видов, заходящих на Угру от ее устья, с юго-востока, и затем вверх по долине постепенно исчезающих. Преимущественно это растения, основной ареал которых лежит в лесостепной полосе. Их концентрация на нижнем течении реки связана как с наличием определенного, хотя и очень постепенного, изменения климата, так, конечно, еще и с тем, что по мере расширения долины создается больше возможностей для возникновения, особенно на обращенных к югу склонах, очажков теплого микроклимата.

Таких видов около 40. Из них 8 заходят только в самую нижнюю часть долины (ниже Товаркова) — в их числе и красная верба (*Salix acutifolia*); приблизительно 15 достигают примерно устья Течи, еще около 12 доходят до Юхнова или устья Рессы; устья Вори достигают всего 5—6 видов.

Среди южных лесостепных видов на Угре, пожалуй, наиболее замечателен венчик ветвистый (*Anthericum ramosum*), в изобилии растущий на выходах известняков близ Николы-Ленивца. Это изящное растение из семейства лилейных до сих пор было известно лишь в 120—150 км к югу. Замечательно также произрастание на Угре между устьями Течи и Шани густосиней метельчатой вероники (*Veronica paniculata*), в нескольких местах между Юхновом и устьем Шани — волосистого девясила (*Inula hirta*), у Николы-Ленивца — прямого чистеца (*Stachys recta*), в устье Вори — крупноцветной черноголовки (*Prunella grandiflora*). Все это лесостепные виды, редкие даже на Оке.

Проникают с востока и имеют западную границу распространения на Угре не только тепло- и суходолюбивые виды, но и некоторые восточные влаголюбивые виды: например, дягиль (*Angelica archangelica*) встречается до Юхнова, скерда сибирская (*Crepis sibirica*) — до устья Течи, кипрей жилковатый (*Epilobium nervosum*) —



**Желтый аконит (*Aconitum lasiostomum*)** довольно обычен по всему течению Угры.

**Венечник (*Anthericum ramosum*)** у деревни Никола-Ленивец.



**Метельчатая вероника (*Veronica paniculata*)** — представитель южной, лесостепной флоры.

**Дактилориза балтийская (*Dactylorhiza baltica*).**





в верхнем течении по выходам известняков до деревни Гремячи.

На Угре есть много местонахождений и других интересных и редких видов, но на них останавливаться уже нет возможности.

•

Ценность природного комплекса долины Угры и соседних территорий особенно велика потому, что он пока что очень хорошо сохранился, в отличие от многих других рек Нечерноземного центра (и тем более рек Черноземья). По природным характеристикам Угра очень похожа на Москву-реку. Но Москва-река уже сильно урбанизирована, естественный режим ее в значительной мере нарушен, тогда как индустриализация и урбанизация XX века Угру еще почти не затронули. И даже наоборот, в результате пронесшегося над этими местами шквала войны, а также оттока сельских жителей в города, население бассейна Угры в течение последнего столетия уменьшилось; десятки небольших деревень, значащихся на старых картах, уже не существуют; малоплодородные земли перестали распахивать, увеличилась лесистость.

В последнее время появился проект создания на Угре водохранилища для снабжения водой Москвы<sup>2</sup>. Он предусматривает постройку высокой плотины на Угре и целой серии плотин на Воре. Не берусь судить о чисто инженерных деталях проекта. Но рациональность всего предприятия вызывает сомнение как с точки зрения биолога, так и просто с точки зрения здравого смысла. Долина Угры узка, узки и долины ее притоков. Значит, водохранилище будет не очень емким, но очень разветвленным; бесчисленные узкие овражки будут залиты водой и заболочены. Резко изменится экологическая обстановка, затруднится использование земель. А между тем очень значительный объем воды можно взять из реки без таких пертурбаций: ведь благодаря большим поступлениям воды из ключей и большой лесистости бассейна, Угра очень хорошо естественным образом зарегулирована; даже в рекордно жаркое и сухое лето 1972 г. уровень ее почти не спускался ниже обычного межения.

Угра обладает прямо-таки идеальными данными для того, чтобы на ней был



Сибирская скерда (*Crepis sibirica*).

Желтая анемона (*Anemone ranunculoides*).



<sup>2</sup> Пашканг К. В., Рудзевич Н. Н. и др. Природо-рачительный хозяйн. Тула, 1979, с. 11.

организован национальный парк западного Нечерноземья. Дело, конечно, не в названии. Можно дать название «природный парк», «природоохранная зона» или «зона охраняемого ландшафта» и т. д. (тем более у нас эти понятия еще достаточно четко не дифференцировались).

Как показывает опыт ряда европейских стран, а также и наших прибалтийских республик, учреждение национальных (или природных) парков вовсе не требует исключения всякого хозяйственного использования территорий. Не желательно лишь создание новых промышленных предприятий или строительство, которое могло бы существенно нарушить установившееся экологическое равновесие. Разумеется, и создание национального парка на Угре не должно предусматривать сокращения масштабов сельского хозяйства. Но, конечно, оно должно предполагать, например, что животноводческие комплексы не будут сбрасывать прямо в реку потоки навоза и что не будет практиковаться первобытный обычай загонять в реку стада, предоставляя им возможность опорожняться в воду свои кишечники и мочевые пузыри.

Создание национального парка не исключает и рационального ведения лесного хозяйства, но пренебрежение водоохранной ролью леса должно быть исключено. Для наиболее ценных по природным данным участков в рамках парка должен быть введен режим заповедников или заказников.

Вместе с тем создание национального парка предполагает усиление рекреационного использования территории.

Уже сейчас долина Угры довольно широко используется как зона отдыха. Везде, где к реке можно подъехать, летом можно увидеть легковые машины, по берегам реки разбросаны палатки туристов. В некоторых местах, например, ниже моста на шоссе Москва — Рославль, около устья реки Течи, у деревни Бельдягино (выше Беляева) и др., существуют почти постоянные поселения отпускников. И надо сказать, что большинство этих «дикарей» ведет себя довольно корректно, стремится не причинять ущерба природе и беспокойства другим людям. К сожалению, в семье не без урода. Есть и любители похозяйничать с топором в лесу, и такие «ценители природы», вокруг стоянки которых лес или луг на много метров вокруг остается замусоренным обрывками бумаги, полиэтиленовыми пакетами, консервными банками, а то и битым стеклом. Иные, нежно любя лично-собственные «Жигули», подгоняют

их к воде и смывают в реку грязь и масло. А энтузиасты рыбной ловли забывают на берегах полуоткрытые с режущей крышкой консервные банки, в которых держали червей, а то и вовсе скидывают такие банки в воду...

Появились на Угре и очаги «организованной рекреации» в виде баз отдыха различных учреждений и предприятий.

Нередко считают, что «организованный» отдых — более прогрессивная и более щадящая природу форма отдыха. Однако на деле это далеко не всегда так. Социально-моральный уровень такого отдыха порой оказывается гораздо ниже уровня «дикарей». У строителей и распорядителей баз отдыха часто проявляются хищнически-собственнические тенденции захватить местечко получше и побольше, огородить его да еще по возможности отгородить и кусок берега реки; а за пределами своей ограды можно устроить свалку, окрестности без стеснения отравлять хриплым ревом репродукторов... «Дикарь» и себя самого считает гостем реки; для него и все другие люди, находящиеся на реке — такие же гости, как и он сам. «Организованные» же строго делят людей на две категории: «своих» — и «чужих», «посторонних», которым «вход запрещен».

Несомненно, что, как бы ни планировалось рекреационное использование национального парка (или любой природоохранной территории) — «диким» или «организованным» способом, в любом случае необходимо исключить дележ и разграживание земель и разделение посетителей на «своих» и «чужих»; все должны быть «своими».

Сейчас важно не упустить время, не упустить возможность такого дальнейшего планирования и использования территории, которое полностью сохранило бы для будущих поколений замечательный природный комплекс долины Угры, эту подлинную жемчужину среднерусской природы.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Пашканг К. В., Родзевич Н. Н. и др. ПРИРОДЫ РАЧИТЕЛЬНЫЙ ХОЗЯИН. Тула. 1979.

Погуляев Д. И. ГЕОЛОГИЯ И ПОЛЕЗНЫЕ ИСКОПАЕМЫЕ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ. Т. 1. Геология. Смоленск, 1955.

СМОЛЕНСКАЯ ОБЛАСТЬ: КРАЕВЕДЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ. М., 1978.

Флеров А. Ф. ФЛОРА КАЛУЖСКОЙ ГУБЕРНИИ. Калуга, 1907—1912.

## Экспедиция в Красное море

А. С. Монин, В. С. Ястребов



Андрей Сергеевич Монин, член-корреспондент АН СССР, директор Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Специалист в области геофизической гидродинамики. Автор исследований в разных областях океанологии, физики атмосферы, планетарной геофизики, механики жидкости и газа. В последние годы интенсивно занимается подводными исследованиями. Автор многих книг, и в том числе: История Земли. М., 1977; История климата. М., 1978. В «Природе» вместе с Е. Г. Мирлиным опубликовал статью: «Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов» (1977, № 10).



Вячеслав Семенович Ястребов, доктор технических наук, профессор, заместитель директора того же института. Специалист в области технических средств подводных исследований: подводных обитаемых аппаратов и глубоководных аппаратов-роботов. Автор ряда книг и в том числе: Телеуправляемые подводные аппараты. М., 1973; Подводные роботы. М., 1977.

### ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЙ — КРАСНОМОРСКИЙ РИФТ

В начале декабря 1979 г. в Красное море отправились три научно-исследовательских судна Института океанологии АН СССР «Академик Курчатов», «Профессор Штокман» и «Акванавт». Целью экспедиции, которая продолжалась до 14 марта 1980 г., были подводные исследования Красноморско-Аденского рифта. По начальным буквам этих слов экспедиция получила краткое название «ПИКАР».

Рифты — крупные линейные структуры земной коры, имеющие форму протяженных узких впадин. Такие впадины обнаружены в осевых частях срединно-оке-

анических хребтов, а также на суше. Согласно положениям новой глобальной тектоники, именно в рифтах формируется новая океаническая земная кора, которая затем отодвигается в сторону. Это явление принято называть спредингом. Спрединг — часть крупномасштабного передвижения жестких литосферных плит, включающих в себя материковые и океанические поверхности.

Рифтовая зона Красного моря с молодой океанической корой имеет форму узкой осевой трещины шириной около 20 км (при ширине самого моря около 150 км). Существование такого небольшого участка океанической коры среди континентальной неизбежно приводит

к представлению о раздвижении в этом районе коры. Поэтому исследование Красноморско-Аденского рифта чрезвычайно важно для развития и обоснования положений новой глобальной тектоники.

К тому же рифтовая долина, простирающаяся по оси Красного моря, имеет целый ряд особенностей, отличающих ее от других рифтовых областей.

Во-первых, это наиболее яркий пример раздвижения литосферных плит в геологически недавнее время, в результате которого образовалось море возрастом

около 3,5—5 млн лет. Однако, судя по некоторым обнаруженным здесь изверженным породам, процессы образования в этом районе рифта с прогибами коры и излияниями базальтов начинались 25—15 млн лет назад, а возможно и раньше.

Во-вторых, рифтовая долина Красного моря отличается очень малыми по сравнению с другими областями, где также раздвигается земная кора, скоростями спрединга, составившими за последние 5 млн лет около 0,75 см/год. Так, в Срединно-Атлантическом хребте спрединг про-



Положение Красноморского и Аденского рифтов. Полигон, на котором проводились детальные подводные исследования, показан квадратом.



исходит со скоростью 2—3 см/год, на Галапагосском рифте и в северной ветви Восточно-Тихоокеанского поднятия — со скоростью порядка 6 см/год, а на южной его ветви — до 10—12 и, возможно, даже до 16 см/год.

В-третьих, еще одна особенность Красного моря, отличающая его от других рифтовых зон Мирового океана, — существование в его земной коре мощного эвапоритового (соляного) слоя толщиной, по-видимому, порядка 5 км. Пластические течения солей и образование соляных куполов — диапиров способны осложнять процесс образования рифта.

Проходя через слои эвапоритов, воды глубинных источников с высокими температурами, собственными вулканическим областям, способны насыщаться солями. По-видимому, именно при таком взаимодействии возникают горячие рассолы и металлоносные осадки, обнаруженные в полутора десятках глубоководных впадин в центральной части Красноморского рифта.

Все эти особенности Красноморского рифта определили первостепенную важность его полевого обследования.

Необходимо отметить, что Красноморский рифт — один из элементов рифтовой системы северо-востока Африки. Его южное ответвление выходит на африканский континент и окаймляет с северо-запада бывшее дно океана, сложенное в основном базальтами, родственными океаническим, так называемый треугольник Афар. Это ответвление доходит до южной вершины треугольника Афар. Не северо-запад от нее идет Данакильская депрессия, на юг — Эфиопский рифт, на северо-восток — рифт Азаль, выходящий через залив Таджур в Аденский залив. Далее рифт Азаль переходит в Аденский рифт, который северо-восточнее о-ва Сокотра в Индийском океане доходит до гигантского меридиального трансформного разлома Оуэн, где на их стыке имеется глубоководная впадина Уитли. Южнее, в районе крупной подводной горы Эррор, от разлома Оуэн отходит на юго-восток рифт подводного срединно-океанического хребта Карлсберг.

Чтобы сопоставить все эти элементы рифтовой системы, участники экспедиции не только исследовали Красноморский рифт, но также провели небольшие экспедиции в район Афар (Эфиопия) и в Аденский рифт.

## СНАРЯЖЕНИЕ ЭКСПЕДИЦИИ

Каждое из судов экспедиции «ПИКАР» имело собственную задачу и соответственно было снабжено необходимым снаряжением. Первым в южную часть Красного моря для предварительных геолого-морфологических и геофизических исследований прибыло судно «Профессор Штокман», оснащенное узколучевыми эхолотами, аппаратурой для сейсмопрофилирования, магнитометрами, термоградиентами, грунтовыми трубками, драгами и т. п. В результате проведенных работ в самом центре рифта были заложены два прямоугольных полигона — внешний, длиной 15 км и шириной 55 км, с центром в точке 17°59' с. ш., 40°06' в. д. и внутренний, длиной 8 км и шириной 6 км, с центром в точке 17°57' с. ш. и 40°04' в. д.

На полигонах должны были работать подводные аппараты — обитаемый «Пайсис» и два необитаемых телеуправляемых аппарата «Звук-4м» и «Звук-6», которые прибыли на место исследований на борту научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» спустя неделю. Эти аппараты были предварительно опробованы в районе подводной горы Ампер, расположенной в Северной Атлантике к западу от Гибралтара.

«Акванавту», присоединившемуся к экспедиции еще через 2 дня, предстояло провести детальную магнитную съемку и работы с необитаемыми телеуправляемыми аппаратами «Звук-4» и «Манта-1,5».

Институт океанологии уже несколько лет проводит исследования с помощью подводных аппаратов. Так, первой крупной работой аппаратов типа «Пайсис», рассчитанных на погружение на глубины до 2 км, было обследование в 1977 г. дна оз. Байкал<sup>1</sup>, представляющего собой участок континентального рифта, находящегося, по-видимому, на сильно затянувшейся во времени (возраст рифта около 20 млн лет) предспрединговой стадии образования рифта. Кстати сказать, именно после этих исследований было запланировано изучение следующей стадии спрединга в Красном море. Между байкальской экспедицией и экспедицией «ПИКАР» при помощи аппаратов «Пайсис» были проведены исследования склонов подводных гор в Тихом океане в 21-м рейсе «Дмитрия Менде-

<sup>1</sup> Мониин А. С., Мирлин Е. Г. Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов. — «Природа», 1977, № 10.

лева» осенью 1978 г. и гидрофизические измерения вертикальной микроструктуры и турбулентности в Тиморском море в 22-м рейсе «Дмитрия Менделеева» весной 1979 г.

Необитаемые телеуправляемые аппараты «Звук-4» «Звук-4м» и «Звук-6» вооружены системами многокадрового подводного фотографирования, телевизионными системами (с передачей изображения по кабелю на борт судна и его запись на видеоманитофон), акустическими профилографами и локаторами бокового обзора. На телеуправляемом аппарате с манипулятором «Мант-1,5» помимо телевизионной системы и системы подводного фотографирования, установлены винтовые движители, которые позволяют аппарату в течение длительного времени плавать над дном, зависать над ним и садиться у объекта исследования. Телеуправляемые аппараты уже успешно участвовали в ряде экспедиций в Средиземном море и Тихом океане.

Такое оснащение экспедиции позволило почти непрерывно наблюдать дно Красного моря. 29 раз «Пайсис» погружался в море, где провел под водой более 163 ч (в том числе на дне 97 ч). За это время записаны видеоманитофонные фильмы, продолжительностью 12 ч, сделано 666 подводных фотографий, собрано 59 образцов пород (главным образом базальтовых лав) общим весом более тонны, произведено записей гидрофизических параметров на 20 разрезах и взято 11 проб воды.

Было проведено более 30 погружений необитаемых подводных аппаратов, за время которых сделано около 3 тыс. фотографий дна, записаны видеофильмы продолжительностью 5 ч и т. п.

Всеми подводными аппаратами пройдено над дном расстояние 164 км, сделано свыше 3,5 тыс. фотоснимков, получено видеозаписей телевизионных фильмов на 17 ч.

Перечисленные материалы вместе с данными обычных геоморфологических и геолого-геофизических исследований позволили составить довольно детальное представление о структуре красноморского рифта на примере его типичного участка на широте 18° с. ш.

## СТРУКТУРА РИФТА

В поперечном разрезе дно Красного моря представляет собой ряд почти параллельных ступеней с крутыми уступами.

Верхняя ступень представляет собой шельф. Согласно результатам сейсмопрофилирования и геологическим данным (включая бурение), здесь под 200—300-метровым слоем рыхлых осадков имеется мощный слой плотных осадочных пород — эвапоритов, по-видимому, перекрытых сверху мергелистыми и доломитизированными породами.

За ступенью следует довольно пологий уступ (крутизной 12—14°), представляющий собой континентальный склон. Уступ отстает от оси рифта на 20—25 км и располагается на глубине от 600 до 1200 м. Возраст континентального склона, по палеомагнитным данным, 2—3 млн лет. Уступ покрыт осадками и имеет ступенчатое строение; местами в его нижней части обнаружены серии вертикальных обрывов высотой до 10—20 м, где на поверхность выходят коренные породы. При погружениях «Пайсиса» и «Звука-4м», а также при драгировании эвапоритов здесь обнаружены не удалось. Довольно часто на поверхности уступа наблюдали выходы зазубренных краев карбонатных корок, местами образующих целые карнизы на стенках обрывов. Такие корки часто покрыты черным железо-марганцевым налетом и встречаются на дне Красного моря почти повсюду. По-видимому, они свидетельствуют о происходящем здесь интенсивном осаждении карбоната кальция из воды. Подсчеты, выполненные в экспедиции, показывают, что через Баб-эль-Мандебский пролив в Красное море вносится больше кальция, чем выносится из него.

Ниже верхнего уступа располагается средняя ступень, сложенная, по-видимому, корой океанического типа. Об этом говорят данные магнитных и гравиметрических измерений, а также обнаруженные здесь «Пайсисом» выходы шаровых лав, образующихся при контакте изливающихся лав с водой, свойственные коре именно этого типа. Ступень заканчивается невысоким (100—200 м) краевым хребтом, внутренним склоном которого переходит в средний уступ. Этот уступ, состоящий из целой системы сбросов и смещений, представляет собой стенку внешнего рифта крутизной более 40°. Он расположен в 5—6 км от оси рифта, на глубине от 1200 до 1600 м. Возраст его, судя по магнитным аномалиям, около 1 млн лет. Нижний уступ также окаймлен снаружи невысоким (высотой 200—300 м) краевым хребтом (стенка внутреннего рифта). Он находится на расстоянии 2—2,5 км от оси моря, перепады глубин над ним — от 1500—



«Академик Курчатов» и «Профессор Штокман» в районе исследований.

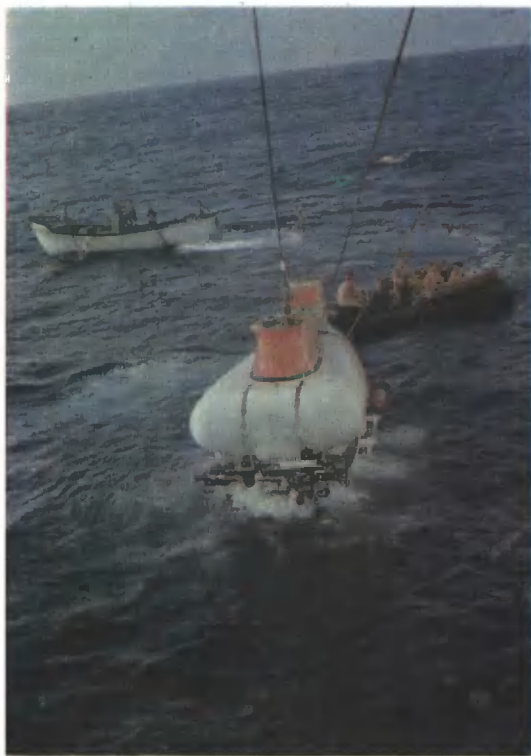
Фото В. С. Ястребова.

1600 до 1800—1850 м. Возраст уступа, по-видимому, порядка 300 тыс. лет. Наличие внутреннего рифта внутри основного — по-видимому, специфическая особенность зоны медленного раздвижения коры. Нижняя ступень, являющаяся дном рифтовой зоны, в целом несколько приподнята на оси и опущена у подножий краевых уступов, ее рельеф представляет собой сложное сочетание вулканических холмов, часто вытянутых вдоль оси рифта, и небольших гор (с вершинами на глубине не менее 1250—1450 м). Холмы и горы разделены впадинами и ложбинами глубиной до 1650—1850 м, а также уступами и трещинами. Нижний уступ — стенка внутреннего рифта — на восточной стороне представляет собой протягивающуюся через весь полигон величественную вертикальную стену высотой 450 м, обнажающую в нижней части базальтовые породы (возможно, карбонато-базальтовые). В средней части стены наблюдаются так называемые зеркала скольжения с вертикальными царапинами, которые свидетельствуют о происшедшем грандиозном сбросе, в верхней —

отдельности шаровых лав. В одном месте эта стена рассечена ущельем крупного поперечного разлома. На западной стороне уступ раздроблен и представляет собою прерывистую цепь краевых блоков.

На дне внутреннего рифта можно выделить осевую зону молодого вулканизма (экструзии) шириной около 0,5 км, образующую прерывистой цепочкой самых молодых вулканов, возраст которых составляет, по-видимому, несколько десятков тысяч лет. Эти вулканы представляют собой конусообразные образования с небольшими кратерами на вершинах и склонах. Во все стороны от вершин или от кратеров расходятся лавовые потоки, состоящие практически только из подушечных лав. Наблюдавшихся в зонах быстрого спрединга щитовых лав и лавовых озер здесь не было, отсутствие таких форм также, возможно, является одной из особенностей зоны медленного спрединга. Два-три раза были встречены лавовые холмы высотой в несколько метров со свешивающимися с них трубками подушечных лав, которые названы французскими исследователями «стогами сена».

Лавы в зоне экструзии почти не засыпаны осадками, толщина которых лишь несколько сантиметров. Часто лавы покрыты корками свежего вулканического стекла, а карбонатных корок здесь нет или очень



Обитаемый подводный аппарат «Пайсан» на воде.  
Фото А. С. Монина.



Буксируемый подводный аппарат типа «Зук».  
Фото В. С. Ястребова.

Телеуправляемый подводный аппарат «Манта-1,5».  
Фото В. С. Ястребова.







Спуск «Звука» на воду.

Фото В. С. Ястребова.

мало. Вулканы в зоне экстррузии (и тем более вне ее) уже «тектонизированы» — с юго-запада и северо-востока они разрезаны вертикальными сбросовыми уступами высотой до 30—50 м и более или сериями уступов в виде лестниц, под которыми иногда обнаруживаются осыпи осколков подушечных лав. Правда, открытых трещин здесь практически не встречалось.

Зону экстррузии с обеих сторон окаймляют более старые вулканы, изобилующие сбросовыми уступами, а также продольными извилистыми трещинами шириной от нескольких сантиметров до 15—20 м, один край которых выше другого на несколько метров или десятков метров. При этом обнажаются стенки с подушечными лавами разных форм, зачастую покрытыми карбонатными корками. В стенках встречаются как бы впаянные в них ненарушенные отделности лав, говорящие о «растаскивании» стенок трещин, и неровные изломы — признаки разрыва. Такие формы являются свидетельствами раздвижения дна.

Встречаются трещины, направленные

перпендикулярно зоне, причем у некоторых из них один край сдвинут относительно другого по горизонтали. Это молодые трансформные разломы. Поперечные трещины, рассекающие боковые уступы вулканических гор и гряд, встречаются лишь в некоторых местах.

### ПОРОДЫ, ОСАДКИ И ОБИТАТЕЛИ ДНА

Лавы в тектонических зонах уже заметно прикрыты осадками, толщина которых возрастает от оси рифта к краям, где достигает многих метров (так что лавы обнажаются лишь на очень крутых склонах). Вулканические стекла на поверхностях этих лав уже перерождены. Повсеместно лавы покрыты карбонатными корками.

Собранные «Пайсисом» многочисленные образцы красноморских базальтов составляют уникальную коллекцию. Напомним, что из шести скважин, пробуренных в Красном море «Гломаром Челленджером», базальтов достигла только одна, да и та проникла в них только на 14 м. Еще раньше толеитовые базальты были найдены на некоторых островах в самой южной части Красного моря, но оставалось неизвестным, сколь они типичны для его

дна. Предварительно можно считать, что собранные экспедицией образцы представляют собой первичные толеитовые базальты, по-видимому, относящиеся к типичным базальтам океанических рифтовых зон.

Современные рыхлые донные осадки Красного моря, не говоря об упоминавшихся выше карбонатных корках, имеют преимущественно карбонатно-биогенный характер. Доля терригенных, т. е. поступающих с суши, осадков мала — по-видимому, менее 20%. Это объясняется тем, что в Красное море реки не впадают, а берега размываются слабо, так как закреплены коралловыми рифами. Большая часть карбонатных осадков — прозрачные раковинки планктонных моллюсков — птеропод длиной около миллиметра, а также фораминиферы.

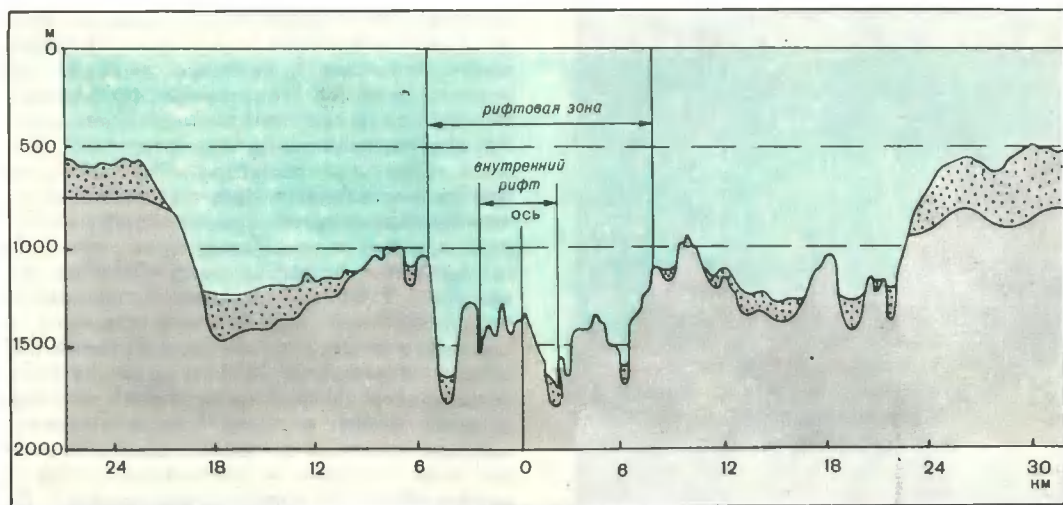
В рифтовой зоне карбонатные осадки распределены крайне неравномерно: на горизонтальных и пологих поверхностях они еще удерживаются, а с крутых склонов стекают во впадины. Поэтому оценить среднюю скорость осадкообразования здесь трудно. По данным 34 больших и 104 малых грунтовых трубок, взятых с «Профессора Штокмана», она оказалась равной 5,14 см за 1000 лет. По другим данным, полученным во время американской экспедиции «Вальдивия», средняя скорость осадкоотложения составила около 10 см за 1000 лет. Рассчитано, что при скорости спрединга в 0,75 см/год толщина осадочного слоя на каждый километр расстояния от оси рифта увеличивается примерно на 7 м, так что на краю зоны экструзии средняя толщина осадков составляет 3,5 м, на краю внутреннего рифта (нижнем уступе) — 17 м, на краю внешнего рифта (среднем уступе) — 35 м, на верхнем уступе — 150 м.

На исследованном экспедицией участке красноморского рифта почти не встречалось следов гидротермальной деятельности. Возможно, что в этом отношении пблигон не был типичным, поскольку в центральных участках Красного моря имеются впадины с горячими рассолами и металлоносными осадками, по-видимому, гидротермального происхождения. Можно также предположить, что слабость гидротермальной деятельности типична для зон медленного спрединга. Лишь в ложбине, располагавшейся в центральной части полигона, с помощью драг были вытасканы немногочисленные образцы гидротермальных пород, в том же месте «Пайсис» захватил рыхлый образец чер-

ной, как сажа, сульфидной железной руды, плохо отмываемой даже мылом.

Многочисленные наблюдения из «Пайсиса», а также биологические пробы, взятые с «Академика Курчатова», показали, что дно красноморского рифта чрезвычайно бедно бентосом, биомасса которого, по полученным оценкам, не превышает 0,05 г/м<sup>2</sup>. Обнаружены лишь единичные мелкие полихеты (правда, на камнях встречается много мелких белых трубочек полихет, по-видимому, рода спирорбис); двустворчатый моллюск нукула. В двух случаях были найдены актинии, в одном — стеклянная губка, изредка — раки-отшельники, а также мелкие крабиды и мелкие зеленые морские ежи. Эта бедность глубоководного бентоса объясняется непривычными для него высокими температурами придонных вод Красного моря (21—22° С) и эволюционной молодостью моря, так что новые виды бентоса, приспособившиеся к этим необычным условиям, сформироваться еще не успели. В то же время придонные организмы были довольно многочисленными: рачки-декаподы и мелкие амфиподы, рыбки миктофиды, бротулиды и др. Как показали видеозаписи «Манты-1,5», как в придонной воде, так и в верхнем рыхлом слое грунта, встречаются угри и небольшие глубоководные акулы. Однажды из «Пайсиса» удалось наблюдать, как угорь, извиваясь на грунте и постепенно разворачиваясь вокруг вертикальной оси, оставлял на красноватом рыхлом песке светлый звездообразный след — такие следы нередко встречались и наблюдателями «Пайсиса».

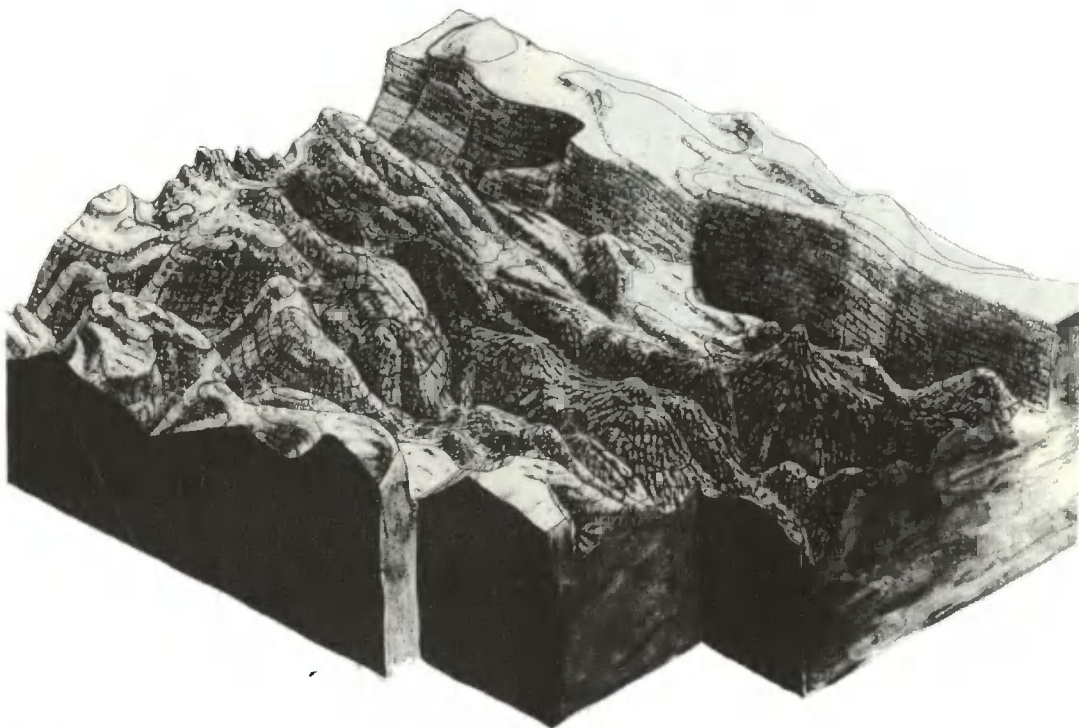
На осадочных поверхностях дна Красного моря на всех обследованных глубинах обнаружены многочисленные светлые пятна на красноватом песке (диаметром порядка метра и с расстояниями между ними — от нескольких метров до десятков метров). Они представляли собой один или несколько холмиков (высотой в несколько сантиметров), окруженных множеством (до 50—70) маленьких дырочек (диаметром порядка 1/3 см). Создавалось впечатление, что какие-то роющие животные выкопали норки, выбросив на красноватую поверхность песка более светлый нижележащий грунт (и зацементировав стенки норок в исключительно рыхлом, почти взвешенном слое грунта, скажем, своей слизью). Одна из таких норок была обнаружена в пробе грунта, взятой дночерпателем; в вертикальном разрезе она оказалась уходящей в глубину на несколько дециметров. Но ни при визуальных

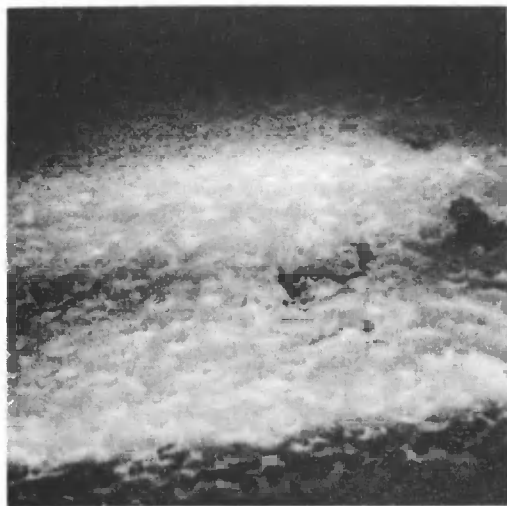


Поперечное сечение Красноморского рифта.

Блок-диаграмма рельефа дна Красного моря под внутренним полигоном. Выполнена на основе промеров узколучевым эхолотом с борта судна «Профессор Штокман».

наблюдениях, ни при просеивании ряда проб грунта, взятых тралами и манипуляторами аппаратов из пятен с дырочками, никаких роющих животных обнаружено не было. Лишь иногда в норках наблюдали креветок и рыбок. Возможно, что хозяевами норок окажутся угри. Известно, что на мелководьях они нередко целыми стаями зарываются в грунт, выставляя наружу лишь передние части туловищ.





Рябь на поверхности рассола.

Фото В. С. Ястребова.



Подушечные лавы на дне внутреннего рифта

Фото А. С. Монина.

## ПОГРУЖЕНИЕ В РАССОЛ

При работах в красноморском рифте специальное внимание было уделено исследованию дна впадин с горячими рассолами и металлоносными осадками. Из ряда впадин «Профессор Штокман» взял многочисленные пробы осадков грунтовыми трубками. На седловине между впа-

динами Чейн и Дискавери с глубиной около 2 км аппаратом «Звук-4м» получена серия фотографий скальных выходов коренных пород и уникальная фотография загадочной двумерной ряби дециметровых масштабов, возможно, на поверхности рассола. Обычным подводным фотоаппаратом получены снимки дна с мелкомасштабными неоднородностями во впадинах Атлантис и Вальдивия. Наконец, осуществлены уникальные погружения «Пайсиса» во впадины Чейн и Вальдивия с частичным проникновением в горячие рассолы.

В первом из этих погружений (на рекордную глубину 2030 м) детально было исследовано дно. Его покрывал светло-желтый осадок с легко взмучивающимся черным налетом с отдельными белыми, как снег, пятнами и холмиками, которые могли быть выходами эвапоритов. По дну проходили прямые параллельные валы песчаных волн длиной 1,5—2 м и совершенно без «дырочек». Была хорошо видна похожая на грунт поверхность мутного рассола, имевшего температуру около 35° С и соленость около 80‰, скорость звука 1624 м/с со слабо выраженными волнами. На седловине между впадинами Чейн и Дискавери наблюдателям попалась скальная стенка из больших угловатых камней светло-желтого цвета. Во впадине Вальдивия над рассолом среди осадков были встречены скальные выходы светло-желтых и коричневатых пород надэвапоритовой толщи, почти повсеместно покрытых карбонатными корками. Там же были взяты их образцы. На несколько метров выше поверхности рассола в осадках уже встречались «дырочки». Была хорошо видна и поверхность рассола (имевшего температуру 23° С, огромную соленость около 280‰, скорость звука 1645 м/с), с подводными (внутренними) волнами с прибоем на его «берегу». При попытке погрузиться в рассол струи тяжелой жидкости обтекали аппарат. Это уникальное зрелище, впервые наблюдавшееся человеком, произвело большое впечатление на участников погружения.

Большой интерес представляли исследования в Аденском заливе. Проведенные экспедицией кратковременные работы на рифте Таджура заключались в детальной съемке рельефа дна избранного участка рифта (на меридиане Адена) при помощи узколучевого эхолота, установленного на «Профессоре Штокмане», гидрофизических измерениях и фототелевизионном обзоре склонов рифта буксируемым аппа-

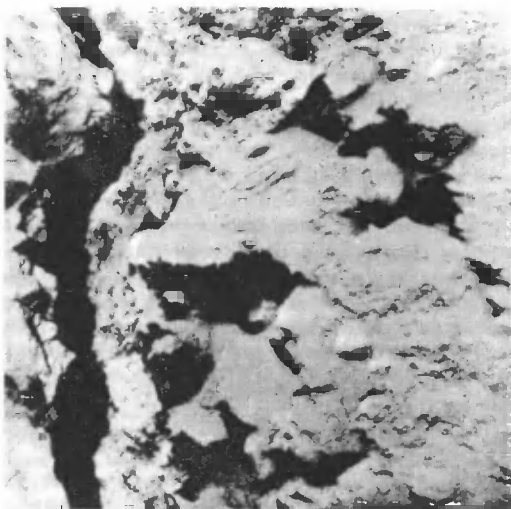


ратом «Звук-4м». В отличие от Красноморского рифта, здесь в поперечном разрезе Аденского залива отчетливо выражены лишь один уступ — стенки рифта находятся на расстоянии около 7 км от его оси. Перепады глубин составляют от 800 до 1300—1500 м, крутизна уступа — 15—20° и более. Дно рифта опущено по краям и несколько приподнято к оси, где располагаются остроконечные горы высотой 200—400 м, гряды и вытянутые блоки с крутыми ступенчатыми склонами. При фототелевизионном обзоре склонов были обнаружены участки, покрытые осадками с теми же группами дырочек, что и в Красном море, многочисленные выходы коренных пород, заметно более богатая, чем в Красном море, придонная и донная жизнь.

Помимо морских исследований, в экспедиции были проведены также полевые на суше. Участники рейса на «Профессоре Штокмане» в десятидневной экспедиции в район Афар (Эфиопия) ознакомились с основными тектоническими структурами и породами в этом районе и собрали представительную коллекцию образцов. Этот район, представляющий собой царство черных базальтов от так называемых стратоидных (возрастом до 5 млн лет) до четвертичных «осевых», также является зоной образования новой океанической коры. Базальты в районе Афар в основном толентовые, океанического типа, обычно с несколько повышенной щелочностью. Лавы вулканов на поперечных разломах относятся к щелочным базальтам. Район Афар несколько отличен от океанических рифтов, здесь встречаются отдельные блоки коры континентального типа. В отходящем от тройной точки Афара на юг Эфиопском рифте наблюдается в основном кислый вулканизм. Наконец, рифт Азаль, выходящий из тройной точки на северо-восток и переходящий в рифт Таджура в Аденском заливе, по возрасту и структуре похож на Данакильскую депрессию и во многом подобен океаническим рифтам.

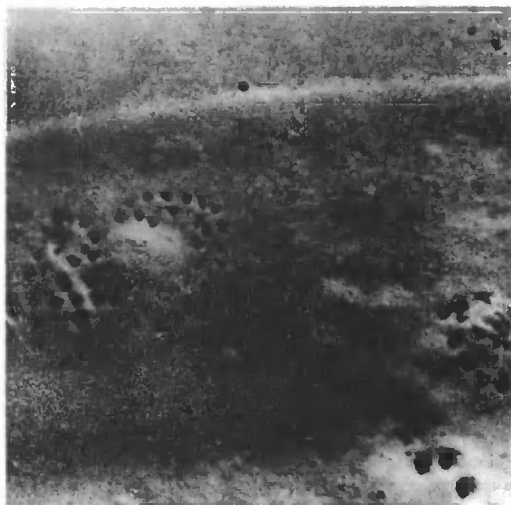
#### ГИДРОФИЗИЧЕСКИЕ ИЗМЕРЕНИЯ В КРАСНОМ МОРЕ

На «Академике Курчатове» была выполнена также обширная программа гидрофизических и гидрохимических измерений. В рейсе функционировали 36 гидрологических станций, проведено около 200 зондирований гидрофизическим зондом, в том числе на двух поперечных разрезах через Красное море и в четырех впадинах с горячими рассолами. Помимо этого,



Тращина, свидетельствующая о раздвигании дна Красного моря.

Фото А. С. Монина.



Следы неизвестных роющих животных на осадочных поверхностях.

Фото А. С. Монина.

датчики «Пайсиса» измеряли температуру и электропроводность воды, скорость распространения в ней звука и концентрацию растворенного кислорода. В результате в экспедиции получены новые данные по гидрологии Красного моря и, прежде всего, по вертикальной микроструктуре вод Красного моря в целом и впадин с горячими рассолами в частности.

Типичное расслоение вод Красного моря по горизонтали в зимний сезон оказалось следующим. Верхний перемешанный слой имеет толщину в 20—30 м с температурой в пределах 25—29° С и соленостью 38—40‰. Эти показатели в средней и восточной частях моря зависят более всего от меняющейся под действием ветра интенсивности поверхностного течения с юга. На глубине от 20—30 до 80—90 м располагается постоянный слой инверсии температуры, по-видимому, адвективного происхождения с температурами до 30—31° С и соленостью до 41‰. На глубине от 80—90 до 200 м располагается слой повышенной плотности. Наконец, воды от 200-метровой глубины до дна имеют постоянные температуры около 21,7° С и соленость 40—60‰. Отметим, что на широте 18° в верхнем 100—200-метровом слое восточной и средней частей моря наблюдаются более теплые и распресненные воды, текущие из Баб-эль-Мандебского пролива на север.

В верхнем 150—200-метровом слое, кроме того, наблюдается так называемая микроструктура — многочисленные инверсии температуры и солености.

В режиме вод Красного моря большую роль играет его обмен с Аденским заливом, который удалось обнаружить при измерениях в западной части Аденского залива перед Баб-эль-Мандебским проливом, в рифте Таджура на меридиане Адена. Оказалось, что в верхнем слое моря течение здесь направлено на запад-северо-запад. На глубине 15 м оно имеет скорость около 45 см/с. На большей же глубине направление течения меняется на противоположное. Глубинные воды имеют слоистое строение, причем слои с максимумами температуры и солености поступают из Красного моря. Местные воды заметно холоднее и преснее, чем красноморские, но все же они еще очень теплы и солонны по сравнению с теми, что располагаются на такой глубине в открытом океане. Вертикальная микроструктура здесь была хорошо развитой.

Большой интерес представляют результаты сделанных впервые измерений вертикальной структуры горячих рассолов. Оказалось, что над ними до глубины 1960 м располагаются воды с температурой около 22° С и соленостью 40—60‰. Ниже на глубине 1960—2050 м располагается переходный слой с несколько более теплой и соленой водой, а на глубине 2050—2075 м — верхний рассол с температурой 51,4° С и соленостью 154,5‰. На глубине

не 2075—2080 м, где температура и соленость около 50° С и 200‰, существует нижний переходный слой. Наконец, ниже, на глубине от 2080 м до дна температура становится равной 62° С, а соленость 319,2‰ (нижний рассол).

Следует учесть, что плотность воды всюду возрастает с глубиной, т. е. вся эта стратификация гидростатически устойчива. Наши измерения показали, что на это расслоение налагается более тонкое: 2—3 более тонких слоя наблюдаются внутри верхнего переходного и еще один — внутри верхнего рассола. Это расслоение может быть объяснено диффузией тепла и соли в условиях устойчивой стратификации с возрастанием вниз и температуры, и солености. Относительно быстрая диффузия тепла снизу вверх возбуждает в некоторых слоях микроконвекцию, но проникновение ее вверх задерживается из-за замедления диффузии соли устойчивым градиентом солености. Следует отметить, что, по нашим измерениям, температура и соленость рассолов во впадине Атлантики оказались слегка возрастающими с севера на юг, т. е., по-видимому, при приближении к питающим слоям рассолов термальным источникам.

Анализ проб воды из различных слоев рассолов позволил дать им довольно детальную гидрохимическую характеристику. Разнообразие рассолов в разных впадинах заставляет думать, что они не связаны, а каждая из них имеет свои собственные глубинные источники.



Экспедиция Института океанологии АН СССР «ПИКАР» позволила получить ряд уникальных результатов в короткий промежуток времени. Ее эффективность достигнута за счет применения в исследованиях сразу нескольких типов подводных аппаратов.

Экспедиция еще раз показала, что погружения обитаемых и необитаемых подводных аппаратов — исключительно плодотворный метод работы морских геологов, которым раньше приходилось вслепую опускать на дно океанов и морей драги и грунтовые трубки в надежде захватить какие-нибудь образцы. Теперь получена возможность работать почти как на суше, перемещаться у поверхности дна в нужных направлениях, подробно рассматривать дно, фотографировать, записывать видеоманитофонные фильмы и брать манипулятором нужные образцы. У исследований такого рода большое будущее.

## ВЕЛИКИЙ ЭНЦИКЛОПЕДИСТ ВОСТОКА

К 1000-летию со дня рождения Ибн Сины (Авиценны)

Велико научное наследие Абу Али ибн Сины (в латинизированной форме — Авиценны) — знаменитого врача, философа, естествоиспытателя и поэта — которое и сегодня не потеряло своего значения. Он развил традицию восточного аристотелизма в области философии, внес существенный вклад в логику и ряд разделов естествознания. Ибн Сина — один из признанных классиков персидско-таджикской поэзии. С его повестью «Живой, сын Бодрствующего» современные исследователи связывают сюжет «Божественной комедии» Данте, а некоторые его медицинские рецепты переживают сейчас как бы второе рождение.

Ибн Сина жил и творил в наиболее прославленный период персидско-таджикской культуры. Народы Средней Азии и Ирана в IX—X вв. переживали большой духовный подъем после арабского господства в VII—VIII вв., сопровождавшегося насильственной исламизацией, уничтожением памятников домусульманской культуры. Достаточно назвать несколько имен этого и последующего периодов, чтобы убедиться в духовном возрождении этих народов: Абу Абдаллах (или Абуль Хасан) Рудаки (ок. 860—941) — поэт и мыслитель, родоначальник персидско-таджикской классической лите-

ратуры; Абуль Касим Фирдоуси (940—1020) — поэт-гуманист, автор героической эпопеи «Шах-наме»; Абу Рейхан Беруни (973—1048 или после 1050) — ученый-энциклопедист, автор многочисленных трудов по астрономии, геодезии, истории и другим отраслям средневекового знания; Омар Хайям (1048 — после 1122) — известный математик, философ (считал себя учеником Ибн Сины), поэт, обессмертивший свое имя знаменитыми поэтическими миниатюрами (рубан); Саади (1203/10—1292) — автор всемирно известных поэм «Бустан» и «Гулистан», писатель, не знавший себе равных в художественной проповеди активного, демократического гуманизма; Хафиз (ок. 1325—1389 или 1390) — поэт и мыслитель, творчество которого по праву считается высшим достижением всей средневековой персидско-таджикской лирической поэзии.

Список выдающихся деятелей восточного средневековья, творения которых вошли в сокровищницу мировой культуры, можно было бы продолжить. Среди них Ибн Сина занимает одно из первых мест.

Ниже мы публикуем статьи А. Турсунова и Ю. Н. Нуралиева, в которых рассказывается о научном и философском творчестве Ибн Сины.

### «Лишь истина была ему пример...»

**А. Турсунов,**  
кандидат философских наук

Главная научная редакция Таджикской Советской Энциклопедии

Душанбе

Абу Али ибн Сина — один из тех прославленных сынов рода человеческого, которые, выражаясь образным языком Омара Хайяма, «украсили познания небосклон, взойдя светилами для мира и времен». Как истинно великий человек и мыслитель, Ибн Сина опередил свой век, и нет ничего удивительного в том, что он не

Там геометр Евклид, там — Птолемей,  
Там Гиппократ, Гален и Авиценна...  
Данте. Божественная комедия

нашел в свою эпоху «покупателя», достойного своего гения.

Хоть и возвеличился я, но не обширны  
мои владенья,

Хоть и, дорога цена моя, но нет на  
меня покупателя, — жаловался Ибн Сина. Однако его жизнь, хотя и омраченная многочисленными ударами судьбы, но ос-

вещенная ярким творческим огнем, была прожита далеко не напрасно; она оценена по истинному достоинству самой историей.

Будучи еще совсем молодым, Ибн Сина удостоился почетных титулов Шайхур-раис («Глава ученых») и Худжатулхаж («Подтверждающий истину»); его научная слава перешагнула границы Средней Азии и Ирана и пережила столетия. Многие его идеи и догадки сохранили свою актуальность и научную значимость до наших дней. Вот почему Ибн Сина остается нашим современником.

## СТРАНИЦЫ ЖИЗНИ

Мой дух скитаньями пресытился  
вполне...

Ибн Сина

Абу Али Хусейн ибн Абдулла ибн Хасан ибн Али ибн Сина (980 г. — 18 июня 1037 г.) родился и вырос в Бухаре — столице крупного централизованного феодального государства, возглавлявшегося местной восточно-иранской (таджикской) династией Саманидов. Саманидское государство, образовавшееся после двухсотлетнего господства Арабского халифата и включавшее в себя почти всю современную территорию Средней Азии, значительную часть нынешних Афганистана и Ирана, просуществовало около ста лет (почти все десятое столетие). Это были годы не только политической, экономической и этнической консолидации восточноиранских народностей, но и их духовного возрождения. Саманиды всемерно культивировали родной язык (дари-таджикский или фарси) и культуру, поощряли переводы светской литературы с арабского и других языков.

Именно этот духовно-интеллектуальный климат и послужил той почвой, на которой расцвела классическая гуманистическая культура таджиков и персов, представленная такими всемирно известными именами, как Абу Абдаллах Рудаки и Абуль Касим Фирдоуси, Закария Рази и Омар Хайям и рядом других не менее знаменитых ученых и поэтов, прославивших ее в последующие века.

Ибн Сина, таким образом, — один из зачинателей и наиболее крупных представителей великой культуры ренессансного типа, а отнюдь не оазис в пустыне восточного Средневековья. Скорее он — высочайшая вершина горной цепи...

Ибн Сине было девятнадцать лет, когда его родной город заняли иноземные захватчики — караханиды. Бухара была разграблена и опустошена; погибли многие культурные ценности. К этому времени Ибн Сина успел закончить свое образование и прославился как врач и философ<sup>1</sup>.

Новым правителям Бухары, питавшим ненависть к прогрессивной городской культуре, талант его не был нужен, и это прекрасно понимал сам молодой ученый. Вот почему вскоре после смерти отца (1001 г.) он навсегда покинул родину и переехал в Гургандж — столицу Хорезма, где просвещенный везир Сухайли собрал знаменитых ученых того времени (в том числе Беруни) и организовал «академию Маамуна», названную так в честь эмира Хорезма. Последняя, однако, вскоре распалась, ибо честолюбивый правитель Газны Махмуд, захвативший часть бывшего саманидского государства, в ультимативной форме потребовал, чтобы члены «академии Маамуна» были отправлены к его двору. Конечно, невежественного и кровожадного султана, унизившего в свое время великого Фирдоуси и уничтожившего многих деятелей ирано-таджикской культуры, менее всего интересовала наука. Он просто хотел использовать их в качестве авторитетных летописцев, воспевающих его подвиги. Ибн Сина отказался от такой «честь». Пять лет пришлось ему скитаться по различным городам Средней Азии и Ирана. Ниса, Абивард, Тус, Семанган, Джурджан, Дехистан, Рей, Казвин, Исфахан и, наконец, Хамадан — таков перечень основных городов, где побывал Ибн Сина, спасаясь от преследований султана Махмуда.

В жизнеописании, касаясь причин этих бесконечных переездов, Ибн Сина ограничивается лишь двумя словами: «необходимость» и «обстоятельство». А между тем за этими словами — добрая половина его беспокойной, полной тревог и опасностей жизни!

Жизнеописание Ибн Сины продолжил его любимый ученик, сопровождавший своего учителя в течение 25 лет, Абу Убайд Джузджани. И, рассказывая о жизни его, он уже не так краток, как его учитель. В Хамадане, пишет он, войска эмира «внезапно напали на его дом, схватили Шейха (так уважительно называет Джузджани

<sup>1</sup> Жизнеописание Абуали Ибни Сино. — «Здравоохранение Таджикистана», 1977, № 3, с. 7.



Ибн Сину. — А. Т.) и подвергли грабежу его имущество, взяли все, что у него было, и предложили эмиру казнить его»; ему пришлось «сорок дней укрываться в доме шейха Абу Саида ибн Дахдука». Вскоре к власти пришел новый правитель, но от этого Ибн Сине отнюдь не стало легче. Он по-прежнему скрывался, на этот раз в доме некоего Абу Галиба, где по просьбе Джузджани и закончил свою «Китаб уш Шифа» («Книгу исцеления»). «Затем Таджулмулк (один из приближенных нового хамаданского эмира Самауддавлы. — А.Т.) обвинил Шейха в переписке с Алауддавлый (тогдашним правителем Исфахана. — А. Т.), и организовал его розыск. И некоторые из врагов Шейха указали на его местопребывание. Шейха схватили и бросили в крепость... И пребывал он в крепости четыре месяца»<sup>2</sup>.

Ибн Сина, однако, не падал духом. Он решает уехать в Исфахан и обосноваться при дворе Алауддавлы, обещавшего ему спокойную жизнь. Во введении к «Книге знаний», воздав должное правителю, он пишет, что «в службе ему достиг всех своих желаний: безопасности, величия, пышности, довольства, занятия наукой...» В действительности, однако, жизнь при дворе Алауддавлы была не столь уж безмятежной. Ученому приходилось работать в условиях постоянных дворцовых интриг, не говоря уж о капризах самого эмира. Ибн Сина был вынужден участвовать вместе с ним в военных походах в качестве его личного врача, даже тогда, когда сам был тяжело болен. Так, во время войны Алауддавлы с правителем г. Караха Таш-Фаррашем «у Шейха, — как сообщает Джузджани, — начались колики. Опасаясь, что война завершится отступлением [Алауддавлы] и ему, [тяжело] больному, не удастся уйти, Шейх, страстно желая излечиться, ставил сам себе клизму по восемь раз в день. Некоторые кишки его изъязвились, и в них появились ссадины. Шейх вынужден был уехать вместе с Алауддавлый, и они поспешили по направлению к Изаджу. Там с ним случился припадок...» История кончилась трагически: «Затем Алауддавла направился в Хамадан, и [Шейх] поехал вместе с ним. В пути снова вернулся к нему болезнь. Прибыв в Хамадан, он понял, что силы его ослабли и их уже недостаточно для устранения болезни...»<sup>3</sup>.

Так закончилась жизнь Ибн Сины: он умер на 57 году жизни от болезни,



Ибн Сина с учениками. Персидско-таджикская миниатюра XVII в.

которой посвятил в свое время специальный медицинский трактат — «Книгу о коликах», от которой не раз спасал людей. Это — не ирония судьбы. Это — драма великой творческой личности, не уместившейся в рамки своего жестокого времени.

#### НАУЧНЫЕ ОТКРЫТИЯ

Покров с лица природы он сорвал...

Джами

Ибн Сина прожил короткую, но насыщенную неустанными научными поисками жизнь. По имеющимся подсчетам, число научных работ Ибн Сины превышает

<sup>2</sup> Там же, с. 10.

<sup>3</sup> Там же, с. 5—13.

270 (23 из них написаны на его родном языке — таджикском, который уже во времена Ибн Сины стал частично вытеснять арабский из сферы науки и философии). Некоторые работы состоят из нескольких томов. Так, сочинение «Получаемое и достигаемое», написанное, когда ученому было немногим более 20 лет, состоит из 20 томов; медицинская энциклопедия «Книга канона врачевания» — из 14 томов, философский труд «Книга исцеления» — из 18 томов, а языковедческая работа об арабском языке — из 10 томов.

Ряд произведений Ибн Сины был написан им в тяжелых, непригодных для творческой работы условиях. В крепости, куда ученый был заточен во времена его пребывания в Хамадане, он написал «Книгу руководства», трактат под названием «Хай ибн Якзан» («Живой, сын Бодрствующего») и «Книгу о коликах». Ряд разделов «Книги исцеления» и «Книга спасения» были им составлены в пути, во время скитаний из одного города в другой.

Не все написанные Ибн Синой книги дошли до нас; судьба некоторых из них была не менее трагичной, чем его собственная судьба. Одни погибли во время погромов и ограблений (например, его фундаментальный философский труд «Книга справедливости», который бесследно исчез во время нападения разбойничьих банд султана Масуда — сына неизвестного Махмуда). Другие были утеряны во время многочисленных скитаний (из книги «Восточная философия», являющейся главным философским трудом Ибн Сины, до нас дошло лишь несколько страниц). Третьи, написанные по просьбе частных лиц, канули в неизвестность вместе с их владельцами. Так, например, упомянутая выше двадцатитомная книга «Получаемое и достигаемое» была написана Ибн Синой для некоего Абу Бакра ал-Барки, для него же был написан труд по этике. О судьбе этих работ в автобиографии мыслителя сказано следующее: «Эти две книги нельзя найти ни у кого, кроме него, и не одалживал он их никому, чтобы можно было снять копию»<sup>4</sup>. Иные труды, по не зависящим от их автора обстоятельствам, остались в черновиках и тоже исчезли. О судьбе одной из них сообщает Джузджани: «Шейх написал книгу по языкознанию, названную им «Лисон-ул-араб» («Язык арабов»), подобно которой в области языка еще никто не писал. Но Шейх не переписал эту книгу начисто,

так что, когда он умер, она так и осталась в черновике, и никто не привел ее в порядок»<sup>5</sup>.

Ибн Сина был высокообразованным ученым-энциклопедистом. Его научное творчество охватывает буквально все отрасли средневекового знания — от астрономии до медицины, от теории музыки до литературоведения. Так, в далеко не полном списке научных трудов Ибн Сины, составленном Джузджани, одной лишь астрономии посвящены пять трактатов. И это исключая астрономические разделы его энциклопедических произведений, таких как «Книга исцеления», «Книга спасения», специальные комментарии, написанные им к «Альмагесту» Птолемея, а также переписку с Беруни. В этих работах Ибн Сина затрагивает широкий круг вопросов — от способов построения новых средств наблюдения и усовершенствования календарей до проблем конечности и бесконечности Вселенной.

Ибн Сина сам строил астрономические приборы и проводил наблюдения. Так, 24 мая 1032 г., будучи в Исфахане, он наблюдал и описал редкое астрономическое явление: прохождение Венеры по диску Солнца. Между тем еще до недавнего времени в историко-научной литературе утверждалось, что такое явление впервые наблюдалось в 1639 г. Ибн Сина также оставил подробное описание падения метеорита в Хорасане. «Что касается «Альмагеста», — пишет Джузджани, — то он включил [в него] десять геометрических фигур различного вида и добавил в конце «Альмагеста» такие вещи по астрономии, каких [до него] ранее не существовало. Он добавил также к Евклиду некоторые теоремы, к арифметике (ряд интересных) тонкостей, а в музыке (затронул) вопросы, о которых не ведали (его) предшественники»<sup>6</sup>. (Кстати, Ибн Сина критиковал космологическую концепцию происхождения музыки, развитую пифагорейской школой. Отстаивая собственную концепцию ее естественноисторического происхождения, возникновение ее он связывал с потребностью людей к общению.) Ряд научных открытий Ибн Сины относится к области геологии. Он обосновал идею эволюции земной коры, впервые открыл закон последовательности залегания осадочных пород.

<sup>5</sup> Там же, с. 11.

<sup>6</sup> Там же, с. 10. Ибн Сина также доказал некоторые теоремы, оставленные Евклидом без доказательства.

<sup>4</sup> Там же, с. 7.

дочных пород (через 500 лет его вновь открыл Н. Стено). В «Книге исцеления» мы читаем: «Каждый раз, как с отступлением моря обнажалась суша, глинозем ее затвердевал, образуя определенный слой; и теперь еще горы представляются иногда взору в виде нагромождения разных слоев. Поэтому похоже, что и сама глина, из которой они образовались, в свое время располагалась слоями: сначала откладывался один слой, затем в какое-то другое время образовывался и откладывался другой слой и так далее. Над каждым слоем отлагалось какое-то тело, чуждое его субстанции и образовывало прослойку, разделяющую этот слой от другого, а когда материя окаменела, то случалось так, что эта прослойка начинала дробиться и рассыпаться, высвобождаясь из-под соседних слоев»<sup>7</sup>. Кроме того, Ибн Сина высказал ряд передовых для своего времени идей относительно естественных причин землетрясений, путей и способов образования горных долин, ущелий и т. д.

Заметный след в истории мировой науки оставило его учение о механическом движении. Теоретически обобщив свои наблюдения и развив на новой эмпирической базе античную физику, ученый выдвинул идею о «майл» — некоем естественном стремлении к движению. Это стремление, по Ибн Сине, передается телу внешней силой и после прекращения ее действия сохраняется в теле и поддерживает его движение. Развитие этой идеи в трудах восточных и западных мыслителей (Абу-л Баракота, Битруджи, Ибн Рушда, Ибн Баджи, Фомы Аквинского, Петра Иоанна Оливи, Альберта Великого, Жана Бурида) привело к формированию концепции импетуса (последний в известном смысле эквивалентен понятию импульса), которая позднее послужила базой для формулирования Галилеем закона инерции.

Наиболее значительные открытия Ибн Сина сделал в области медицины — одной из двух (наряду с философией) излюбленных им областей исследования. Ей посвящено более 40 трудов, два из которых написаны на таджикском языке. Мы здесь лишь перечислим эти открытия<sup>8</sup>.



Осада города. Миниатюра исфаганского стиля. Середина XVII в.

Ибн Сина раскрыл физиологический механизм зрения; он выдвинул и обосновал гипотезу о существовании в воздухе и воде мельчайших живых организмов («зверьков») — возбудителей инфекционных заболеваний (эта гипотеза была экспериментально подтверждена спустя восемь столетий после изобретения микроскопа); за шесть веков до Т. Уиллиса Ибн Сина дал адекватное научное описание сахарного диабета; он является основоположником науки о старости (геронтологии), сформулировав при этом ряд физиолого-гигиенических рекомендаций для каждого возраста, не потерявших и поныне своего значения (физические упражнения, массаж, режимы питания и сна); внес существенный вклад в разработку вопросов психоневро-

<sup>7</sup> Ибн Сина. Об образовании гор и минералов. — Избранные произведения мыслителей стран Ближнего и Среднего Востока IX—XIV вв. М., 1961, с. 282.

<sup>8</sup>Этой области знания, которой занимался Ибн Сина, посвящена специальная статья Ю. Н. Нуралиева «Прославленный в веках врачеватель», публикуемая ниже.

логии, дав клиническую характеристику эпилепсии, менингита, параличей, меланхолии и т. д., указав причины возникновения этих болезней и пути их лечения и профилактики<sup>9</sup>.

## ФИЛОСОФСКОЕ НАСЛЕДИЕ

Единство мира таково, я утверждаю смело.

Ибн Сина

Ибн Сина по праву считается одним из классиков мировой философии. Созданная им система мысли, будучи закономерным звеном в восходящей цепи интеллектуального развития человечества, в свою очередь, послужила необходимой предпосылкой для последующего прогресса научно-философского знания. Философская мысль иранского и таджикского народов к началу процессов исламизации уже насчитывала несколько столетий и представляла собой многослойное идейное течение со сформировавшимся стилем мышления и давней письменной традицией. Последняя восходит к Авесте, древнейшие части которой, по современным оценкам, относятся к IX—VI вв. до н. э.

Авеста — не единственный источник философско-теологической мысли доисламской эпохи. Зороастрийская традиция представлена также в пехлевийской литературе, написанной на среднеперсидском языке.

Иными словами, зарождающаяся персо-таджикская научно-философская мысль опиралась не только на греческую мудрость, ставшую доступной благодаря интенсивным переводам и непосредственным контактам, но и на доисламскую философско-теологическую традицию.

Эта преемственность особенно бросается в глаза в метафизике Ибн Сины. Примером может служить идея об извечности мира. В современной историко-философской литературе обращение Ибн Сины к этой идее интерпретируется как прямое

заимствование у греков — Прокла (его космологические идеи стали известны в арабо-иранском культурном ареале из трактата Иоанна Филопона «О вечности мира») и Аристотеля (на Ближнем и Среднем Востоке хорошо знали его «Метафизику», «Физику» и «О небе»). Между тем идея извечности мира имела давнюю традицию и в интеллектуальной среде самих иранцев.

Так, согласно зарваизму (влиятельному идейному течению, относящемуся к авестийской традиции), исходным принципом бытия является беспредельное время. Последователи материалистического крыла этого учения, как сказано в одном из пехлевийских текстов, утверждали, что «бесконечное время — первый принцип этого мира и всех изменений; что все вещи материальны и что духовное не существует»<sup>10</sup>. Идейной наследницей зарваизмов была школа дахритов (от слов «дахр» — время), по словам средневекового ирано-таджикского философа и теолога Газали, «группа древнейших мыслителей, не признавших всеорганизующего, всеведущего и всемогущего творца и утверждавших, что мир всегда существовал так сам по себе и не имел творца»<sup>11</sup>.

Мировоззренческое значение концепции извечности мира в условиях идеологической реакции ислама было очень велико. Она была принципиально несовместима с коранической космогонией. О степени еретической направленности этой концепции можно судить по следующей обобщающей оценке Маймонида: «Только, если мир сотворен, есть бог, но если мир вечен, то бога нет!»<sup>12</sup> Недаром же учение Ибн Сины об извечности мира вызвало чрезвычайно резкие нападки мусульманской ортодоксии. Газали, например, в своем острополюемическом труде «Избавляющий от заблуждения», подытоживая свои критические замечания о философско-космологических учениях Ибн Сины и других восточных перипатетиков, прямо заключал: «Что-нибудь подобное не осмеливался еще утверждать ни один мусульманин»<sup>13</sup>.

<sup>9</sup> Таджикские медики, развивая основные положения психоневрологического учения Ибн Сины, дали описание ряда клинических разновидностей часто встречающегося синдрома помрачения сознания — делирия при возникновении его в рамках алкогольных психозов. Ими обоснован стереотип развития и психопатологические особенности алкогольного амейронда. См.: Гулямов М. Г. Психоневрологические возмущения Авиценны. — «Здравоохранение Таджикистана», 1977, № 3, с. 25.

<sup>10</sup> Цит. по: Zaehner R. S. The Dawn and Twilight of Zoroastrianism. N. Y., 1961, p. 197.

<sup>11</sup> Газали. Избавляющий от заблуждения. — Приложение к кн.: Григорьян С. Н. Из истории философии Средней Азии и Ирана VII—VIII вв. М., 1960, с. 221.

<sup>12</sup> Маймонид. Путеводитель колеблющихся. — Приложение к кн.: Григорьян С. Н. Ук. соч., с. 272.

<sup>13</sup> Антология мировой философии, т. I, ч. I. М., 1969, с. 748.



Газали знал, что говорил. Логико-философскую основу учения об извечности мира составлял материалистический принцип детерминизма. Ибн Сина строит всеобщую структуру причинно-следственных связей, которая охватывает собою действия самого бога! (В этом отношении он следует за зарванизмом. В рамках жесткодетерминистической системы последнего бог, как и люди, подчиняется судьбе.) Создание богом мира носило необходимый характер, стало быть, бог сам по себе не свободен, а значит и не всемогущ — таковы рассуждения Ибн Сины.

Более того, он пытается логически доказать, что божественное творение мира неосуществимо. Ибн Сина рассуждает от обратного: если бы божественное творение было возможно, это означало бы, что бог, как деятельная причина Вселенной, не был таковым до ее сотворения, а значит, свойство быть деятельной причиной не есть необходимое свойство, что не соответствует исходному допущению об абсолютной необходимости всех свойств божества. К тому же, если признать, что бог мог стать деятельной причиной, не будучи таковой перед сотворением Вселенной, то это будет означать, что он в сущности изменчив, что противоречит идее совершенства бога.

Другой краеугольный камень метафизики Ибн Сины — учение об эманации, рисующее картину возникновения мировой иерархии путем последовательного проявления (излияния) «чистого бытия», — тоже окрашено в антирелигиозные тона. Это учение по своему происхождению не имеет ничего общего с исламом, равно, как и с любой другой религией монотеистического толка; своими корнями оно уходит вглубь древнеиранской философско-теологической мысли (маздаизма). По своей сути и идейной направленности оно принципиально противоречит любой форме креационизма, утверждающего божественное творение мира из ничего.

В собственно философском отношении важно отметить, что концепция эманации содержит в себе зародыш идеи эволюции, к которой предрасположена вся система мысли Ибн Сины. Освобождая мир из-под опеки исламского бога, он непосредственно апеллирует к естественноисторическим закономерностям, управляющим природными процессами, вплотную подходит к формулировке принципа однородности Вселенной, а через него и к принципу материального единства мира.

Не будет преувеличением сказать,



Беседа дервиша, судьи и ученого. Миниатюра тебризского стиля. 1549 г.

что в гносеологических и социально-этических учениях Ибн Сины нашел отражение дух его времени. Теория разума и социальная утопия, в творческую разработку которых он внес существенный вклад, суть две ведущие, общественно значимые концепции, олицетворявшие собой возрожденческие устремления представляемой философии.

В просвещенных кругах тогдашнего европейского общества особую популярность приобрели социально-эстетические взгляды Ибн Сины и других представителей восточно-перипатетической школы, в которых отражались древнеиранские идеалы, в особенности авестийские и манихейские мотивы о «золотом веке». Именно благодаря историческому созвучию старых и новых идей, их гуманистическому пафосу, социальные утопии, разработанные Ибн Синой в его прозаических произведениях («Птица», «Хай ибн Якзан» и «Соломон и Абсол»), нашли широкий отклик и в классической персидско-таджикской поэзии — от Низами до Джами.



Поэт и тучный вельможа. Миниатюра казвинского стиля. 80-е гг. XVI в.

## МИРОВАЯ СЛАВА

Мне город мал любой с тех пор как  
стал велик.

Ибн Сина

«Восток есть Восток, Запад есть Запад, и никогда оба не сойдутся!» — эта мысль, брошенная когда-то Кипплингом, в наши дни может быть воспринята не иначе, как литературный штамп. Никто, конечно, не собирается отрицать наличие проблемы, связанной с известной духовной коллизией Востока и Запада, но в ее основе лежат причины культурно-исторического характера, а не факторы географического, этнического или иного плана, как это нередко считали.

Против широких обобщений кипплинговского типа восстает прежде всего сама история человечества. История культуры убедительно свидетельствует, что в действительности духовный прогресс общества совершался именно на пути культурного диалога Востока и Запада. Такой диалог, начавшийся еще в глубокой древности, в первую очередь шел в сфере науки и философии. Важно подчеркнуть, что этот духовный контакт, завязавшийся через континенты и столетия, осуществлялся именно в форме диалога, т. е. носил двусторонний характер.

Яркий тому пример — история становления и развития научно-философской мысли иранских народов.

Цивилизации древних иранцев — восточных (таджиков) и западных (персов) — вырастали на перекрестках Востока и Запада, в центрах пересечения военных, торговых и культурных дорог истории. Поэтому история их научно-философской мысли — это история синтеза разных культурных традиций, история творческого взаимодействия и духовного взаимообогащения различных народов и эпох. Проведенные историко-культурные исследования (в особенности в последние два десятилетия) показывают, что Авеста, в свою очередь, оказала заметное влияние на зарождающееся религиозно-философское мышление других народов, в том числе древних греков<sup>14</sup>. Последние восприняли и творчески освоили древнеиранское религиозно-философское учение (зороастризм) задолго до походов Александра Македонского в Иран и Среднюю Азию.

Территория древней Средней Азии и Ирана была не только местом скрещивания разных иноземных философских течений (аристотелизм, неоплатонизм и отчасти атомизм) и религиозно-мифологических систем (буддизм, несторианство), но и той духовной почвой, где, помимо зороастризма, выросли такие пестрые идейные течения, как манихейство и маздакизм. Последние же оказали еще более заметное влияние на идейные и социальные движения Запада.

В средние века греко-римская античность послужила одним из мощных куль-

<sup>14</sup> О степени этого идейного влияния можно судить по книге: Afnan R. M. Zoroaster's influence on Greek thought. N. Y., 1965, в которой автор подробно прослеживает восточные корни натурфилософских и этических учений первого поколения древнегреческих мыслителей. См. также: Рожанский И. Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М., 1979.

турно-исторических источников для развития научно-философской мысли арабских, иранских и тюркских народов. Последняя же, начиная с XII в., стала оказывать обратное воздействие на европейскую культуру<sup>15</sup>.

Среди ближневосточных мыслителей, с творчеством которых ознакомились европейцы, Ибн Сина выделялся особо. В числе первых отпечатанных в Европе книг (1473) был и его «Канон врачебной науки»; в последующем латинский перевод этой медицинской энциклопедии издавался неоднократно. О том, на какой научной высоте был «Канон» Ибн Сины, можно судить по такому факту: в медицинском справочнике, изданном в Италии в XV столетии, имя Авиценны встречается более 3000 раз! Для сравнения можно добавить, что такой авторитет античного знания, как Гиппократ, цитируется всего 140 раз.

Научный и практический интерес к «Канону» не угас в течение последующих 300 лет. В Йенском университете, например, вплоть до XVIII в. медицина преподавалась по книге Ибн Сины. Наглядным свидетельством популярности ее автора в эпоху европейского Возрождения могут служить слова Микеланджело: «Лучше ошибаться, поддерживая Галена и Авиценну, чем быть правым, поддерживая других».

Еще более значительно влияние философского наследия Ибн Сины. Встречающиеся в историко-философской литературе термины «авиценнистический аристотелизм» и «авиценнизированный августинизм» говорят сами за себя. Философское учение Ибн Сины нашло понимание и своеобразный отклик в интеллектуальной среде ряда европейских стран — Франции, Германии, Италии и Англии. Обоснованную Ибн Синой идею извечности мира развил Боэций Дакийский, его теории познания — Альберт Великий, метафизику — Дунс Скотт, политическую философию — Роджер Бэкон, а Фома Аквинский обратил особое внимание на различие Ибн Синой категорий сущности и существования.

Есть основание полагать, что Декарт при формулировке своего знаменитого тезиса «*cogito ergo sum*» (мыслью, значит существую) тоже отталкивается от филосо-

фии Ибн Сины, а Спиноза развил материалистические тенденции его пантеистической устремленной системы мысли.

О подлинном масштабе и глубине идейного влияния Ибн Сины на европейскую мысль можно судить по данным, собранным французским историком философии А. М. Гуашон. В результате тщательного анализа большого историко-философского материала она приходит к следующему выводу: «Неизвестно ни одной работы какого-либо мыслителя нашего (европейского. — А. Т.) средневековья, автор которой не определял бы своего отношения к философии Авиценны. Чем глубже мы изучаем учения (европейских мыслителей эпохи средневековья. — А. Т.), тем больше мы убеждаемся, что Авиценна был не только источником, из которого они исходили, но и одним из учителей их мышления. Он был в числе немногих высочайших авторитетов, к которым обращался Запад после св. Августина, Аристотеля и Бонавентуры. Вне всякого сомнения, его теории обсуждались и опровергались, но степень их влияния такова, что никто не может сказать, каковой могла бы быть тенденция западной мысли в средние века, не будь Авиценны»<sup>16</sup>.

Ф. Энгельс в числе духовных предпосылок западноевропейского Возрождения особо выделял то «жизнерадостное свободомыслие», которое перешло от арабоязычной философии и подготовило материализм XVIII в. В этом заслуга (наряду с другими ближне- и средневековыми мыслителями) и Ибн Сины.

Следует добавить, что истоки западного гуманистического движения и особенно идеи автономного разума также кроются в философии Ибн Сины и его последователей. На европейцев особое впечатление произвела выдвинутая Ибн Синой концепция активного интеллекта, который рассматривался им как единая духовная субстанция для всего человеческого рода. Эта концепция, основанная на принципе универсальной любви и тяготения ко всему прекрасному, нашедшему особенно яркое воплощение в классической персидско-таджикской поэзии, — концепция, полная гуманистического смысла и значения, и послужила той благодатной почвой, на которой вырос европейский ренессансный идеал самоценной и свободной личности.

<sup>15</sup> Об этом см.: Монтгомери У. У. Влияние ислама на средневековую Европу. М., 1976. В конце английского оригинала книги автор добавил список свыше 250 арабских и персидских слов, заимствованных европейскими языками в ходе продолжительного культурного взаимодействия.

<sup>16</sup> Goichon A. M. The Philosophy of Avicenna and Its Influence on Medieval Europe. New Delhi, 1969, p. 104.

## Прославленный в веках врачеватель

**Ю. Н. Нуралиев,**

доктор медицинских наук

Институт гастроэнтерологии АН Тадж.ССР

Душанбе

Труды Ибн Сины составляют целую эпоху в развитии мировой науки, и особенно медицины. В его пятитомном энциклопедическом произведении — «Канон врачебной науки» — собрано все дошедшее до XI в. медицинское наследие прошлого: древнеперсидское, древнегреческое, древнеримское, арабское, индийское, китайское, тибетское, труды среднеазиатских и ряда других ученых-медиков. В основу «Канона» положены результаты большого практического опыта и разработанные самим автором теоретические проблемы по самым разнообразным отраслям медицины. «Канон» был написан в период расцвета творческих сил ученого (1013—1020), в годы его скитаний из Хорезма в Гургандж, Рей и Хамадан.

В конце XII в. Гарард из Кремоны (1114—1187) сделал первый перевод «Канона» с арабского на латинский язык, благодаря чему европейские ученые впервые познакомились с достижениями народов Востока в области медицины, оказавшими огромное влияние на развитие западноевропейской науки. В 1473 г. «Канон» был напечатан на латинском языке, после чего за сравнительно короткий срок (20—30 лет) издавался еще 15 раз. К настоящему времени насчитывается около 40 изданий этой книги<sup>1</sup>. Русский перевод «Канона», полностью осуществленный в 1961 г., сделал эту книгу достоянием научной общественности нашей страны.

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕДИЦИНЫ

Ибн Сина так пишет о медицине: «Я утверждаю — медицина — наука, познающая состояние тела человека, поскольку оно здорово или утратит здоровье, для того чтобы сохранить здоровье и вернуть его, если оно утрачено. Когда говорят, что в медицине есть нечто теоретическое и нечто практическое, то не следует думать, как воображают многие исследователи дан-

ного процесса, будто этим хотят сказать, что одна часть медицины — познание, а другая часть — действие. Напротив, тебе должно знать, что под этим подразумевается нечто другое, а именно: каждая из двух частей медицины не что иное, как наука, но одна из них — это наука об основах медицины, а другая — наука о том, как ее применять. Первой из этих частей присвоено звание науки, или теории, а второй — практики. Под теорией медицины мы понимаем ту часть, которая учит только основным правилам и не входит в изложение сущности каких-либо процедур. Медицина рассматривает тело человека, поскольку оно здорово или утрачивает здоровье»<sup>2</sup>.

По мнению ученого, чтобы врач умело и грамотно ставил диагноз, он должен хорошо знать, как протекают физиологические функции организма в норме и в процессе различных заболеваний или же как они протекают под действием различных климато-географических и других факторов. Чтобы знать физиологию, нужно прежде всего знать анатомию человека.

Ученый-энциклопедист понимал важность подобной взаимосвязи, поэтому в «Каноне» и в других больших произведениях он прежде всего подробно освещал вопросы физиологии и анатомии организма.

В основном Ибн Сина опирается на анатомические описания Гиппократ (460—377 гг. до н. э.) и особенно Галена (129—201 гг. н. э.). Однако его не всегда удовлетворяли сведения, отраженные в произведениях предшественников: он делает свои открытия в области анатомии. Так, Гален впервые описывает нервы, идущие от головного мозга к органам тела. Ибн Сина подтверждает его взгляды и, в свою очередь, описывает новые семь пар нервов, идущих от головного мозга к внутренним органам. Он точно объясняет механизм зрительного процесса, правильно описывает собственно мышцы глаза, строение

<sup>1</sup> Терновский В. Н. Ибн Сина. М., 1961, с. 42.

<sup>2</sup> Абуали ибн Сино. Канон врачебной науки. Кн. 1. Ташкент, 1954, с. 2—5.

двустворчатого, трехстворчатого, аортального клапанов.

Ибн Сина верно ставил вопрос об активном участии нервной системы в процессе пищеварения и печени в обмене веществ. «Желудок должен обладать ощущением, — писал он, — а ощущение существует только при помощи нервного органа и может совершать пищеварение, которое происходит только при помощи мясистого органа. И вот на каждую из этих функций отводится [особый] слой для ощущения и мясистый слой для пищеварения. При этом внутренний слой создан нервным, а внешний мясистым»<sup>3</sup>.

### О ТЕОРИИ МИЗАДЖА

Основу физиологии Ибн Сины составляет распространенное в древности учение о мизадже, т. е. о натуре, или темпераментах. В соответствии с ним он рассматривает и характеризует физиологическую функцию и особенности организма здоровых людей, а также различные состояния организма больного человека, действие лекарств, пользу пищевых продуктов и других факторов. Учение о мизадже считается древнейшей гуморальной теорией. Ее основы были заложены Гиппократом и всесторонне развиты Галеном.

На протяжении более полутора тысяч лет теория мизаджа была на вооружении врачей Запада и Востока и удовлетворяла требованиям теоретической и практической медицины. Однако наиболее опытные медики часто сталкивались с фактами, противоречащими этой теории. Поэтому многие из них стремились дополнить ее новыми положениями. К их числу относился и Ибн Сина.

Мизадж, согласно определению Ибн Сины, — это такое состояние, когда основные соки организма образуются и пропорционально смешиваются между собой в количестве, необходимом для данного организма. Сущность теории натур складывается из совместного сочетания ряда эндогенных (внутренних) и экзогенных (природных), в том числе и климато-географических факторов. К основным факторам внешней среды относятся 4 элемента: огонь, воздух, вода и земля. Эти элементы в «Каноне» распределены на 2 группы: 1. Тяжелые — вода и земля, полезные для бытия органов и пребывания их в покое. 2. Легкие — огонь и воздух, полезные

для бытия пневмы и пребывания ее в движении, а также для приведения органов в движение.

Элементы обладают определенными физическими свойствами: земля — холодная и сухая; вода — холодная и влажная; воздух — горячий и влажный, а естество огня — горячее и сухое. К другому фактору теории натуры относятся времена года: весна — горячая и влажная, лето — горячее и сухое; осень — холодная и сухая; зима — холодная и мокрая. Такой же закономерности подчиняются и четыре стороны света.

К внутренним факторам, составляющим основу теории натуры, относятся 4 основных жидкости, или 4 сока организма: кровь, слизь, желчь желтая и желчь черная, от которых зависит характер натуры, а в соответствии с учением Гиппократа — конституционная принадлежность людей.

Ибн Сина кроме уравновешенной (нормальной) натуры различает 8 видов неуравновешенной (измененной) натуры. Из них 4 с преобладанием одного элемента (простые натуры): горячая, холодная, сухая и влажная и 4 с проявлением двух элементов (сложные): тепла и сухости, тепла и влаги, холода и сухости, холода и влаги. Каждый вид натуры разделяется еще на 4 степени и 3 ступени. Говоря о характере мизаджа у отдельных лиц, Ибн Сина подчеркивает, что каждый человек имеет определенную конституцию и индивидуальные особенности.

Врач, принимая больного, на основании анамнеза, внешнего осмотра, ощупывания определял изменения со стороны кожных и слизистых покровов, нервной системы и деятельности жизненно важных внутренних органов. Затем на основании степени выраженности этих изменений, отклонения от условных норм, он определял характер изменения всей натуры. Для древних врачей это было так же важно, как установление точного диагноза. В последующем тактика врача чаще всего заключалась в назначении такого лечения, благодаря которому должна была восстановиться измененная натура больного. Это достигалось путем назначения соответствующей диеты, действующих на причину болезни или же лишь симптоматических лекарств, физиотерапевтических процедур и даже лечебной гимнастики. Лекарства и пищевые продукты назначались в зависимости от их собственных натур, характер которых определялся по показателям таких их свойств, как вкус, запах, цвет, конси-

<sup>3</sup> Там же, с. 43—44.



стенция и др. Лекарство при этом нужно было выбрать с качеством, противоположным болезнью. Разумеется, теперь такие назначения не всегда можно научно обосновать. Однако в отдельных случаях они совпадают с практическими взглядами современной медицины.

Это прежде всего касается принципа назначения диеты и лечения больных с хроническим гастритом. Древняя медицина не знала о наличии соляной кислоты в составе желудочного сока. О состоянии секреторной функции желудка судили только по косвенным показателям, на основании которых врач определял изменения на почве гастрита в натуре больного. В одном случае она становилась более холодной и влажной, а в другом — более горячей и сухой. Если это интерпретировать с точки зрения современной медицины, то гастрит с холодной влажной натурой соответствует гиперацидному, а с горячей и сухой натурой — гипоацидному гастриту.

Перед древней медициной стояла, например, такая задача: какому больному можно назначить лимон или соленые огурцы? В соответствии с параметрами мизаджа, оба эти продукты относятся к категории холодно-влажной природы, поэтому древняя медицина рекомендует их в умеренном количестве только для больных гастритом, обладающих горячей и сухой натурой.

Современная медицина также придерживается принцип назначения острых продуктов, в том числе соленых огурцов и лимона, больным с гипоацидным гастритом и не рекомендует их больным гастритом гиперацидным.

В современной медицине принято переводить понятие мизаджа натурой, или темпераментом, что, в свою очередь, трактуется как конституционные типы организма. Внешне это действительно вроде бы одно и то же. Но при более детальном анализе учение мизаджа — шире и глубже. Эта теория является весьма сложной системой и тесно связана с гуморальной и нервно-эндокринной регуляцией организма в целом, включая такие его важные функции, как процесс реактивности, защитно-приспособительные и иммунологические реакции. Современной медициной установлено, что нейроэндокринная регуляция и особенно защитные и иммунологические реакции, а также процесс реактивности организма по-разному протекают у детей, взрослых и пожилых лиц. Они видоизменяются под действием эндогенных и экзогенных факторов, в том

числе и под воздействием лекарственных веществ. Древние медики не знали этих общих физиологических закономерностей, однако они на основании опыта и наблюдений установили, что характер мизаджа не является постоянным и в процессе жизни человека изменяется под действием различных неблагоприятных, а также болезнетворных факторов. По характеру мизаджа прогнозировалась предрасположенность людей к определенным группам заболеваний. Поэтому человеку с целью профилактики, дабы исключить возможность предполагаемой болезни, рекомендовали соответствующую диету, режим, включая изменения места жительства и климата. Подобная тактика древней медицины сохраняет свою актуальность и поныне. Поэтому перед современными учеными медиками и биологами ставится задача — рассмотреть внутренние механизмы мизаджа с точки зрения биохимии, физиологии, гематологии, морфологии, генетики. Успешное решение этой проблемы, возможно, позволит по характеру мизаджа определить предрасположенность человека к определенным группам болезней, прежде всего обменного и генетического характера, и разработать научный метод профилактики и лечения этих заболеваний.

## ЗАКОНЫ СОХРАНЕНИЯ ЗДОРОВЬЯ

Болезни легче предупредить, чем вылечить. Великий мыслитель прекрасно знал эту истину. Поэтому он, как опытный врач, почти во всех своих произведениях особое внимание уделял вопросам профилактики болезней. К канонам (законам), имеющим первостепенное значение, Ибн Сина относил занятия физическими упражнениями, регулярное соблюдение водно-пищевого режима и распорядок дня.

«...Самое главное в режиме сохранения здоровья,— писал Ибн Сина,— есть занятие физическими упражнениями, а затем уже режим пищи и режим сна... Умеренно и своевременно занимающийся [физическими упражнениями человек] не нуждается ни в каком лечении, направленном на устранение болезней... Физические упражнения при правильном соблюдении других режимов являются наиболее сильными факторами, предотвращающими скопление зачатков переполнения, вместе с тем они повышают природженную теплоту и придают телу легкость..., укрепляют суставы и сухожилия, и в результате усиливается способность к действию и способность к испытанию действия на себе, тело



Ибн Сина с больными. Фрагмент миниатюры XVIII в.

приучится принимать пищу вследствие уменьшения скопления излишков... Бросивший заниматься физическими упражнениями часто чахнет, ибо сила его органов слабеет вследствие отказа от движения, привлекающего [в органы] прирожденную пневму, являющуюся для каждого органа оружием жизни»<sup>4</sup>.

В «Каноне», «Поэме по медицине» Ибн Сина описывает виды (более 30) спорта, распределяя их на малые виды, большие, очень сильные и слабые, быстрые и медленные, вялые и другие. В сохранившихся дневниках ученого отсутствуют какие-либо сведения о его собственных занятиях спортом. Однако его ближайший ученик Джурджани свидетельствует, что «Шейх был очень крепок»... «натура Шейха была горячей». Об этом говорит и сам Ибн Сина, отвечая на вопрос ученика, почему он постоянно себя утомляет и не бережет: «Мой бог подарил мне хорошую физическую и умственную работоспособность»<sup>5</sup>.

Но, по мнению Ибн Сины, физические упражнения могут стать источником здоровья только в том случае, если спортсмен соблюдает к тому же правила личной гигиены. «При начале физических упражнений, — учит он, — тело должно быть чистым..., вчерашняя пища уже должна

быть усвоена желудком, печени и сосудами и уже должно подходить время следующего принятия пищи..., если состояние [человека] нуждается в сильных упражнениях, то желательно, чтобы его желудок был не очень пустым, а зимой в нем находилось бы немного пищи тяжелой, а летом легкой. Движения [при физических упражнениях] до еды не должны быть слабыми; точно так же движения после еды должны быть только легкими и плавными... Занимающийся физическими упражнениями сначала должен вытряхнуть излишки из кишок и мочевого пузыря, а потом уже заниматься упражнениями..., вредно пить [воду] натошак, после физических упражнений, и в особенности после бани на пустой желудок»<sup>6</sup>.

Ибн Сина, как врач и психолог, особое внимание уделяет психологической подготовке и выработке сильной воли и духа для лиц, занимающихся физкультурой. Жизнь подтвердила эти слова ученого. Любой тренер мира не допустит своего воспитанника к участию в соревнованиях только по показателям спортивного мастерства. Психологическая подготовка спортсмена уже основательно вошла в состав комплексных и обязательных программ подготовки будущих чемпионов.

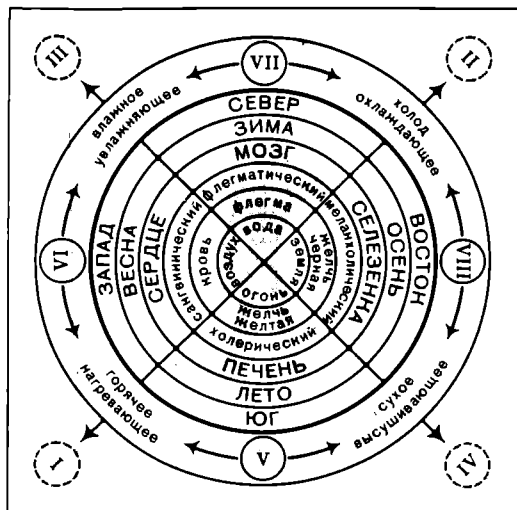
Для сохранения здоровья необходимо также, по Ибн Сине, соблюдение режима питания, сна и бодрствования. «Следует есть только с аппетитом, — пишет он, — а также не сдерживать аппетита, когда он

<sup>4</sup> Там же, с. 313—316.

<sup>5</sup> Жизнеописание Абуали ибни Сино. — «Здравоохранение Таджикистана», 1977, № 3, с. 5—13.

<sup>6</sup> Абуали ибн Сино. Канон врачебной науки, с. 317—318.

разгорается... В результате терпения голода желудок наполняется плохими... соками... Зимой следует есть горячую пищу, а летом холодную и теплую... Знай, что нет ничего хуже, чем переедать в урожайный год, а потом сидеть голодным в неурожайный, или же наоборот, причем последнее хуже. Мы видели людей, стесненных в питании в голодный год, а когда питание стало обильным, они объелись и умерли... Зимой не следует принимать малопитательную пищу, вроде овощей, а надо есть более питательные злаки, а



- — простые мизаджи  
 ○ — сложные мизаджи

Схематическое изображение гуморальной теории мизаджа (натуры).

также более плотную [пищу]. А летом наоборот... [Количество] съеденной пищи считается умеренным, если [после еды] не увеличивается пульс и не укорачивается дыхание... Для принятия пищи имеется определенный порядок, которого должен придерживаться каждый берегущий свое здоровье... При еде досыта лучше всего в первый день есть — раз, а на другой день — два раза, утром и вечером. При этом нужно строго придерживаться [привычки]. Если человек, привыкший есть два раза в день, станет [есть] один раз, то его силы ослабнут, потому он должен есть два раза... Тучным людям не следует есть сразу же после бани, а следует выждать и немного поспать. Лучше таким людям есть один раз в день. Нежелательно, чтобы

[человек] спал с переполненным [желудком] едой. Нужно всячески остерегаться резких движений после еды.

...Не следует выпивать много воды... Если человека мучает жажда, пусть он выпьет немного холодной воды небольшими глотками...

Подавленное душевное состояние, а также телесные движения препятствуют пищеварению.

«Пить воду следует не залпом, а глотками..., — продолжает он. — Она в организме проводит питательные вещества и приспособляет их состояние для [переваривания]..., вода есть вещество, способствующее течению питательных веществ и их размягчению и сопутствует им, когда они проходят к сосудам и устремляются к проходам. Без того рода помощи нельзя обойтись во всем процессе питания»<sup>7</sup>.

«От разнообразной воды путешественник может заболеть разными болезнями [гораздо скорее], чем от разнообразной пищи. Поэтому необходимо на это обратить внимание и заняться мерами исправления воды. К числу таких мер относится хорошее фильтрование, основательное пропускание через пористую глину и кипячение... Вследствие этого вода очищается, и вещество чистой воды отделяется от примесей к ней.

Очень мутную воду надо заесть чесноком. Йеменские квасцы [алюмино-кальевые квасцы] относятся к числу очищающих [такую воду]. А лук является одним из средств, устраняющих испорченность разной воды... также и чеснок». При отсутствии перечисленных средств воду можно очистить следующим образом: «Из шерсти изготовляют фитиль, и один конец его опускается в наполненный водою сосуд, а другой в чистую посуду, в результате чистая вода будет капать в пустой сосуд. Это является одним из лучших видов фильтрования воды, в особенности если оно продлевается несколько раз»<sup>8</sup>.

Действие алкоголя Ибн Сина связывает с типом нервной системы. «Быстрое опьянение происходит от слабости мозга. Человек со слабым мозгом должен пить [вино] только в небольшом количестве, разбавив его водой. Постоянное опьянение вредно, оно портит натуру печени и мозга, ослабляет нервы, вызывает заболевание нервов, сакту (шок) и внезапную смерть. Некоторые считают, что опьянение бывает полезным, если оно случается

<sup>7</sup> Там же, с. 322, 324, 327.

<sup>8</sup> Там же, с. 333—334, 371—372.

раз в месяц, ибо оно облегчает душевные силы, ободряет, гонит мочу и пот и устраняет излишки. Питье вина детьми похоже на добавление огня к огню или [добавлению к огню] сухих дров. Старикам можно давать столько, сколько он сможет вынести, а по отношению к молодым людям надо придерживаться умеренности»<sup>9</sup>.

Здоровым людям необходимо также обращать должное внимание на сон. Он должен быть умеренным по времени, а не чрезмерным. «Спать на пустой желудок нехорошо, это ослабляет силу. Также вредно [спать] с переполненным желудком [до спуска] пищи из верхней части живота, ибо такой [сон] будет не глубоким, а беспокойным.

Самым лучшим положением во [время] сна считается, когда сон начинается [с лежания] на правой стороне, а затем происходит поворот на левую. Что касается [сна] на спине, то это дурной сон, ибо он располагает [человека] к таким плохим болезням, как сакта [коллапс], паралич и ночные кошмары... На спине спят обычно [люди], ослабевшие от болезни, ибо у них слабеют мышцы и органы, отчего один бок не может нести тяжести другого, и [люди] спешат лечь на спину, так как спина бывает сильнее боков. Такие люди спят также с открытым ртом из-за слабости мышц, сжимающих обе челюсти»<sup>10</sup>.

Среди профилактических факторов, рекомендуемых древней медициной с целью сохранения здоровья человека, видное место занимала тактика врача, направленная на усиление функции пор, деятельности кишечника, мочевыделительных и желчевыводящих систем, дыхательных путей, слюнных, потовых и сальных желез. «Тот, кто бережет здоровье, — подчеркивает Ибн Сина, — должен заботиться об опорожнении слабительными средствами, о мочеиспускании посредством мочегонного, потовыделения посредством потогонного и выделении слизи и слюны изо рта посредством отхаркивающего и слюногонного средства...»<sup>11</sup>.

Древняя медицина в отличие от современной рекомендовала здоровым лицам периодически использовать слабительные, мочегонные и, особенно, потогонные лекарства, обязательно соблюдая ряд важнейших правил. Цель назначения слабительных заключалась в максималь-

ном очищении кишечника и подготовке почвы для последующей нормализации моторной и секреторной его деятельности. Особенно широко применялись потогонные средства, которые назначались с целью максимального выведения из организма шлаков, в том числе солей и воды. При этом, с одной стороны, достигалось уменьшение солей в организме, в том числе в суставах, а с другой — облегчалась функция почек.

Выведение шлаков через пот предупреждало возникновение таких болезней, патогенез которых связан с накоплением солей в суставах (пеллагра, подагра и др.). Подобное профилактическое мероприятие проводилось потому, что люди в те времена мало потребляли соленых (фрукты, овощи, рыба и др.) и почти не употребляли консервированных продуктов. Ныне медицина почти не прибегает к применению потогонных лекарств, хотя потребление соленых и консервированных продуктов возросло. Возможно, данная ошибка и является причиной распространения заболеваний, связанных с накоплением солей в организме.

Ведь в результате действия потогонных средств организм не только очищается от шлаков и токсических продуктов. Параллельно — в результате выделения пота — резко повышается процесс теплоотдачи кожных желез. При лихорадках данный эффект очень полезен: он защищает организм больного от губительного воздействия гипертермии. Древние медики не знали тонких механизмов образования пота и кожного сала, но они прекрасно знали, что своевременное назначение потогонных средств эффективно снимает мышечные боли, связанные с физическим утомлением. А после того как у больного возникает повышенное потоотделение, это почти всегда сопровождается улучшением его общего состояния.

## ПРИОРИТЕТ И НОВАТОРСТВО В ОБЛАСТИ ПРАКТИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ

В медицинских произведениях Ибн Сины есть подробные описания клиники диабета, менингита, плеврита, пневмонии, перитонита, язвенной болезни, малярии, бешенства, заболеваний сердца, гельминтозов и ряда других заболеваний, в том числе онкологических и нервно-психических, которые свидетельствуют о его четком, новаторском врачебном мышлении. Он разработал способ непосредственного вправления плеча при вывихе, способ

<sup>9</sup> Там же, с. 334—336.

<sup>10</sup> Там же, с. 338—339.

<sup>11</sup> Там же, с. 340.

зашивания ран (кожно-мышечный матрасный и непрерывный матрасный восьмиобразный швы и др.).

По поводу тактики хирурга при оперативном лечении рака Ибн Сина пишет: «Иногда небольшой рак поддается иссечению, а если рак можно чем-нибудь уничтожить, то его уничтожают только сильным коренным иссечением; распространяющиеся на окружающие [ткани] опухоли вырезают и извлекают все питающие [рак] сосуды, чтобы не осталось ни одного, причем после этого должно вытечь много крови... Однако иссечение рака в большинстве случаев только ухудшает дело... Иногда после иссечения требуется еще прижигание, а прижигание нередко представляет большую опасность, особенно когда рак находится возле главенствующих (мозг, сердце, печень) драгоценных органов»<sup>12</sup>. Здесь Ибн Сина предупреждает об опасности, возникающей от позднего вмешательства при метастазировании рака.

При гангрене Ибн Сина рекомендует обязательную ампутацию конечностей. Его описания физических свойств и макроскопических изменений мокроты, слюны, пота, мочи и кала можно назвать первыми визуальными лабораторными исследованиями, которые он широко рекомендует при диагностике ряда заболеваний, особенно терапевтических и инфекционных.

Ибн Сина, умудренный жизненным опытом, прекрасно знал, что достижения медицины зависят, главным образом, от точности диагностики, назначения рационального лечения. Поэтому он особое внимание уделяет вопросам фармакологии. Любая книга, написанная Ибн Синой, содержит отдельные главы, посвященные вопросам общей или частной фармакологии лекарственных средств, которые в то время широко применялись в разных восточных странах и у разных народов. К произведениям, которые целиком посвящены вопросам лекарствоведения, относятся первая и вторая книги «Канона», «Фармакология», «Сборник рецептов», «О сердечных лекарствах» и т. д.

В «Каноне» дана характеристика около 2000 простых и сложных лекарств: в трактате «О сердечных лекарствах» — 65 простых и около 10 сложных, а в «Сборнике рецептов» — 639 простых и 28 сложных лекарств, более 80 процентов которых растительного происхождения.

В настоящее время только в нашей стране более 50 лекарственных средств,

описанных Ибн Синой, вошли в «Государственную фармакопею СССР»<sup>13</sup>. Многие из описанных Ибн Синой лекарственных растений произрастают на территории Таджикистана, в их поисках активно помогают нам местные табибы («народные врачеватели»). Примечательно, что большинство этих растений и поныне сохраняет свои средневековые названия в современном таджикском языке. Например, Ибн Сина в «Сборнике рецептов» в качестве средств, повышающих аппетит, назначает отвар из семян зиры (*bunium persicum*). С этой же целью семена зиры широко применяются в народной медицине Таджикистана. Кроме того, местные жители добавляют зиру в качестве приправы к плову и другим жирным и трудно перевариваемым продуктам.

Нами с помощью современных фармакологических методов установлено, что отвар из семян зиры вызывает повышение секреции желудочного сока и всех его компонентов — соляной кислоты, пепсина, пепсиногена и гастромукопротеидов<sup>14</sup>. Под действием зиры повышается резистентность слизистой желудка к раздражающему действию аспирина, спирта и других раздражителей. Сокогонный эффект зиры возникает через 15—20 мин после приема отвара и продолжается в течение 2,5—3 ч, что является вполне достаточным для полного завершения внутрижелудочного переваривания пищи.

Из применяемых в настоящее время средств стимуляции желудочной секреции (искусственный и натуральный желудочный сок, гистамин, капустный сок и другие вещества) ни один препарат по полноте и продолжительности эффекта не может сравниться с отваром зиры.

Таким образом, даже беглое знакомство с наследием Ибн Сины рисует нам ученого с широчайшим кругозором, постоянно ощущавшего пульс времени.

Изучение и научный анализ его медицинского наследия в соответствии с достижениями современной науки может поставить богатейший опыт великого врачевателя на службу современному человеку.

<sup>13</sup> Государственная фармакопея СССР. М., 1968.

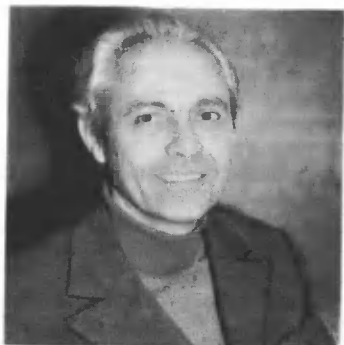
<sup>14</sup> Нуралиев Ю. Н. — «Известия АН Тадж. ССР, сер. биол.», 1979, № 4.

<sup>12</sup> Там же, кн. IV, с. 294—297.



## Метастабильный металл

М. И. Каганов, С. М. Чудинов



Моисей Исаакович Каганов, доктор физико-математических наук, профессор кафедры квантовой теории физического факультета МГУ, старший научный сотрудник теоретического отдела Института физических проблем АН СССР. Основные работы — в области квантовой теории твердого тела (физика металлов, физика магнетизма) и физики низких температур. Автор ряда научно-популярных книг и статей в «Природе».



Сергей Михайлович Чудинов, доктор физико-математических наук, доцент кафедры низких температур физического факультета МГУ. Область научных интересов — электронные свойства полуметаллов и полупроводников в экстремальных условиях.

Атомы и электроны кристаллов существуют в обычном пространстве, перемещаясь из одной его точки в другую по законам квантовой механики. Но, оказалось, что «жизнь» электронов металла во всех увлекательных подробностях удобнее описывать, используя импульсное пространство — пространство, точка в котором изображает импульс электрона  $\vec{p}$ . Электроны в таком пространстве занимают определенную область, ограниченную поверхностью, которую называют поверхностью Ферми<sup>1</sup>.

Все, что происходит с электронами проводимости (столкновения, движение по фазовым траекториям и т. п.), разыгрывается на поверхности Ферми или в ее непосредственной окрестности. Отличие свойств одного металла от другого — следствие различия их поверхностей Ферми. Поверхность Ферми стабильна — у железа, золота, вольфрама и т. д. она всегда одна и та же, какой бы образец мы ни взяли, когда бы ни произвели исследование.

И все же поверхность Ферми металла можно изменить. Для этого надо воздействовать на кристалл, которому она принадлежит. И изменение это может быть «спокойным», пропорциональным воздействию, а может быть и «бурным» — при

<sup>1</sup> Подробнее см.: Каганов М. И., Филатов А. П. Поверхность Ферми. — «Природа», 1969, № 3.

фазовом переходе, когда перестраивается кристаллическая решетка, а с ней и поверхность Ферми. Фазовые переходы чем-то напоминают геологические катаклизмы, только происходящие в микромире.

В твердых телах быстрее всех атомных частиц движутся электроны; их скорость в тысячи раз превышает скорость звука. Расстояние между соседними атомами электроны проходят за  $10^{-16}$  с. Что бы ни происходило в кристалле, электроны отзовутся первыми и мгновенно подстроятся к новой обстановке. (Су-

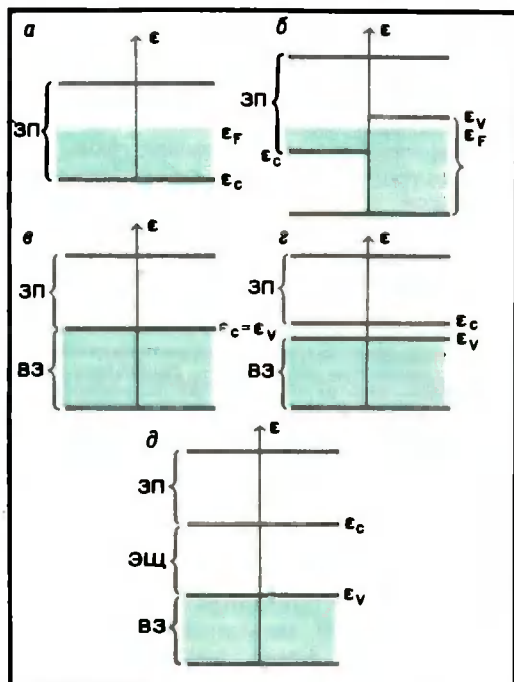


Схема электронной зонной структуры металлов (а), полуметаллов (б), бесщелевых полупроводников (в), полупроводников (г) и диэлектриков (д). Их свойства определяются заполнением разрешенных состояний (зон) электронами. Разрешенные состояния показаны цветом;  $\epsilon_F$  — граница зоны заполнения в металлах и полуметаллах (уровень Ферми);  $\epsilon_V$  — максимальное значение энергии в валентной зоне (ВЗ);  $\epsilon_C$  — минимальное значение энергии в зоне проводимости (ЗП). В металлах зона проводимости лишь частично заполнена электронами; в полуметаллах — зона проводимости и валентная зона частично перекрываются, в бесщелевых полупроводниках — они примыкают друг к другу. В полупроводниках и диэлектриках существует энергетическая щель (ЭЩ) между зоной проводимости и валентной зоной (только у полупроводников она невелика).

хим, но четким языком науки: время электронной релаксации  $\tau_e$  значительно меньше времени релаксации атомов кристаллической решетки. По порядку величины  $\tau_e \approx 10^{-14} - 10^{-8}$  с.) Конечно, современная электроника позволяет уловить эти бесконечно короткие промежутки времени и зафиксировать процесс электронной релаксации. Зафиксировать приборами, изобразить в виде кривых и наборов чисел.

Мы расскажем об электронных процессах, длящихся не доли секунды, не минуты, а часы, когда поверхность Ферми сжимается и разбухает прямо на глазах у физиков-экспериментаторов. Такие электронные процессы можно наблюдать, не прибегая ни к замедлению, ни к ускорению хода времени — это тот редкий случай, когда они идут в удобном для нашего непосредственного восприятия темпе. Именно это обстоятельство и побудило авторов взяться за перо и рассказать об удивительном явлении, происходящем при некоторых условиях в металлах, — о медленной электронной релаксации.

Если классифицировать проводники по их зонной структуре, то среди промежуточных форм — полупроводников и полуметаллов — должен существовать и бесщелевой полупроводник — истинная граница между металлами и диэлектриками. Бесщелевые полупроводники много лет привлекают внимание и теоретиков, и экспериментаторов. Интерес поддерживается и манящими техническими приложениями (но это отдельная тема) и тем, что физикос всегда интересуют уникальные ситуации, предельные случаи.

У сплава теллурида свинца и теллурида олова<sup>2</sup>  $(\text{PbTe})_{0,65}(\text{SnTe})_{0,35}$  энергетическая щель между валентной зоной и зоной проводимости равна нулю. Отсюда повышенный интерес к тройным системам с общей формулой  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  ( $0 < x < 1$ ). Попытки понизить в таких сплавах электронную концентрацию путем введения различных примесей — доноров, поставляющих электроны, или акцепторов, увеличивающих число дырок, — привели к открытию необычного поведения в этих сплавах примесей элементов III группы таблицы Менделеева. Собственно, об этом

<sup>2</sup> Дробные индексы означают, что в сплаве 65% PbTe и 35% SnTe. Если содержание Pb в сплаве —  $x$ , то содержание Sn —  $(1-x)$ , где  $0 < x < 1$ . О таком сплаве говорят, что это сплав с правильным стехиометрическим соотношением.

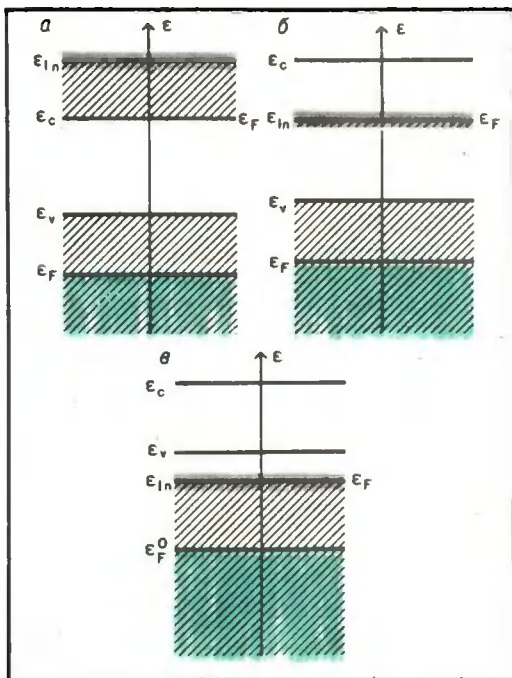
и будет наш рассказ. Но, прежде чем приступить к нему, еще одно, последнее отступление.

Может показаться странным, что, начав с металлов, свойства которых определяются поверхностью Ферми, мы почему-то перешли к полупроводникам. Дело в том, что полупроводники с небольшой примесью металлов (о которых в дальнейшем будет идти речь) при низких температурах в некотором смысле напоминают металлы: при уменьшении температуры до абсолютного нуля их проводимость не стремится к нулю, а все носители тока — электроны и дырки — вырождены, т. е. расположены внутри поверхности Ферми. Основное отличие вырожденных полупроводников от металлов в том, что в полупроводниках сравнительно немного электронов проводимости. Это позволяет заметно изменять их число (а также вид, форму и размеры поверхности Ферми) путем сравнительно небольших воздействий: внедрением примеси, наложением магнитного поля. В интересующих нас теллуридах число носителей тока в зависимости от стехиометрического соотношения элементов в них (т. е. от соотношения между числом атомов  $\text{Te}$  и металла) и от их чистоты колеблется от  $10^{16} \text{ см}^{-3}$  до  $10^{19} \text{ см}^{-3}$ . Для сравнения: в обычных металлах число электронов  $\sim 10^{22} \text{ см}^{-3}$ .

#### ИНДИЙ: ДОНОР ИЛИ АКЦЕПТОР?

Для того чтобы ввести индий ( $\text{In}$ ) в монокристалл  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$ , последний отжигают в парах  $\text{InTe}$  при температуре ниже точки плавления. Время отжига определяет количество примеси. Оказалось,  $\text{In}$  может играть роль и донора и акцептора: при  $x < 0,22$   $\text{In}$  — донор, при  $x > 0,28$  — акцептор; в первом случае проводимость при низких температурах обусловлена электронами, во втором — дырками. Но самое удивительное заключается в том, что в сплавах с  $0,22 < x < 0,28$  введение  $\text{In}$  приводит к полному исчезновению нетепловых носителей тока. Сплав в этом случае ведет себя как идеальный беспримесный (собственный) полупроводник. Правда, для исчезновения носителей тока необходимо, чтобы концентрация атомов  $\text{In}$  превосходила концентрацию дырок в исходном сплаве ( $N_{\text{In}} > N_i$ ). При выполнении этого условия свойства сплавов с примесью  $\text{In}$  вообще перестают зависеть от количества внедренных атомов  $\text{In}$ , а определяются только значениями па-

раметра  $x$ . Для описания этих свойств примеси  $\text{In}$  достаточно предположить<sup>3</sup>, что положение энергетического уровня валентных электронов в атоме индия различно в сплавах с разными значениями параметра  $x$ , причем даже в тех случаях, когда уровень попадает в разрешенную зону (и это происходит, если  $x < 0,22$  или  $x > 0,28$ ), электроны, которые не могут понизить свою энергию из-за того, что все места с более низкой энергией заняты, не смешиваются с электронами из зоны проводимости, а остаются локали-



Схематическое изображение электронной структуры вблизи границ зоны проводимости и валентной зоны сплава  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  с примесью  $\text{In}$  при  $x < 0,22$  (а);  $0,22 < x < 0,28$  (б); и  $x > 0,28$  (в). Так как число атомов во всех случаях больше числа свободных состояний, расположенных под примесным уровнем  $E_{\text{In}}$ , то уровень Ферми совпадает со значением  $E_{\text{In}}$ . Заполненные состояния в зонах заштрихованы. Уровень  $E_F^0$  отмечает границу заполнения зон в отсутствие примеси.

зованными вблизи притягивающего их иона  $\text{In}^+$ . При этом они не принимают участия в проводимости. Эта простая энергетическая схема полностью описывает пе-

<sup>3</sup> Кайданов В. И., Мельник Р. Б., Черник И. Л., «Физика и техника полупроводников», 1973, т. 7, с. 759.

речисленные выше свойства. Подчеркнем, что индий всегда привносит в полупроводник только электроны; иногда, правда, (при  $x > 0,28$ ) они не попадают в зону проводимости, а рекомбинируют с дырками исходного сплава.

Предположение, что электроны, оставшиеся у атома  $\text{In}$ , т. е. на примесном уровне, возникшем в результате введения  $\text{In}$  в сплав, действительно локализованы вблизи иона  $\text{In}^+$ , очень важно. Оно означает, что те из внедренных атомов  $\text{In}$ , которые не смогли отдать свой электрон ( $N_{\text{In}} > N_{\text{h}}$ ), не заряжены. Следовательно, они должны мало мешать движению остальных носителей тока — электронам из зоны проводимости и дыркам из валентной зоны. И действительно, зонные электроны и дырки их не замечают: подвижность<sup>4</sup>  $\mu$  зонных электронов практически не зависит от  $N_{\text{In}}$  и сохраняет значение, характерное для исходного сплава ( $\mu \sim 10^5 - 10^6 \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$ ).

Локализацию электронов на примесном уровне можно характеризовать и другим способом, вычислив вероятность перехода электронов с атома на атом. Она не равна нулю и приводит к подвижности  $\sim 10^{-3} \text{ см}^2/\text{В} \cdot \text{с}$  — в миллиард (!) раз меньшей подвижности зонных электронов. Есть все основания считать электроны, оставшиеся при ионах  $\text{In}^+$ , неподвижными — локализованными вблизи своего иона. Все сказанное выше можно резюмировать одной фразой: атомы  $\text{In}$  в сплавах  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  образуют глубокие примесные хорошо локализованные состояния (их называют глубокими ловушками).

## СПЛАВЫ ТЕЛЛУРИДОВ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

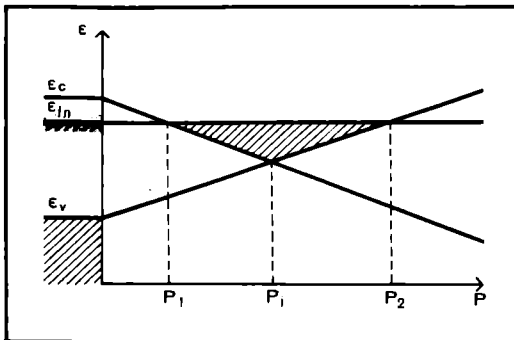
Полупроводники и полуметаллы чувствительны к прикладываемому давлению — их энергетическую структуру можно заметно изменить при достижимых в лаборатории давлениях.

Сжимая кристалл сплава  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  с примесью  $\text{In}$  до давлений в несколько тысяч атмосфер, удастся изменить положение уровня в глубокой ловушке — переводить его из запрещенной зоны в разрешенные и наблюдать именно то,

что предсказывает модель: образование проводника, когда примесный уровень входит в зону проводимости (в этом случае электроны «перетекают» в нее), и наоборот, превращение проводника в изолятор при «выходе» уровня из зоны.

Будь  $\text{In}$  обычной легирующей примесью донорного или акцепторного типа (т. е. если бы он не создавал глубоких ловушек), концентрация электронов и дырок определялась бы только значением  $N_{\text{In}}$  и вовсе не зависела от давления.

Эксперименты, использующие высо-



Зависимость границ зоны проводимости [ $\epsilon_c$ ] и валентной зоны [ $\epsilon_v$ ] от давления  $P$  в сплаве  $\text{Pb}_{1-x}\text{Sn}_x\text{Te}$  с примесью  $\text{In}$  при  $0,22 < x < 0,28$ . В отсутствие индия при  $P = P_1$  зоны насаются друг друга и сплав превращается в бесщелевой полупроводник; при  $P > P_1$  зоны меняются местами — инвертируют. Положение примесного уровня  $\epsilon_{\text{In}}$  относительно границ зоны проводимости и валентной зоны существенно зависит от давления  $P$ . При  $P > P_1$  примесный уровень попадает в зону проводимости — происходит переход «полупроводник — металл». При  $P > P_2$  примесный уровень выходит из зоны проводимости — происходит переход «металл — полупроводник».

кие давления, обладают неприятной особенностью: при низких температурах не удастся изменять давление непрерывным образом и следить за непосредственной реакцией на это электронов. Другими словами, не удастся уловить, зафиксировать динамику перехода из одного состояния (например, проводящего) в другое (например, диэлектрическое), хотя, конечно, это было бы весьма интересно.

## МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ПОМОГАЕТ ИССЛЕДОВАТЬ ПРОВОДНИКИ

Исследование любых электронных проводников (и металлов, и полупроводников, и полуметаллов) в магнитных полях — один из главных источников сведений об электронах проводимости<sup>5</sup>. За

<sup>4</sup> Подвижность  $\mu$  есть, с одной стороны, мера способности частиц двигаться, а с другой — мера сопротивления среды движению частиц. Чем электроны и дырки легче и чем меньше они рассеиваются на препятствиях, тем подвижность больше.

<sup>5</sup> См.: Каганов М. И. Магнитный пробой. — «Природа», 1974, № 7.

последние десятилетия они стали традиционными. Исследователи используют разнообразную измерительную методику. Эффектов, с помощью которых можно расшифровать энергетическую структуру проводников, оказалось очень много. Некоторые свойства полупроводников в магнитном поле послужили основой создания полупроводниковых приборов и устройств, которые из лаборатории шагнули в жизнь — в технику.

Физическая природа влияния магнитного поля  $\vec{H}$  на электронные свойства проводников элементарно проста: под действием силы Лоренца электрон движется по спирали, навитой на магнитную силовую линию, а собственный (спиновый) магнитный момент электрона ориентируется либо вдоль магнитного поля, либо против него. Энергия движения в плоскости, перпендикулярной  $\vec{H}$ , может принимать лишь определенные дискретные значения (квантуется), и при этом каждый уровень расщепляется на два подуровня, соответствующие разным направлениям спина.

Для дальнейшего важны два обстоятельства: под действием магнитного поля дно зоны может либо опуститься, либо подняться в зависимости от соотношения между спиновым расщеплением уровней и общим сдвигом дна зоны. Кроме того, изменяется «емкость» зоны: чем больше  $H$ , тем больше электронов может иметь энергию, меньшую заданной, фиксированной. В этом проявляется пространственная разделенность электронов, вращающихся вокруг разных силовых линий — они меньше мешают друг другу. (Емкость электронных зон при  $H=0$  ограничена из-за того, что, согласно принципу Паули, более чем двум электронам запрещено иметь одинаковые значения импульса, причем направление магнитных моментов этих электронов должно быть противоположно.)

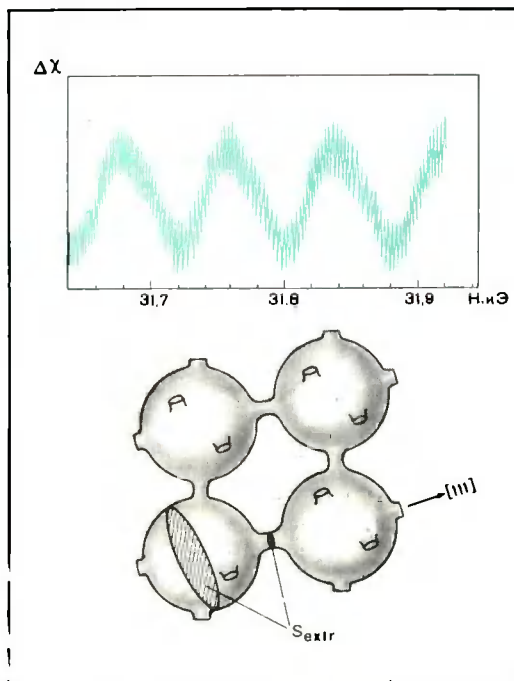
Теперь можно пояснить, почему эксперименты в достаточно сильном магнитном поле как будто специально предназначены для исследования энергетической структуры сплавов теллуридов с примесью индия, и в особенности для изучения динамики «перетекания» электронов с примесного уровня в зону или обратно.

Во-первых, магнитное поле смещает границы разрешенных зон (зоны проводимости и валентной) и меняет емкость каждого энергетического интервала в зо-

нах, не сдвигая примесного уровня (для электрона, движущегося вокруг ядра, используемые магнитные поля попросту очень малы<sup>6</sup>).

Во-вторых, поскольку магнитное поле можно менять непрерывно, то с его помощью также непрерывно можно изменять электронные свойства системы при любых, в том числе и весьма низких, температурах.

В-третьих, одновременно с создаваемыми им изменениями магнитное поле помогает исследовать зонные электро-



Эффект де Гааза — ван Альфрена: зависимость осциллирующей части  $\Delta\chi$  магнитной восприимчивости  $\chi$  монокристалла меди [вверху]. Магнитное поле ориентировано вдоль пространственной диагонали граноцентрированной кубической решетки меди [ $H \parallel [111]$ ]. Существование двух периодов указывает на сложный характер поверхности Ферми у меди [внизу]. При указанной ориентации  $H$  у нее есть два экстремальных сечения: малый период определяется сечением большой квазисферической части поверхности, большой период — сечением перемычки (они на рисунке заштрихованы).

<sup>6</sup> Энергия взаимодействия электрона с магнитным полем сравнивается с энергией электрона в атоме  $H \sim 10^5 \text{ Э}$ , а описываемые эксперименты проводятся в полях  $\sim 10^4 - 10^5 \text{ Э}$ .



чы; в частности, используя осцилляционные эффекты, можно непосредственно следить за размерами и формой поверхности Ферми, конечно, когда речь идет о металле, полуметалле или вырожденном полупроводнике.

Так как именно осцилляционные эффекты позволили детально исследовать электронную релаксацию в сплавах теллуридов с примесью In, скажем несколько слов об их природе.

С ростом магнитного поля число занятых уровней уменьшается. Освобождение от электронов очередного уровня энергии в магнитном поле всякий раз в каком-то смысле повторяет предыдущую ситуацию, что приводит к периодической зависимости физических величин от  $\vec{H}$ . Осцилляционную зависимость магнитного момента от магнитного поля называют эффектом де Гааза — ван Альфвена, а осцилляционную зависимость сопротивления — эффектом Шубникова — де Гааза. Важнейшая характеристика таких эффектов — их период. Оказывается, если вычерчивать зависимость магнитного момента или сопротивления от  $1/H$  (а не от  $H$ ), то период колебаний этих величин  $\Delta(1/H)$  не зависит от величины магнитного поля, а однозначно определяется экстремальным сечением  $S_{\text{ext}}$  поверхности Ферми плоскостью, перпендикулярной магнитному полю:

$$\Delta(1/H) = \frac{2\pi |e| \hbar}{c \cdot S_{\text{ext}}}$$

Если поверхность Ферми — сфера, то, измерив  $\Delta(1/H)$ , мы непосредственно определяем число электронов (или дырок) в зоне, так как

$$S_{\text{ext}} = \pi r_F^2 = \pi (2\pi \hbar)^2 \left( \frac{3 N_{e,h}}{8\pi} \right)^{2/3}$$

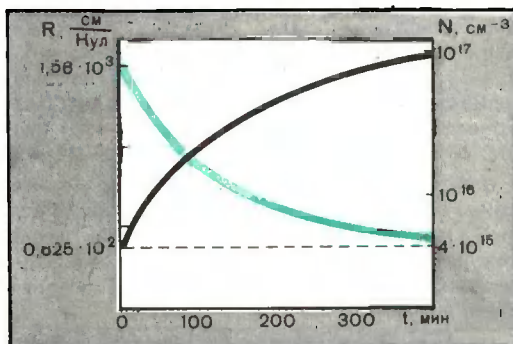
Если поверхность Ферми анизотропна, то, по зависимости  $\Delta(1/H)$  от направления магнитного поля можно определить ее форму и размеры.

## СПЛАВЫ ТЕЛЛУРИДОВ В МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Забудем ненадолго об осцилляционных эффектах.

Существует простой классический способ измерения числа электронов (или дырок) в проводнике, основанный на эффекте Холла, когда в помещенном в магнитное поле  $\vec{H}$  проводнике, по которому течет ток плотности  $\vec{j}$ , возникает разность потенциалов  $\Delta V$  в направлении, перпендикулярном и  $\vec{H}$ , и  $\vec{j}$ , ( $\Delta V = RjH$ , коэффи-

циент пропорциональности  $R$  называют константой Холла). Эффект Холла особенно удобен для измерения числа носителей именно в случае сплавов теллуридов  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  с примесью In, поскольку при низких температурах, по нашему предположению, в них должны присутствовать носители тока только одного знака (либо электроны — при  $x < 0,22$ , либо дырки — при  $x > 0,28$ ), а в таких условиях константа Холла  $R$  попросту равна  $\pm 1/eN_{e,h}$ , и ее измерение непосредственно дает значение  $N_{e,h}$ . Знак  $R$  показывает, имеем мы дело



Экспоненциальное уменьшение постоянной Холла  $R(t)$  в зависимости от времени, характеризующее процесс перетекания электронов в зону проводимости с примесного уровня у сплава  $Pb_{0,77}Sn_{0,23}Te$  при давлении  $P = 6,4$  кбар (кривая показана цветом, шкала значения  $R$  дана на рисунке слева). Постоянная Холла стремится к равновесному значению  $R_{\infty} = 0,625 \cdot 10^3$ . Кривая роста числа электронов  $N$  в зоне проводимости рассчитана по формуле  $N = 1/R|e|$  ( $e$  — заряд электрона,  $c$  — скорость света; шкала значений  $N$  показана на рисунке справа).

с электронами (+) или с дырками (—). Когда в полупроводнике есть и электроны и дырки,  $R$  определяется числом носителей по более сложной формуле.

Эффект Холла — статический эффект, константа Холла определяется разностью потенциалов в направлении, перпендикулярном току и магнитному полю, при постоянном значении последних. Но магнитное поле надо включать, т. е. фактически изменять во времени. Обычно об этом не нужно беспокоиться, так как по сравнению со временем электронной релаксации включение магнитного поля происходит бесконечно медленно и электроны успевают подстроиться к мгновенному его значению.

А вот у сплавов теллуридов с примесью In было обнаружено нечто совсем странное: константа Холла продолжала

изменяться, медленно приближаясь к равновесной величине уже после того, как поле достигало своего постоянного значения. Причем изменение это длилось часы!

Если считать, что электроны, ответственные за эффект Холла, поступают в зону проводимости с примесного уровня — из глубокой ловушки (а больше им неоткуда взяться), то мы приходим к выводу, что процесс перетекания электронов в зону идет крайне медленно. Так как емкость зоны и положение ее дна зависят от величины магнитного поля  $\vec{H}$ , то, меняя  $\vec{H}$  (поднимая дно зоны), можно заставить электроны вернуться на примесный уровень. Процесс «вытекания» из зоны идет столь же медленно. На основании эксперимента можно построить зависимость константы Холла или числа электронов в зоне от времени  $t$ . Она оказалась экспоненциальной:

$$N(t) = \Delta N e^{-t/\tau} + N$$

с резко зависящим от температуры временем релаксации  $\tau$ : при нагревании кристалла от 2К до (20–25)К время релаксации уменьшается в десятки—сотни тысяч раз. (Здесь  $N$  — равновесная концентрация электронов в зоне проводимости,  $\Delta N$  — концентрация электронов с энергией  $e > e_{in}$ .)

Измерения при разных температурах позволили установить экспоненциальную зависимость  $\tau$  от температуры  $T$  в виде  $\tau(T) = \tau_0 e^{T_0/T}$ , где  $\tau_0 \sim 5 \cdot 10^{-6}$  с., а  $T_0 \sim (200–250)$ К.

## МЕТАСТАБИЛЬНЫЙ МЕТАЛЛ

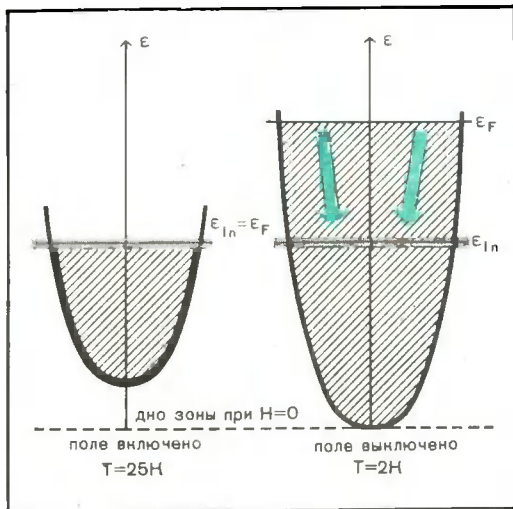
Резкое возрастание — по существу, до бесконечности — времени релаксации при понижении температуры позволяет создавать метастабильный металл.

Вот описание эксперимента<sup>8</sup>.

При температуре  $T_1 \approx 25$ К (время релаксации  $\tau < 0,1$  сек) включают магнитное поле  $H \approx 60$  кЭ, затем, не меняя его, понижают температуру сплава до значения  $T_2 \approx 2$ К (время релаксации  $\tau > 2$  ч). Охладив сплав, магнитное поле выключают. В конкретном эксперименте, о котором идет речь, число электронов в зоне при включении магнитного поля возросло в 25 раз: от  $4 \cdot 10^{15}$  см<sup>-3</sup> до  $10^{17}$  см<sup>-3</sup>. После выключения поля граница Ферми и примесный

уровень располагаются так, что оставаться в зоне излишним электронам энергетически невыгодно, но время релаксации столь велико, что электроны как бы замораживаются в зоне — типичное метастабильное состояние: метастабильный металл. (Правильнее было бы говорить «метастабильный полуметалл».)

Постепенно, конечно, электроны вытекают из зоны. Но это происходит столь долго, что даже в процессе вытекания метастабильный металл можно считать равновесным (или более точно — квазиравновес-



Зависимость энергии  $e$  электрона от проекции его импульса на направление магнитного поля  $\vec{H}$  (слева); зависимость энергии  $e$  от подного импульса при выключенном магнитном поле  $\vec{H}$  (справа). После выключения магнитного поля при температуре  $T=25$ К в зоне заполнены электронами все состояния до примесного уровня индия  $e_{in}$ , с которым в этих условиях совпадает уровень Ферми  $e_F$ . После охлаждения системы до 2К и выключения магнитного поля граница заполнения  $e_F$  оказывается значительно выше примесного уровня  $e_{in}$ , на который начинают перетекать электроны из зоны проводимости (из энергетически невыгодных состояний с  $e > e_{in}$ ). Этот процесс при  $T=2$ К имеет большое время релаксации: он длится сотни минут.

ным). Поэтому описывать свойства этого металла можно, используя представления и понятия квантовой физики обычных металлов. Следовательно, электроны метастабильного металла заполняют объем внутри поверхности Ферми. И исследовать ее можно обычными приемами, например с помощью эффекта Шубникова — де Газа. Можно не волноваться, что в процессе эксперимента, во время которого магнитное поле изменяется от  $H=0$  до

<sup>7</sup> Акимов Б. А., Брандт Н. Б., Богословский С. А., Рябова Л. И., Чудинов С. М. «Письма в ЖЭТФ», 1979, т. 29, № 1, с. 11 (См. также: «Природа», 1980, № 4, с. 112.)

<sup>8</sup> Там же.

$H \approx 60$  кЭ, число электронов изменится заметным образом. Запись одной осцилляционной кривой длится минуты — ничтожный интервал по сравнению со временем релаксации.

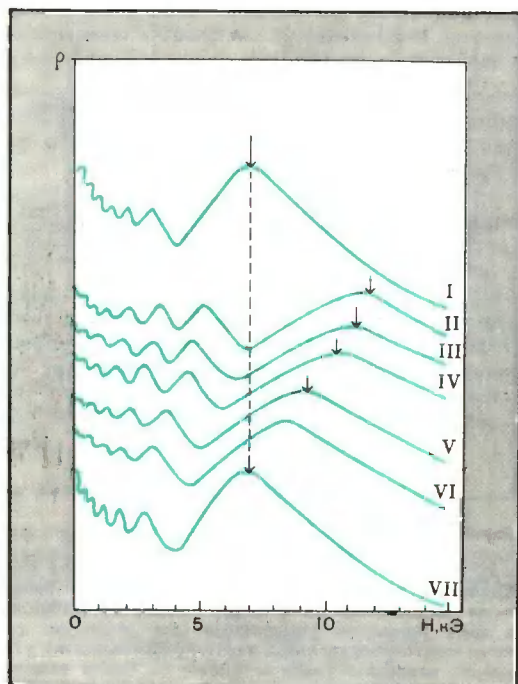
Согласно эксперименту от кривой к кривой монотонно увеличивается период  $\Delta(1/H)$ , а следовательно монотонно уменьшается экстремальная площадь сечения поверхности Ферми — поверхность Ферми сжимается. Аналогичным образом можно наблюдать, как она расширяется.

Импульсное пространство и поверх-

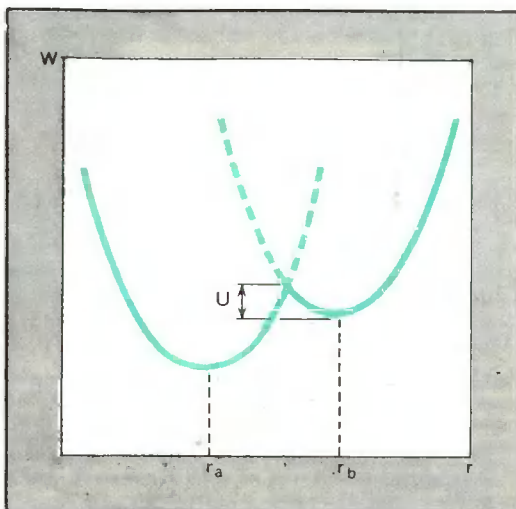
ность Ферми — привычные понятия теории металлов. Но кажется, что они делаются более доступными воображению, если представить сжимающуюся поверхность, из которой медленно (буквально!) вытекают электроны.

## ПРИРОДА МЕДЛЕННОЙ РЕЛАКСАЦИИ

До сих пор основное внимание мы уделяли описанию экспериментальных фактов. Теоретические представления, с по-



Относительное изменение сопротивления  $\rho$  как функция магнитного поля  $H$ . Такая последовательность осцилляционных кривых для сплава  $Pb_{0.75}Sn_{0.25}Te$  с примесью  $In$  отражает сжатие поверхности Ферми в зависимости от времени [ $P = 5,4$  кбар,  $H \parallel [100]$ ]; I — исходная кривая при  $T = 2K$  (период осцилляций соответствует начальной концентрации электронов  $N \approx 4 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ); кривая II получена сразу же после включения поля  $H$  при  $T = 25K$  и «замораживания» системы в метастабильном состоянии (период осцилляций соответствует  $N \approx 10^{17} \text{ см}^{-3}$ ); кривые III, IV, V, VI записаны после кривой II соответственно через 30, 60, 120 и 200 минут; кривая VII получена при  $H = 0$  после нагревания системы до 25 K и последующего охлаждения до 2 K.



Зависимость потенциальной энергии  $W$  атома индия от его положения в элементарной ячейке сплава, которое характеризуется координатой  $r$  вдоль некоторого направления в решетке. Цветная кривая соответствует нейтральному атому  $In$ , черная — иону  $In^+$ ;  $r_a$  и  $r_b$  — координаты устойчивых положений атома и иона. Атомы примеси не могут находиться в состояниях, показанных пунктиром, т. к. при увеличении  $W$  происходит преодоление потенциального барьера  $U$  и переход из одного устойчивого состояния в другое.

мощью которых создавались схемы энергетических зон кристаллов с примесями  $In$  (кстати сказать, прекрасно подтверждавшиеся), нужны были главным образом для того, чтобы можно было говорить об электронах, расположенных на разных энергетических уровнях. Благодаря этому результаты приобретают наглядность и способны заинтересовать более широкий круг физиков (а, может быть, и не только физиков). Действительно, если ограничиться констатацией изменений во времени по-

стоянной Холла  $R$  или величины периода  $\Delta(1/H)$  это вряд ли вызовет интерес, а изменение (за часы!) числа электронов проводимости или, что еще увлекательней, поверхности Ферми, может заинтересовать многих.

А теперь попытаемся понять, почему при низких температурах электроны так медленно покидают или занимают примесный уровень.

Очень заманчива гипотеза, высказанная С. Поровским<sup>9</sup>. Согласно этой гипотезе, изменение заряда примесного иона  $In^+$  сопровождается изменением его положения в ячейке кристалла  $Pb_{1-x}Sn_xTe$ .

Атом  $In$  и в нейтральном состоянии, и в виде положительного иона может совершать колебания. Это означает, что и в том и в другом зарядовом состоянии он находится в потенциальной яме. Нет оснований ожидать, что координаты минимумов ямы совпадают, но тогда ясно: при изменении заряда атому приходится преодолевать потенциальный барьер  $U$ . Для этого атом должен обладать достаточной кинетической энергией. При низких температурах (согласно описываемой модели при  $K_B T \ll U$ ) вероятность преодоления барьера пропорциональна  $e^{-U/K_B T}$ , что и служит объяснением экспоненциальной зависимости времени релаксации  $\tau$  от температуры.

Конечно, такое объяснение лишь очень приблизительно передает суть дела. Присоединение электрона к иону  $In^+$  и ионизация атома  $In$  — сложный процесс, в котором принимают участие много частиц: электрон, ион  $In^+$ , окружающие его атомы. Но, по-видимому, в модели обращено внимание на главное: ионизация (и обратный ей процесс) сопровождается преодолением потенциального барьера и перемещением иона в пространстве атомной ячейки. Хотелось бы получить непосредственные доказательства правильности этих представлений.

•

Не следует думать, что мы описали необычайно редкое явление — медленная релаксация электронных характеристик полупроводников (проводимости, фотопроводимости, постоянной Холла и др.) известна уже более 30 лет. Медленная релаксация всегда наблюдается в полупро-

водниках с определенными примесями, а именно с такими, которые образуют глубокие примесные ловушки: в  $CaSb$  с примесью серы, в  $CdTe$  с примесью хлора, в  $CdF_2$  с примесью индия и т. д.

С точки зрения физики полупроводников, описанное здесь исследование интересно тем, что полностью расшифрована энергетическая структура сплавов  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  с примесью  $In$ , доказано, что  $In$  в этих сплавах образует глубокую ловушку, определено положение примесного уровня в спектре сплавов разной концентрации.

А с точки зрения физики металлов, конечно, наибольший интерес представляют эксперименты с квазистационарной поверхностью Ферми — с поверхностью, которая на глазах у экспериментаторов сжимается или разбухает.... Но об этом мы уже говорили.

Авторы надеются, что читателей заинтересует новый удивительный объект исследования — метастабильный металл, временем жизни которого можно управлять, меняя температуру, а количество электронов в котором изменяется по произволу экспериментатора. Однако, наученные горьким опытом, авторы боятся, что найдется читатель, который, прочтя статью, нахмурится и задаст страшный вопрос: «Ну и что? Кому это нужно?»

Хотя описание приложений не входит в нашу задачу, мы хотим все же успокоить такого читателя. Приложение есть: авторы исследования предложили использовать кристалл  $Pb_{1-x}Sn_xTe$  с примесью  $In$  в качестве полупроводника со своеобразной памятью. Хранителем информации служит количество электронов в зоне, которые можно зафиксировать на многие часы, охладив кристалл до гелиевых температур. Информация бесследно стирается, если кристалл нагреть до 20—25 К.

Итак, метастабильный металл — элемент памяти. Это уже наверняка интересно всем.

<sup>9</sup> Porowski S. et al. «Physika status Solidi (b)», 1974, v. 63, № 1, p. 291.

## Генетика, эволюция и теоретическая биология<sup>1</sup>

Н. В. Тимофеев-Ресовский



Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский, доктор биологических наук, профессор, научный консультант Института медико-биологических проблем Министерства здравоохранения СССР, один из основоположников радиационной генетики и радиационной биогеоценологии. Ученик М. А. Мензбира, Н. К. Кольцова и С. С. Четверикова. Автор многих работ в области современной теории эволюции, генетики и биофизики, в том числе монографий, изданных в СССР и за рубежом: Применение принципа попаданий в радиобиологии. М., 1968; Краткий очерк теории эволюции. М., 1969, 1976; Очерк учения о популяции. М., 1973, 1977 и многих других.

Действительный и почетный член ряда зарубежных научных обществ, в том числе Германская академия естествоиспытателей «Леопольдина», Академии наук и искусства США и др. Удостоен международных премий и медалей — Дарвиновской медали (ГДР, 1959), Менделеевской медали (ЧССР, 1965), Кимберовской премии по генетике, Золотой медали «За выдающийся научный вклад в генетику» (США, 1966) и Менделеевской медали (ГДР, 1970).

7 сентября Николаю Владимировичу исполняется 80 лет. Мы хотим выразить свою глубокую признательность Николаю Владимировичу, нашему постоянному автору, и поздравить его со славным юбилеем.

### I

В нашем веке старая физическая картина мира, выражением которой можно считать детерминизм в стиле Огюста Конта, заменилась совершенно новой общей физической картиной мира. Эта новая картина мира пока не имеет официального названия, и ее можно условно назвать квантово-релятивистской, потому что она построена на современной теории квантовой физики и теории относительности.

Новая картина мира принципиально отличается от старой. Старая физическая картина мира была очень неудобна людям, во всяком случае, многим из нас. Представим себе абсолютный огюстовский детерминизм: каждое мельчайшее движение содержится в мировой формуле, которой мы сейчас не можем пользоваться только по неведению и не-

достаточности данных. Нет свободы совести и свободы мнений: любое мнение, которое можно высказать, уже содержится в этой знаменитой формуле, и потому, например, писать эту статью тоже не имело бы смысла; просто надо было бы собрать побольше математиков и разработать эту общую формулу и еще несколько тысяч дополнительных, которые помогли бы пользоваться этой главной. Такой детерминизм, в сущности, определяет бессмысленность любой практической деятельности: обществу не к чему стремиться, так как все предусмотрено и предопределено формулой, и нам, людям, в этом мире делать нечего.

Новая физическая картина мира в этом отношении принципиально отличается от старой. Она позволяет нам жить, дает людям свободу для планирования наших индивидуальных, общественных, коллективных, социальных, политических, экономических действий, и в частности свободу совести, без которой нельзя жить. Это и есть главное достижение естествознания нашего столетия, не всеми

<sup>1</sup> Основой статьи послужил доклад, прочитанный 28 февраля 1980 г. на заседании Московского отделения Всесоюзного общества генетиков и селекционеров им. Н. И. Вавилова.



сознаваемое. В нашем столетии были и другие достижения, в биологии главным было создание генетики.

## II

Генетика в нашем веке появилась в качестве запоздалого, но совершенно необходимого звена механизма эволюции, более ста лет тому назад увиденного гениальным Ч. Дарвином. Дарвин действительно увидел в природе принцип отбора и благодаря этому смог построить основы эволюционной теории. Дарвин назвал свою главную книгу «О происхождении видов путем естественного отбора» и тем самым предельно ясно дал понять, что эволюционная теория должна строиться на основе приложения принципа естественного отбора к тому, что он назвал «неопределенной изменчивостью» — ненаправленной, статистической изменчивости, касающейся как самых крупных, так и самых мелких признаков.

На применении принципа естественного отбора к этой неопределенной изменчивости, которую он всюду видел в природе (а смотреть он умел и видел очень многое, чего до него не видели), он и построил теорию эволюции.

К сожалению, во времена Дарвина ничего не было известно об элементарном эволюционном материале. Цитологии практически не существовало, хромосом никто не знал, и главная менделевская работа была опубликована позже основной книги Дарвина. Все это делало гигантскую работу Ч. Дарвина какой-то беспочвенной: в основе теории эволюции была «неопределенная изменчивость», которую никто ясно себе не представлял.

В самом конце XIX — начале XX в. правила Менделя были открыты вторично в пяти странах на девятнадцати различных объектах. Это с самого начала позволяло прекратить рассуждения о случайности и единственности этих явлений и сразу показало всеобщность менделевской наследственности в живой природе. Только тогда можно было начать разговоры о серьезном построении теории эволюции на генетической основе.

Необходимо напомнить в этой связи о замечательной школе американских цитологов Э. Вильсона. В этой школе, лучшей среди других немецких, английских и американских школ, в то время был закончен первый этап изучения цитологии мейоза, т. е. созревания половых клеток, и цитологии оплодотворения. Вильсон в 1902 г. напечатал в «Science»

коротенькую заметку, где впервые обратил внимание на наблюдения своих сотрудников Сэттона и Мак-Клэнга, что описание мейоза и оплодотворения есть не что иное, как цитологическое отображение гениальной гипотезы Менделя о наследственных факторах и чистоте гамет.

Судьба Менделя — мне уже пришлось это отмечать ранее — напоминает судьбу Дарвина. Дарвин ведь не создал эволюционное учение, как это часто и необоснованно считают популяризаторы: это учение было известно задолго до Дарвина и создавалось и Аристотелем, и Линнеем, и многими другими; в этом у Дарвина было много предшественников. Гениальность Дарвина в том, что он первым увидел в природе принцип естественного отбора, естественноисторический механизм эволюции живых существ. Гениальность Менделя не в том, что он открыл законы наследственности, как это часто и необоснованно считается: эти законы порошью были известны до работ Менделя в результате исследований в основном практиков-селекционеров (Й. Г. Кельрейтера, Т. Найта, О. Сажре, Ш. Нодена и ряда других). Гениальность Менделя была в том, что он первым в экспериментальной биологии поставил точные и продуманные эксперименты, смог точно учесть полученные результаты и сформулировал гипотезу чистоты гамет. Тем самым он дал ясную и неоспоримую интерпретацию тем результатам, которые он получил в своих опытах с горохом.

Работы Менделя и, в особенности, Дарвина, могут быть, по-видимому, положены в основу будущего здания теоретической биологии, которая пока отсутствует.

## III

В настоящее время никакой теоретической биологии, сравнимой с теоретической физикой, нет. То, что сейчас порой называется теоретической биологией, с XIX в. известно как общая биология. Уже в начале нашего века были созданы (ставшие потом классическими) книги по общей биологии: «Общая биология» М. Хартмана и «Общая зоология» А. Кюна в Германии, ряд книг Дж. Б. С. Холдейна и Дж. Хаксли в Англии, а также замечательная книга «Биологические основы зоологии» Владимира Михайловича Шимкевича у нас. Эти книги до сих пор не устарели; хорошие книги не стареют. Заблуждаются те, которые считают, что Дарвин устарел. Каждому биологу и сегодня полезнее прочесть еще раз книгу самого Дарвина, чем изданную полгода назад брошюру о Дарвине. Позже

появился прекрасный курс общей биологии Л. Я. Бляхера, а в последние десятилетия особенным успехом пользуется переведенная на многие языки книга К. Вилли «Биология».

Теоретической биологии сегодня нет — или не было до самого последнего времени, — потому что нет (или не было до самого последнего времени) общих естественноисторических биологических принципов, сравнимых с теми, которые уже давно — начиная с XVIII в., — существуют в физике. Сейчас можно пока говорить, по-видимому, лишь о двух таких общих принципах в биологии.

#### IV

Первым таким принципом, известным уже более 100 лет, является, несомненно, принцип естественного отбора. Вспыхивающие иногда споры о том, годится ли дарвинский принцип естественного отбора или его необходимо заменить каким-то другим, не выдерживают серьезной критики. Нормальным биологам не приходится спорить о естественном отборе, как, например, о том, падает ли брошенный стакан на потолок или на пол. Разве только неискушенные в биологии математики могут всерьез утверждать и доказывать, что природа в своем развитии могла бы обойтись без естественного отбора.

#### V

В биологии уже есть и второй естественноисторический всеобщий принцип, хотя о его существовании пока менее известно, чем о естественном отборе.

В конце 20-х — начале 30-х годов мы сначала с М. Дельбрюком, а потом П. Дираком (одним из членов знаменитого копенгагенского клуба замечательных физиков и математиков, сгруппировавшихся вокруг Н. Бора), исходя из созданной Н. К. Кольцовым физико-химической модели хромосом и генов, увидели, что всюду, где какие-то элементарные существа размножаются, строят себе подобных рядом, — всюду имеется репликация молекул. В отличие от роста кристаллов, где тоже есть репликация молекул, мы называли эти присущие живому процессы репликации редупликацией. Одно из главных проявлений жизни состоит не в том, что нарастает масса живого, а в том, что множится число элементарных индивидов, особей. При этом некое элементарное существо строит себе подобное и отталкивает его от себя, давая начало новому индивидууму. Этот процесс целесообразно называть не просто размножением, а именно редупликацией.

После появления на свет в XX в. гене-

тики постепенно стало ясно, что у всех живых организмов существует спонтанный мутационный процесс, что мутации наследственны и что они посредством редупликации передаются следующим поколениям. Обсуждая с Дельбрюком и Дираком возможность формулировки связанного с этим явлением общебиологического исторического принципа, мы придумали выражение, по-моему очень удобное, — *к о н в а р и а н т н а я р е д у п л и к а ц и я*, т. е. редупликация живых частиц, включающая наследственные вариации. В разговорах и спорах стало ясно, что конвариантная редупликация дискретно построенных кодов наследственной информации, по-видимому, является вторым общебиологическим естественноисторическим принципом.

Мне кажется, что эта формулировка второго общебиологического принципа еще недостаточно строга и совершенна: нужно еще немного поспорить и подумать. Однако уже и сейчас ясно, что мы все же имеем сегодня два общебиологических естественноисторических принципа: принцип естественного отбора и тот, который пока предварительно можно назвать принципом конвариантной редупликации дискретных кодов наследственной информации, передаваемых от поколения к поколению.

#### VI

Сегодня мне кажется возможным предложить для обсуждения еще один естественноисторический биологический феномен, весьма перспективный для формулировки третьего биологического принципа. Этот феномен касается большого места всех биологов — проблемы так называемой прогрессивной эволюции.

Пока нет не то строгого или точного, но даже мало-мальски приемлемого, разумного, логичного понятия прогрессивной эволюции. Биологи до сих пор не удосужились сформулировать, что же такое прогрессивная эволюция. На вопрос — кто прогрессивнее: чумная бактерия или человек — до сих пор нет убедительного ответа.

На мой взгляд, вопрос ставится так: обязательно ли прогрессивная эволюция при одновременном действии естественного отбора или нет; другими словами, обязательно ли длительное действие естественного отбора приводит к прогрессивной эволюции. Тут возникает настоящая научная математическая проблема в биологии. Пока большая часть математичес-

кой биологии, или биологической математики, мало что дает для развития биологии. Такие математики больше нас, биологов, знают способов анализа и обращения с математическими формулами. Однако, как правило, это отнюдь не ведет к углубленному пониманию существа биологических процессов. Приведу один характерный пример. В конце 20-х и середине 30-х годов я имел честь и удовольствие участвовать в разработке основ современной физико-химической формы интерпретации принципов попадания, мишени и усилителя в радиобиологии. Тогда в Германии был Институт физики металлов, где работала группа ученых, заинтересованных в применении строгих математических принципов к радиологии. Они опубликовали около 20 небольших статей, в каждой из которых было в среднем около 20 формул, малопонятных для биологов. Отчасти по моей инициативе удалось заинтересовать в этой работе М. Дельбрюка, первоначально «чистого» физика и математика, ученика М. Борна и Н. Бора, а также В. Гейзенберга и М. Борна. Примерно после года работы нашего коллоквиума в Берлин-Бухе при глубоком проникновении в существо явлений и понимании описываемых процессов удалось свести среднее число формул в последующих публикациях с 20—25 до 2—3. Говорят, что очень крупный французский математик А. Пуанкаре говорил — я потом то же самое слышал от Н. Бора, — что если человек не понимает проблему, он пишет много формул, а когда он, наконец, поймет в чем дело, остается в лучшем случае две формулы.

Итак, для решения проблемы, ведет ли естественный отбор, продолжающийся практически бесконечно долго, обязательно к прогрессивной эволюции или не ведет (хочется думать, что ведет), на мой взгляд, нужен замечательный математик или даже группа замечательных математиков, являющихся в то же время глубокими мыслителями. Видимо, нужно найти какие-то математические методы, с помощью которых можно было бы решить вопрос более или менее окончательно и точно. От решения этого вопроса зависит, получим ли мы третий естественнонаучный принцип в биологии, который можно было бы использовать для построения теорети-

ческой биологии. Я принимал деятельное участие в формулировке второго принципа, но сейчас считаю, что не только я, но никто не может всерьез сегодня ответить на вопрос, ведет ли отбор автоматически к прогрессивной эволюции.

## VII

Прежде чем передать эту проблему для решения в руки математиков, нам, биологам, предстоит, во-первых, сформулировать, что же такое прогрессивная эволюция, а, во-вторых, выяснить, возможны ли разные типы прогрессивной эволюции. На нашей планете осуществлены разные пути эволюции. Так, мы знаем минимум два типа высшей нервной деятельности: наш, который можно назвать безусловнорефлекторным. Разве не замечателен строй общественных насекомых? Как отличалась бы жизнь на Земле, если бы победителями и в известной степени царями природы стали бы не мы, люди, а общественные насекомые! Не было бы, например, таких вещей, как мораль и героизм: с точки зрения жалеющей и погибающей пчелы, нет никакого героизма в этом поступке, она, пчела, к тому и предназначена и обладает специальными приспособлениями. Не было бы этики и других возвышенных вещей, которые есть и будут всегда, пока на Земле живут люди, у которых есть свободная воля.

Нам, биологам, нужно строго и точно сформулировать (а если окажется возможным, то и определить) ряд понятий, которыми предстоит воспользоваться при формулировке общих естественноисторических принципов, нужных для построения теоретической биологии. После этого наступит период, когда придется продумывать самые различные общие схемы построения возможной теоретической биологии, которая была бы не просто общей биологией.

Потребуется ли формулировка других (кроме трех названных выше) общих биологических принципов для построения теоретической биологии — покажет будущее. Однако уже сейчас можно предвидеть, что первой задачей теоретической биологии станет оценка эволюционной теории. Биологам тогда откроется возможность рассмотреть и понять, какие условия, какие дополнительные воздействия будут направлять и формировать характер той прогрессивной эволюции, которая будет создаваться естественным отбором.

## Тихоокеанский рудный пояс

Е. А. Радкевич



Екатерина Александровна Радкевич, член-корреспондент АН СССР, член Президиума ДВНЦ АН СССР, заведующая лабораторией металлогении Дальневосточного геологического института ДВНЦ. Автор фундаментальных работ по геологии и металлогении Забайкалья и Дальнего Востока. Герой Социалистического Труда, заслуженный деятель науки и техники РСФСР.

### КОЛЬЦЕОБРАЗНАЯ ФОРМА РУДНОГО ПОЯСА

Еще со школьных лет многие знают о Тихоокеанском огненном кольце, где протягиваются цепи потухших и активных вулканов. С этим же кольцом пространственно совпадает пояс высокой сейсмичности, в пределах которого часто случаются землетрясения, в том числе и катастрофические. Активные вулканические процессы и высокая сейсмичность свидетельствуют о современной тектонической активности притихоокеанской области. Но геологам известен также и Тихоокеанский рудный пояс, формировавшийся в течение сотен миллионов лет<sup>1</sup>. Его существование позволяет нам говорить о высокой тектонической активности области сочленения континентов с океаном и в прошлые геологические эпохи.

Рудоносные складчатые зоны Тихоокеанского рудного пояса возникли по крайней мере 2,5 млрд лет назад, а может быть и ранее. Таким образом, Тихоокеанский рудный пояс и сам Тихий океан представляют собой древние

образования. Со временем складчатые структуры нарастали от материков в сторону океана. В результате наиболее молодые складчатые зоны оказались лежащими у современной границы океана, а древние — в удалении от нее.

Кольцевую структуру Тихоокеанского рудного пояса подчеркивает также закономерная смена геохимических и металлогенических особенностей рудных зон в направлении от океана к материкам. Так, внутренняя часть кольца обогащена медью, а внешняя — оловом и вольфрамом. Такое зональное распределение металлов вызвано тем, что Тихоокеанский рудный пояс совпадает с областью, где континентальная кора переходит в океаническую.

В свете современных данных, именно особенности состава и строения земной коры определяют характер оруденения. Кора океанического типа имеет следующее строение: под тонким слоем осадков залегают базальты, ниже которых выделяется слой габброидов и метаморфических пород, а далее на относительно небольшой глубине лежит мантия Земли. Для коры континентального типа характерна более мощная осадочная оболочка, которая с глубиной сменяется так называемым гранитным слоем, а далее — базальтовым слоем и мантией, залегаю-

<sup>1</sup> Впервые идею о существовании Тихоокеанского рудного пояса высказал С. С. Смирнов в 1946 г.

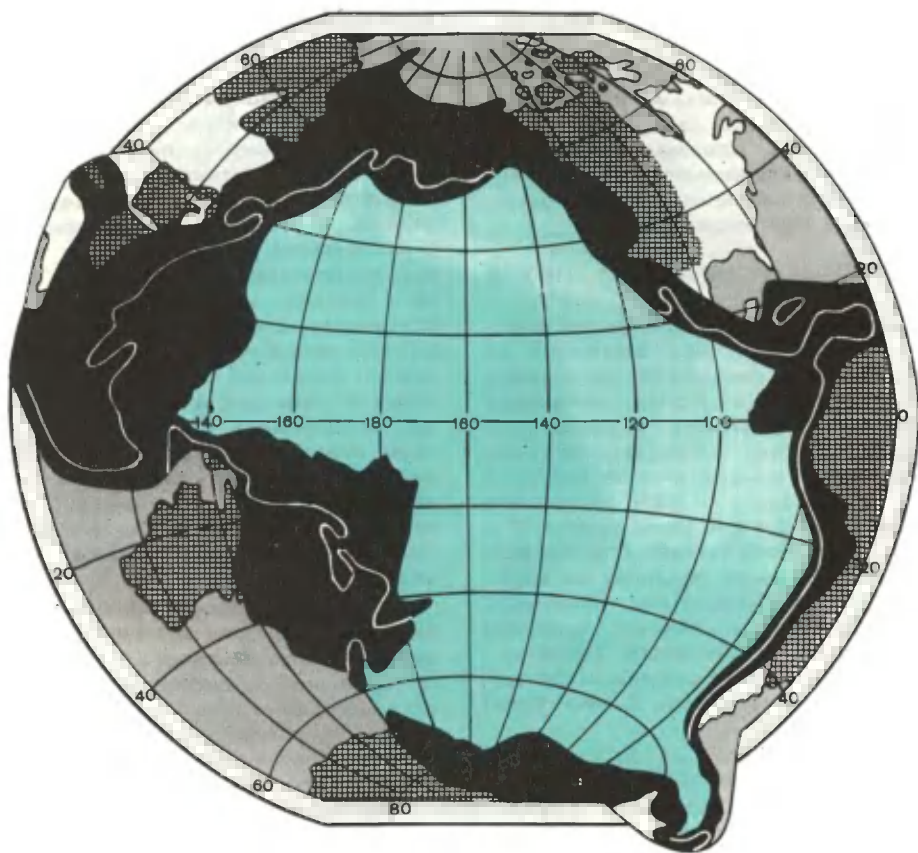
щей здесь на большей глубине, чем под океанами.

Континентальная кора имеет относительно небольшую мощность близ океана и значительную — в удалении от него. Соответственно, мантия вблизи океана оказывает большое влияние на магматизм и оруденение, чем вдали от него.

Вдоль крупных разломов, окаймляющих ложе Тихого океана, породы мантии выходят на поверхность. С этими породами, имеющими ультраосновной состав, связаны месторождения хрома, никеля,

платины. На континентах ультраосновные породы глубинного происхождения встречаются реже. Более широко на континентах распространены кислые изверженные породы, возникшие в земной коре путем ее переплавления или метаморфизма. Это прежде всего граниты и сходные с ними породы, богатые кремнекислотой. Данный комплекс пород сопровождается месторождениями олова, вольфрама, свинца, цинка, золота и других цветных и редких металлов.

Рудоносные территории, где рас-



Контуры Тихоокеанского рудного пояса [по Ю. М. Пуцаровскому, 1972]. Хорошо виден излом в юго-западной части контура, искажающий кольцообразную форму рудного пояса.

-  площадь пояса
-  граница пояса современных геосинклиналей
-  древние платформы
-  ложе Тихого океана



пространены основные и ультраосновные породы мантийного происхождения, мы называем фемическими, в области распространения кислых изверженных пород — сиалическими. Фемический тип проявлен во внутренней зоне. С данным типом рудоносных территорий связаны месторождения меди. Сиалический тип характерен для внешней зоны Тихоокеанского рудного пояса, сложенной мощной сиалической корой. С сиалическим типом рудоносных территорий связаны олово-вольфрамовые, свинцово-цинковые и золото-серебряные месторождения.

Наряду с принадлежностью к определенному типу рудоносных территорий на характер оруденения влияет состав толщ, вмещающих рудные тела. Например, те подвижные зоны Тихоокеанского пояса, что сложены по преимуществу обломочными породами (песчаниками и глинистыми сланцами), нередко дают начало оловоносным рудным провинциям. Другие подвижные зоны, сложенные карбонатными породами, часто заключают в себе свинцово-цинковые месторождения.

## ЭЛЕМЕНТЫ АСИММЕТРИИ ПОЯСА

Рудоносные территории и фемического, и сиалического типа благодаря их концентрическому расположению хорошо вписываются в общую картину кольцевой симметрии Тихоокеанского рудного пояса. Вместе с тем имеются признаки, указывающие на асимметричное строение пояса. К ним можно отнести различную морфологию восточной (американской) и западной (азиатской) ветвей, а также различное распределение металлов во внешней зоне пояса. Асимметрия Тихоокеанского рудного пояса, видимо, отражает геодинамические особенности развития двух его ветвей: сжатие американской ветви и растяжение азиатской, о чем будет сказано далее.

На американской стороне установлены признаки движения континентов к западу: «омоложение» магматических и рудных образований в направлении с запада на восток. Так, в Северной Америке с удалением от океана юрские магматические породы сменяются позднемеловыми — палеогеновыми, а затем неогеновыми. Подобным же образом меняется возраст месторождений Южной Америки: от нижне-среднеюрского у побережья до мелового, палеогенового, неогенового — с удалением от него. Можно предположить, что эта смена обусловлена проскальзы-

ванием континентов в западном направлении над глубинным разломом, генерирующим магму и руду. При этом «возрастной сдвиг» свойствен лишь медным месторождениям, имеющим глубинный (мантийный) источник магм и растворов, а на распределении месторождений олова он не сказывается. По-видимому, эти месторождения образовались за счет мобилизации металлов, заключенных в сиалической земной коре и в древних месторождениях, или за счет эволюции глубинного гранитного расплава.

Итак, направленное изменение возраста рудоносных территорий на американской ветви Тихоокеанского рудного пояса нарушает его кольцевую симметрию. Его асимметрия подчеркивается также различной морфологией азиатской и американской ветвей. Для Америки (и Северной, и Южной) характерно направление складчатых структур, разломов и рудоносных зон вдоль границы Тихого океана. Внешняя и внутренняя зоны рудного пояса здесь не разобщены, а связаны переходами. В Азии же комплексы молодых (мезозойских) магматических пород и руд распространены не только вдоль Тихого океана, но уходят далеко вглубь континента, следуя по разломам близширотного направления. Характерной особенностью азиатской ветви является обособление внутренней зоны в виде островных дуг, отделенных от континента окраинными морями. Морфологический рисунок металлогенических зон азиатской ветви значительно сложнее, чем ветви американской, а сами месторождения распространяются гораздо дальше от Тихоокеанской окраины.

Имеются также признаки геохимической асимметрии восточной и западной ветвей Тихоокеанского рудного пояса: на азиатской стороне широко развиты месторождения олова и вольфрама, залегающие главным образом в обломочных породах (песчаниках, глинистых сланцах), а на американской — свинцово-цинковые месторождения, залегающие в известняках. Такая избирательная приуроченность металлов к определенным типам осадочных пород говорит, по-видимому, о взаимодействии из них рудного вещества или же об их влиянии на процессы магмо- и рудообразования.

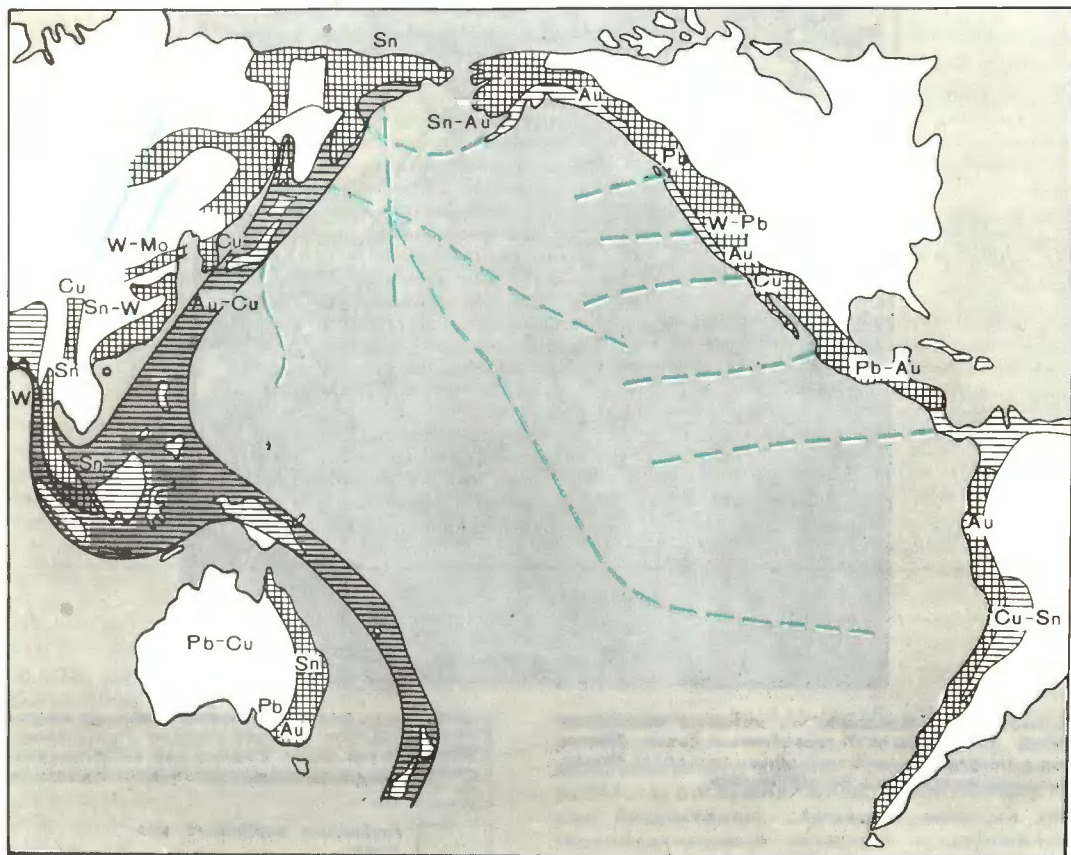
## ОБ УСТОЙЧИВОСТИ ТИХООКЕАНСКОЙ СИСТЕМЫ

Уже в протерозое металлогенические зоны располагались параллельно Тихому

океану, совпадая с древними структурно-формационными зонами на сочленении континентов с океаном. К несомненно ранним зонам относится, например, перикратонный (расположенный на окраине континента) прогиб Северной Америки. Глинистые породы этого прогиба, в которых залегают руды, имеют возраст 1340 млн лет. Следовательно, уже в протерозое море распространялось на Северо-Американский континент. Расположенные ближе к Тихому океану вулканические породы имеют более молодой,

раннепалеозойский возраст. В наиболее древних из них обнаружены ордовикские органические остатки, но не исключена возможность, что среди вулканических пород близ Тихого океана имеются и более древние образования.

Характерной особенностью металлогенических зон, окаймляющих Тихий океан, является повторение во времени одних и тех же металлов. Как уже было сказано, прилегающие к океану фемические зоны заключают в себе месторождения меди и золота, а расположенные дальше



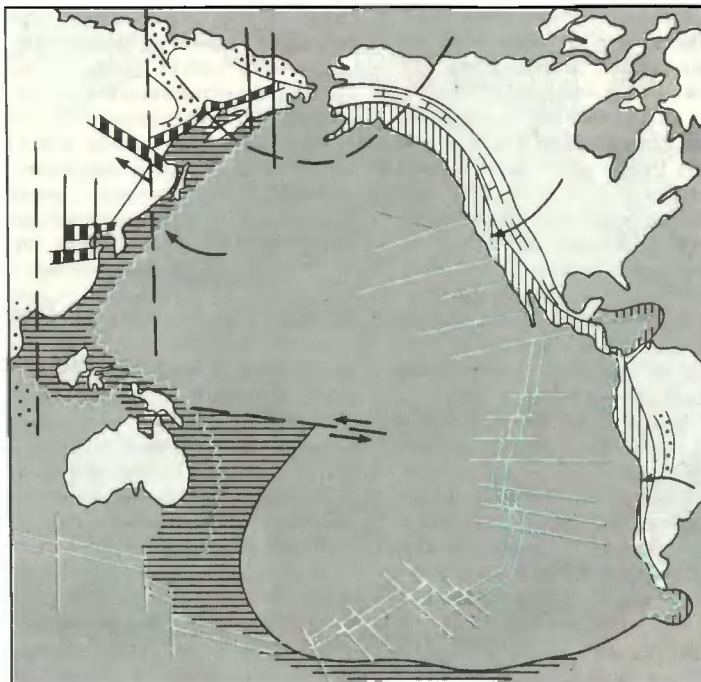
Металлогеническая зональность Тихоокеанского рудного пояса. Во внутренней зоне сосредоточены рудопроявления меди, а во внешней — олова и вольфрама (на азиатской стороне), свинца и цинка (на американской стороне). На схеме видна морфологическая асимметрия пояса, которая проявляется в параллельном границе океана расположении зон на американской стороне рудного пояса и различной ориентации зон на азиатской стороне.

-  внутренняя третичная зона
-  внешняя мезозойская зона
-  крупнейшие разломы

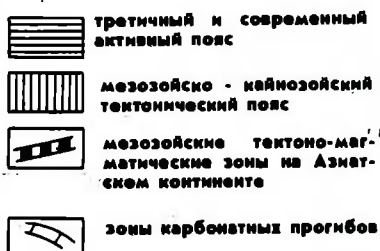
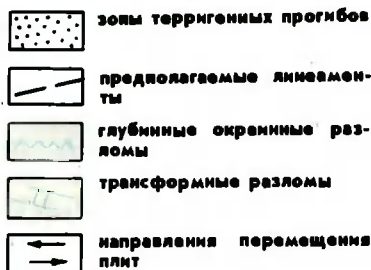
от океана сиалические зоны — месторождения свинца, цинка, олова и вольфрама. При этом набор металлов в значительной мере зависит от состава пород, составляющих геологический разрез. Так, прогибы, сложенные известняками, заключают многочисленные месторождения свинца и цинка (Северная Америка), а прогибы, сложенные песчаниками и сланцами, содержат месторождения олова (Боливия, Малайзия).

Минерализация и в том и в другом случае развивалась на месте более древних

рудопроявлений. В последнее время высказываются предположения о влиянии на образование оловянного пояса Боливии древнейших докембрийских месторождений олова, за счет которых образовались россыпи в нижнепалеозойских отложениях. Последние были ассимилированы триасово-юрскими гранитами, послужившими источником руд при образовании мезозойских эндогенных месторождений Северной Боливии. Предполагается также, что неогеновые олово-серебряные месторождения Южной Боливии, ассоциирующие с суб-



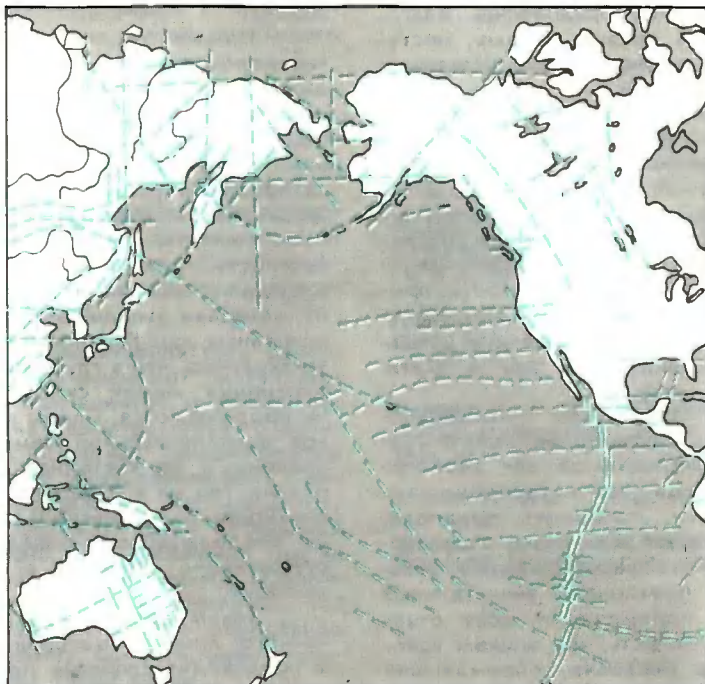
Возможные направления, по которым смещались блоки литосферы в Тихоокеанском поясе. Важно, что в результате смещений общая кольцевая форма Тихоокеанского пояса не нарушилась.



вулканическими телами, частично возникли путем переотложения более древних (раннемезозойских) месторождений.

Подобным же образом, возможно, сформировался и знаменитый Бирма-Малайский оловоносный пояс. Геосинклинальная складчатая система, с которой он пространственно связан, зародилась в раннем палеозое. Оловоносные граниты возникли в карбоне, перми, триасе, юре и верхнем мелу; причем олово, видимо, было заимствовано из окружающих терригенных пород. Можно предположить

в раннепалеозойское время накапливались основные вулканы, послужившие в дальнейшем источником золота и меди. Процессы минералообразования многократно повторялись и в Канаде. Так, в карбоне возникли колчеданные месторождения о-ва Ванкувер, в триасе — меденосные жилы Коллер Маунтин, в юрское и меловое время — скарновые месторождения района Феникс и гидротермальные сульфидные жилы Британии, в верхнем мелу и палеогене — меднопорфировые месторождения, расположенные вдоль разломов,



Система планетарных разломов (выделены цветом) Тихоокеанского рудного пояса. С породами мантии, выходящими на поверхность вдоль крупных разломов, связаны месторождения хрома, никеля, платины.

что олово совершило неоднократный круговорот с прогрессивным его накоплением при образовании осадков, магматизме и гидротермальном процессе.

Унаследованно (т. е. на месте более древних металлогенических зон) развивались и околоокеанские фемические зоны, сформировавшиеся там, где прежде были эвгеосинклинали<sup>2</sup>. Показательны в этом отношении эвгеосинклинали южной части Аляски и западной части Канады, где

в неогене — золото-серебряные месторождения Дасти Майн, связанные с субвулканическими телами. Источниками меди (и золота) послужили отчасти разновозрастные базальтоиды, слагающие мощный эвгеосинклинальный комплекс и ассимилированные в дальнейшем в процессе гранитизации и образования крупных батолитов.

Поступление металлов и вулкаников основного и среднего состава, а также последующее их переотложение в результате процессов магматизма и метаморфизма можно усмотреть и в Арауканской зоне

<sup>2</sup> Эвгеосинклинали — «истинные» геосинклинали, для которых характерна высокая вулканическая активность.

Чили. Здесь медь представлена в виде сингенетичной, т. е. образовавшейся одновременно с породой, вкрапленности медных минералов в вулканитах, а также в скарновых и сульфидных жильных месторождениях, связанных с гранитоидами. Крупнейшие месторождения меднопорфировых руд, связанные с расположенным восточнее Арауканской зоны меридиональным разломом, возникли за счет глубинного (мантийного) источника меди.

Наконец, самые молодые проявления меди в виде медистых песчаников сосредоточены еще восточнее, в Боливии. Эти месторождения образовались благодаря обогащению осадков медью, поступавшей из разрушающихся более древних рудоносных формаций.

Эти примеры доказывают, что металлы в земной коре проходили сложный путь от поступления с магмами и растворами из глубинной мантийной оболочки до последующей миграции, перегруппировки и концентрации. В целом же унаследованность в размещении рудопоявлений и многократная повторяемость процессов минералообразования подчеркивает геохимическую и тектоническую устойчивость металлогенических зон и всего Тихоокеанского пояса.

Подобное длительное унаследованное развитие структурно-металлогенических зон, подтверждаемое как геолого-стратиграфическими, так и геохронологическими данными, позволяет предполагать, что существуют устойчивые структурные элементы литосферы, которые большей частью не претерпели значительных горизонтальных перемещений друг относительно друга. То есть, мы можем говорить о единстве мегазоны, обрамлявшей Тихий океан, что особенно отчетливо проявилось в Северном полушарии.

#### ПРИЗНАКИ СМЕЩЕНИЙ КОНТИНЕНТОВ

Но все же континенты, видимо, перемещаются, и происходит это большей частью без нарушения их структурной целостности. Так, на основании «омоложения» магматических и рудных образований в направлении с запада на восток можно предположить, что Северная и Южная Америка смещались к западу. Однако эти относительно небольшие перемещения без заметных поворотов все же не изменили расположения континентальных структур относительно Тихого океана, хотя границы их местами и изменились в результате

погружения отдельных блоков земной коры.

В области сочленения континентов и океана протекали сложные процессы. За счет вулканизма и осадкообразования в зонах эвгеосинклиналей, обрамлявших Тихий океан, неоднократно нарастала новая кора. Интенсивный вулканизм в системе островных дуг приводил к многократному поступлению мантийного вещества и обогащению литосферы рудными компонентами. В результате же формирования новых складчатых зон на месте прогибов континенты нарастали в сторону океана.

Но вместе с тем имели место и противоположные процессы, которые приводили к разрушению сиалической коры при погружении ее на большие глубины. На значительном протяжении современной береговой линии Тихого океана имеются признаки, указывающие на бывшее продолжение складчатых структур в область, ныне занятую морем. Структурную целостность границ азиатского континента нарушили окраинные моря, отделившие от материка западные части современных островных дуг. Геофизическими методами установлено, что в глубоководные впадины окраинных морей складчатые структуры не продолжают. Следы погружения блоков континентальной земной коры установлены и на восточной окраине Тихого океана, где на его берегах выходят на поверхность палеозойские структуры, видимо продолжавшиеся ранее к западу и отсутствующие теперь в глубоководных желобах.

Таким образом, на границе океанического ложа и материков происходили и происходят сложные процессы образования, превращения и уничтожения сиалической коры. Внешние контуры континентального обрамления Тихого океана в результате этих процессов нарушились, однако не настолько, чтобы уничтожить общую кольцеобразную конфигурацию пояса.

#### СВЯЗЬ СТРУКТУРНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ КОНТИНЕНТА И ОКЕАНА

В решение вопроса о стабильности или подвижности плит, а также об определении амплитуды, направления и времени их смещения свой вклад могут внести данные о соотношении разломов континентов и океана.

Примечательно, что разломы, опре-



деляющие расположение рудных зон на суше, иногда продолжают и в область океана. Такой является меридиональная тектоническая зона на севере Японии. На островах к ней приурочен пояс полиметаллических месторождений, а в океане вдоль той же зоны протягивается гряда вулканов.

В отдельных случаях разломы служат границами, разделяющими металлогенические зоны. Так, некоторые звенья продольных металлогенических зон Северной и Южной Америки, отличающиеся по типу минерализации, граничат по поперечным разломам. Продолжение этих разломов можно усматривать в так называемых трансформных разломах Тихого океана.

Особо следует остановиться на своеобразной «сетке» разломов, прослеживающихся как на суше, так и в океане. Наиболее крупные из этих разломов удалены друг от друга на равные расстояния (около  $10^\circ$  по карте). Возможно, эти разломы отражают первичную протопланетарную сеть, деформированную в относительно малой степени.

Устойчивая планетарная сеть разломов, которую подчеркивают металлогенические зоны континентов и вулканические зоны океана, свидетельствует о единстве глубинных оболочек Тихоокеанского сегмента. Как же в таком случае быть с выводом о горизонтальных перемещениях литосферных плит (хотя бы и небольшой амплитуды)? Ясно, что движения могли происходить лишь по глубинным оболочкам — астеносфере — и, вероятно, без существенных поворотов, что обусловило общую стабильность ориентировки структур, окружающих Тихий океан.

Устойчивым центром и упором для горизонтальных перемещений служил сохранявший свое изначальное положение Тихоокеанский массив океанической коры. К востоку от него проявлены тенденции сжатия с наполозанием (надвигом) континентальных плит на океан, а к западу — отчетливы тенденции растяжения с образованием окраинных морей, обширных ореолов гранитной активизации. Нарушения кольцевого контура, особенно значительные в экваториальной области (например, экваториальный «сдвиг» к северу от Новой Гвиней), все же не уничтожили перипацифической ориентировки структур в общем стабильного Тихоокеанского пояса.

Итак, исключительное богатство Тихоокеанского рудного пояса металлами обусловлено длительной тектоно-магматической активностью зоны, где материк граничит с океаном. Для данной зоны характерна многократная активизация движений, повторное поступление магмы и растворов из мантии, перегруппировка вещества в процессе осадкообразования, метаморфизма, магматизма и рудообразования. Все это привело к возникновению повышенных концентраций металлов. Заметим, что повышенная рудоносность Тихоокеанского пояса подчеркивает общую геохимическую неоднородность нашей планеты.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Пуцаровский Ю. М. ВВЕДЕНИЕ В ТЕКТонику ТИХООКЕАНСКОГО СЕГМЕНТА ЗЕМЛИ. М., 1972.

Радкевич Е. А. МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ ГЛУБИННОГО СТРОЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ И ВЕРХНЕЙ МАНТИИ. М., 1970.

Радкевич Е. А. МЕТАЛЛОГЕНИЧЕСКИЕ ПРОВИНЦИИ ТИХООКЕАНСКОГО РУДНОГО ПОЯСА. М., 1977.

Смирнов С. С. О ТИХООКЕАНСКОМ РУДНОМ ПОЯСЕ. — Известия АН СССР, сер. геол., 1946, № 2.

Штилле Г. ИЗБР. ТРУДЫ. М., 1964.

Щеглов А. Д. МЕТАЛЛОГЕНИЯ ОБЛАСТЕЙ АВТОНОМНОЙ АКТИВИЗАЦИИ. М., 1968.

## Квантовая электродинамика на малых расстояниях

М. А. Смондырев,  
кандидат  
физико-математических наук

Объединенный институт ядерных  
исследований  
Дубна

В Институте физики элементарных частиц (Гамбург, ФРГ) с помощью установки на встречных электрон-позитронных пучках PETRA проведено несколько экспериментов по изучению свойств электромагнитных взаимодействий при больших энергиях. Они были выполнены несколькими интернациональными группами физиков, использовавшими в своих опытах различные детекторы элементарных частиц<sup>1</sup>. Исследовался процесс рассеяния электронов и позитронов  $e^- + e^+ \rightarrow e^- + e^+$  и их аннигиляция с образованием лептонных пар  $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ ,  $e^- + e^+ \rightarrow \tau^- + \tau^+$  при энергиях от 9,4 ГэВ до 31,6 ГэВ (в системе центра масс сталкивающихся частиц).

В проведенных опытах была достигнута большая точность измерений. Например, в экспериментах группы PLUTO эффективность распознавания событий  $e^- + e^-$ -рассеяния в диапазоне углов от  $35^\circ$  до  $145^\circ$  составила  $(99,3 \pm 0,4)\%$ , а разрешающая способность детектора по углу —  $(1-1,5)^\circ$ . Экспериментаторами измерялись дифференциальное и полное сечения процессов рассеяния. Напомним, что эти величины имеют размерность площади ( $\text{см}^2$ ) и характеризуют вероятность процесса. При этом дифференциальное сечение  $d\sigma/d\Omega$  любого процесса упругого рассеяния равно отношению числа частиц, рассеянных

в единицу времени в единицу телесного угла, к потоку падающих частиц ( $d\Omega$  — элемент телесного угла). Полное сечение процесса, определяемое как интеграл дифференциального сечения по всему телесному углу  $\Omega = 4\pi$  стр., есть отношение общего числа рассеянных в единицу времени частиц к падающему потоку.

Измеренные значения дифференциального и полного сечений, их зависимость от энергии и угла рассеяния хорошо согласуются с предсказаниями квантовой электродинамики (КЭД). В частности, с точностью (5—8)% проверена справедливость ряда таких общих принципов КЭД, как отсутствие внутренней структуры у лептонов, так называемая ед- и ет-универсальность и т. д.

Согласно КЭД, лептоны взаимодействуют между собой, испуская и поглощая кванты электромагнитного поля — фотоны. В первом приближении теории можно считать, что лептоны обмениваются лишь одним фотоном. Однофотонный обмен идет в три этапа: вначале фотон испускается лептоном, затем этот же фотон с какой-то вероятностью  $G^2$  переходит в другую точку пространства — времени, где поглощается вторым лептоном. Следовательно, сечение любого электромагнитного процесса с однофотонным обменом пропорционально величине  $G^2$ . Амплитуда вероятности  $G$  распространения фотона из одной точки в другую, как это следует из теории, пропорциональна  $1/q^2$ , где  $q$  — импульс фотона.

Чтобы интерпретировать данные опыта, целесообразно ввести какой-либо параметр, который мог бы служить количественной мерой отклонений от обычной теории электромагнитных взаимодействий.

С этой целью выражение для  $G$  видоизменяют, вводя в него определенные свободные параметры. Естественно, при этом модифицируются и выра-

жения для сечений различных процессов. Их величину надо сравнить с экспериментом и определить значения свободных параметров. Если опыт не даст расхождений с обычной теорией, то для свободных параметров будут найдены ограничения в виде неравенств, зависящих от экспериментальных ошибок. Они-то и будут устанавливать границы применимости теории.

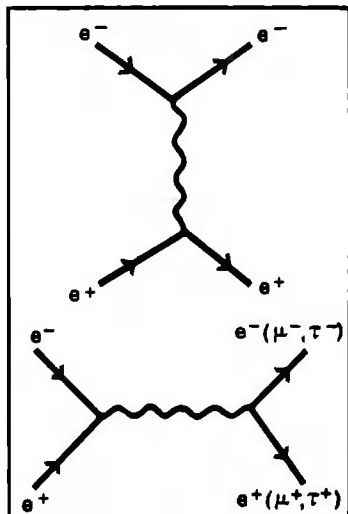
Видоизменения вносятся в выражение для амплитуды вероятности  $G$  обычно на основании простых физических соображений, они служат лишь для стандартизации процедуры описания возможных отклонений экспериментально наблюдаемых величин от предсказываемых КЭД, и в них не следует искать глубокого теоретического смысла. Именно поэтому существует целый ряд таких модификаций, но мы остановимся здесь только на одной из них.

В КЭД испускаемый лептоном фотон взаимодействует с ним локально (в одной точке пространства — времени). Такое представление унаследовано от классической теории поля, где электрон не обладает внутренней структурой и его заряд сосредоточен в одной точке. Классический потенциал взаимодействия зарядов описывается в таком случае хорошо известным законом Кулона  $1/r$ .

Теперь представим себе, что электрон имеет некоторую протяженность, так что его заряд как бы «размазан» по объему с некоторой плотностью  $\rho(r)$ . Пусть, далее, основная часть заряда сосредоточена в области радиуса  $r_0$ , за пределами которой  $\rho(r)$  быстро стремится к нулю. Тогда потенциал взаимодействия можно представить в виде  $2 \cdot (1 - e^{-r/r_0})/r$ ,

<sup>1</sup> Об установке PETRA и первых результатах, полученных на ней, см.: «Природа», 1979, № 5, с. 9; № 7, с. 106.

<sup>2</sup> Здесь следует отметить, что мы, как это принято в квантовой теории поля, используем систему единиц, в которой  $\hbar = c = 1$ . В этой



Графическое изображение (диаграммы Фейнмана) процесса рассеяния электрона и позитрона в приближении однофотонного обмена. Фотон, переносящий электромагнитные взаимодействия, обозначен волнистой линией. Нижняя диаграмма описывает также процесс аннигиляции электрона и позитрона с рождением лептонной пары  $\mu^+ \mu^-$  или  $\tau^+ \tau^-$ .

где  $\Lambda = 1/r_e$ . Такой потенциал взаимодействия на больших расстояниях ( $r \gg r_e$ ) неотличим от кулоновского. При переходе же к малым расстояниям ( $r \rightarrow 0$ ) он не обращается в бесконечность, а имеет значение, равное  $\Lambda$ , что и является следствием введенного конечного размера электрона. Такому потенциалу соответствует модифицированная амплитуда вероятности распространения фотона  $G$ :

$$G = \frac{1}{q^2} - \frac{1}{q^2 - \Lambda^2} = \frac{1}{q^2} \left[ 1 - \frac{q^2}{q^2 - \Lambda^2} \right]$$

вместо обычного  $1/q^2$ . Вероятности процессов с однофотонным обменом при этом приобретают множитель  $[1 - q^2/(q^2 - \Lambda^2)]^2$ , который в КЭД (при  $\Lambda \rightarrow \infty$ ) равен единице.

Например, в случае аннигиляции  $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ , когда

системе энергия и масса имеют размерность обратной длины, причем  $1/\text{ГэВ} = 1,97 \cdot 10^{-14}$  см.

импульс фотона  $q$  равен сумме импульсов сталкивающихся электрона и позитрона, а квадрат импульса  $q^2$  — квадрату полной энергии в системе их центра масс ( $q^2 = S$ ), полное сечение этого процесса есть

$$\sigma = \sigma_0 [1 - S/(S - \Lambda^2)]^2,$$

где  $\sigma_0$  — теоретически полученное в рамках КЭД сечение того же процесса.

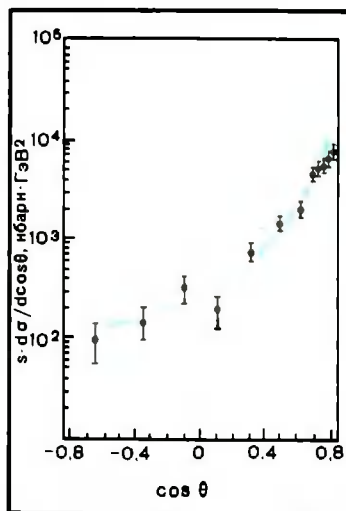
Если считать, что  $\sigma$  — это экспериментально наблюдаемое сечение, то, сравнивая его с теоретическим значением  $\sigma_0$ , можно получить ограничения на величину  $\Lambda$ .

Заметим, что фотон, которым обмениваются взаимодействующие частицы, ненаблюдаем; он существует лишь короткое время, как говорят, виртуально. Время его жизни  $\Delta t$  определяется соотношением неопределенностей. Поскольку энергия фотона равна  $\sqrt{S}$ , то  $\Delta t \sim 1/\sqrt{S}$ , и расстояние, преодолеваемое фотоном до его поглощения, также пропорционально  $1/\sqrt{S}$ . Можно сказать, что в этом процессе сталкивающиеся электрон и позитрон сближаются на расстояние  $\sim 1/\sqrt{S}$ . Таким образом, повышая энергию столкновения частиц, мы исследуем все более малые расстояния. Мерой отклонения предсказаний теории от экспериментальных данных и служит введенная выше «масса»  $\Lambda$ , которой сопоставляется расстояние  $g = 1/\Lambda$ .

В экспериментах группы PLUTO найдено, что в процессе  $e^- + e^+$ -рассеяния величина  $\Lambda \gtrsim 80$  ГэВ. Это означает, что если электрон и обладает внутренней структурой, то она может проявиться лишь на расстояниях, которые меньше  $r_e = 1/\Lambda = 2,5 \cdot 10^{-16}$  см. Для мюона (реакция  $e^+ + e^- \rightarrow \mu^+ + \mu^-$ ) этот же вывод справедлив при  $r_\mu = 9,4 \cdot 10^{-16}$  см ( $\Lambda \gtrsim 21$  ГэВ).

Исследуя электрон-позитронную аннигиляцию, группа MARK-J получила, что в процессе  $e^- + e^+ \rightarrow \mu^+ + \mu^-$   $\Lambda \gtrsim 71$  ГэВ и  $\Lambda \gtrsim 47$  ГэВ в процессе  $e^- + e^+ \rightarrow \tau^- + \tau^+$ . Этому соответствуют расстояния  $r_\tau \approx 2,8 \cdot 10^{-16}$  см и  $r_\tau \approx 4,2 \cdot 10^{-16}$  см.

Недавно стало известно, что эта группа улучшила свои результаты: для реакции  $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$  найдено, что



Проверка предсказаний квантовой электродинамики. Показана зависимость дифференциального сечения процесса  $e^- + e^+ \rightarrow e^- + e^+$  от угла рассеяния  $\theta$  при энергии в системе центра масс  $\sqrt{S} = 31,6$  ГэВ [теоретическая кривая и экспериментальные точки группы PLUTO].

$\Lambda \gtrsim 120$  ГэВ, откуда следует  $r_e \approx 1,6 \cdot 10^{-16}$  см. Группа TASSO изучала процесс  $e^- + e^+ \rightarrow \tau^- + \tau^+$  в диапазоне энергий от 12 ГэВ до 31,6 ГэВ. Этой группой были получены более жесткие ограничения на величину  $\Lambda$  для такой реакции:  $\Lambda \gtrsim 67$  ГэВ ( $r_e \gtrsim 2,9 \cdot 10^{-16}$  см). По последним сообщениям этой группы  $\Lambda \gtrsim 112$  ГэВ ( $e^- + e^+ \rightarrow e^- + e^+$ ),  $\Lambda \gtrsim 80$  ГэВ ( $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ ) и  $\Lambda \gtrsim 73$  ГэВ ( $e^- + e^+ \rightarrow \tau^- + \tau^+$ ).

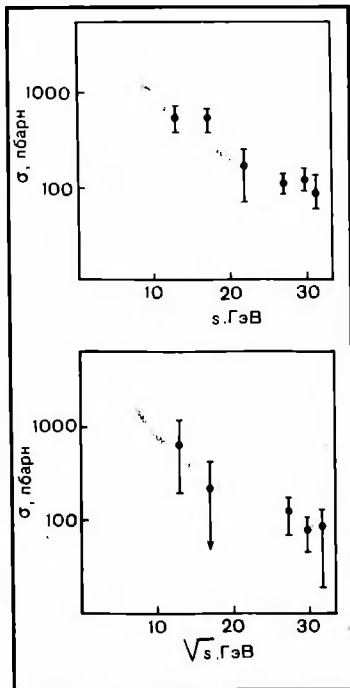
Процесс двухфотонной аннигиляции электрона и позитрона  $e^- + e^+ \rightarrow \gamma + \gamma$  при энергиях от 27,7 ГэВ до 31 ГэВ в широком интервале углов рассеяния  $\theta$  ( $14^\circ < \theta < 166^\circ$ ) был объектом исследования в группе JADE. Найдено, что  $\Lambda \gtrsim 38$  ГэВ. Близкие результаты получены несколько позже группами PLUTO ( $\Lambda \gtrsim 46$  ГэВ в интервале энергий 9,4—31 ГэВ) и TASSO ( $\Lambda \gtrsim 34$  ГэВ при энергиях столкновения 12 ГэВ и 30,7 ГэВ). Видно, что ограничения на величину  $\Lambda$ , полученные при исследовании двухфотонной аннигиляции, несколько слабее. Однако эти данные, дополнительно подтверждающие справедливость КЭД, инте-

ресны тем, что получены при исследовании совершенно иного процесса, нежели обсуждавшиеся выше<sup>3</sup>.

Таким образом, предположение, что лептоны — точечные объекты, проверено к настоящему времени на весьма малых расстояниях  $\sim 2 \cdot 10^{-16}$  см.

При столь высоких энергиях уже становятся заметными эффекты слабого взаимодействия, и это дает возможность проверить не только КЭД, но и существующую единую теорию слабых и электромагнитных взаимодействий<sup>4</sup>. Так, проведенные эксперименты позволяют независимо от других опытов определить основной параметр теории — угол Вайнберга  $\theta_w$ . Теоретические вычисления, в которых использовались последние данные группы MARK-J, привели к ограничениям  $0,02 < \sin^2 \theta_w < 0,48$ , что согласуется с предыдущими измерениями угла Вайнберга в других процессах<sup>5</sup>.

Полученные данные позволяют также проверить, насколько верно предположение, что мюон и  $\tau$ -лептон, отличающийся от электрона массой, во всех других свойствах ему идентичны (гипотеза  $e\mu$ - и  $e\tau$ -универсальности). Совпадение расчетов с результатами экспериментов показывает, что это



Проверка  $e\mu$ - и  $e\tau$ -универсальности. Показана зависимость полного сечения аннигиляции с рождением лептонной пары  $\mu^+\mu^-$  (вверху) и  $\tau^+\tau^-$  (внизу) от энергии в системе центра масс  $\sqrt{s}$  [теоретические кривые и экспериментальные точки группы MARK-J]. По оси ординат отложено полное сечение  $\sigma$  в пикобарах.

справедливо по крайней мере при современных энергиях сталкивающихся частиц. Проверка КЭД при максимально достигимых в настоящее время энергиях, или, что то же самое, на малых расстояниях, важна также для дальнейшего изучения свойств пространства — времени.

Пространственно - временные соотношения на больших расстояниях известны нам из макроскопических опытов. Установлено, что свойства пространства — времени описываются так называемой геометрией Минковского — геометрией специальной теории относительности, являющейся обобщением обычной геометрии Евклида.

В КЭД в каждой точке пространства — времени заданы взаимодействующие между

собой квантовые волновые поля, поставленные в соответствие частицам. При этом предполагается, что в мире элементарных частиц пространственно-временные соотношения остаются прежними, так что свойства пространства — времени на малых расстояниях описываются все той же геометрией Минковского.

Теория электромагнитных взаимодействий в пространстве Минковского как в классическом, так и в квантовом варианте приводит к известным трудностям: например, такие величины, как изменение массы электрона в результате его взаимодействия с собственным электромагнитным полем, оказываются при формальном вычислении бесконечными. Это связано с вкладом от квантовых волновых полей, быстро меняющихся во времени и на малых расстояниях. В конечном счете, причиной появления бесконечностей является предположение о точечности элементарных частиц. На ранних стадиях развития квантовой теории поля существование в ней бесконечных и, стало быть, физически бессмысленных выражений рассматривалось как серьезный порок теории. В частности, было неясно, как вычислять квантовые поправки к процессам рассеяния частиц и другим явлениям, для которых была уже известна классическая теория.

Почти с самого момента появления квантовой теории поля высказывалась и обсуждалась гипотеза, что разрешение трудностей надо искать в изменении свойств пространства — времени на малых расстояниях. Например, можно предположить, что пространство на малых расстояниях обладает дискретной структурой — как бы состоит из отдельных гранул — это и запрещает существование быстро меняющихся полей. При таком рассмотрении в теории должен появиться параметр типа размера гранулы, называемый фундаментальной длиной. В более общем смысле фундаментальная длина определяет масштабы областей пространства — времени, в которых следует ожидать кардинального изменения наших представлений о

<sup>3</sup> Подробности об упомянутых в статье экспериментах можно найти в следующих работах: Preprints DESY 80/01, 80/12, 80/14, 80/33, 80/35. Hamburg, 1980; Barber D. et al. «Phys. Rev. Lett.», 1979, v. 43, p. 1915; Duinker P. Invited Talk at the Conference on Color, Flavor and Unification. Univ. of California, Irvine, 1979.

<sup>4</sup> Подробнее об этой теории и ее экспериментальном обосновании см.: Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — «Природа», 1980, № 7; Смондырев М. А. Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама. — «Природа», 1979, № 4.

<sup>5</sup> Wright N., Sakurai J. Preprint UCLA/80/TEP/3. Univ. of California, Los Angeles, 1980.

физике микромира<sup>6</sup>. КЭД содержит две универсальные постоянные — скорость света  $c$  и постоянную Планка  $\hbar$ , играющие важную роль в специальной теории относительности и квантовой механике. Из этих величин невозможно построить комбинацию, имеющую размерность длины и времени, что формально отражает факт использования в КЭД «классической» геометрии пространства — времени. Идея существования в природе новой универсальной постоянной с размерностью длины многократно обсуждалась в литературе (Г. В. Ватагин, В. Гейзенберг, М. А. Марков, Х. Юкава, Х. Снайдер, Ч. Янг, И. Е. Тамм, В. Г. Кадышевский и др.).

В конце 40-х годов была предложена так называемая процедура перенормировок, позволяющая связать наблюдаемые физические величины лишь с конечными выражениями, выделенными по определенным правилам из возникающих в теории бесконечностей.

Это до некоторой степени сняло проблему малых расстояний. При разумных энергиях взаимодействия, когда частицы сближаются хоть и на малые, но все же обычные для микромира расстояния, процедура перенормировок позволяет в принципе использовать КЭД для теоретических расчетов практически с любой степенью точности.

Однако, несмотря на успешное объяснение наблюдаемых эффектов, имеются указания на внутреннюю непоследовательность КЭД. Анализ теории, по-видимому, показывает, что предположение о ее справедливости на сколь угодно малых расстояниях приводит к противоречиям. Правда, теперь трудности возникают при рассмотрении столь малых расстояний, что проблема имеет пока сугубо теоретическое зна-

чение: соответствующая этим масштабам энергия фантастически велика — она превышает полную энергию Вселенной.

Ясно, что, прежде чем мы приблизимся к таким энергиям, в игру вступят сильные, слабые и даже гравитационные взаимодействия, что может в корне изменить выводы обычной теории электромагнитных сил.

В связи с этим высказывалось мнение, что проблему малых расстояний можно решить при совместном рассмотрении всех сил, действующих между частицами. Иначе говоря, ожидалось, что фундаментальная длина может возникнуть в результате сложной корреляции между различными типами взаимодействий. В разное время в качестве кандидатов на эту роль предлагались характерные пространственные масштабы этих взаимодействий:  $10^{-11}$  см (электромагнитные взаимодействия),  $10^{-13}$ — $10^{-14}$  см (сильные),  $10^{-16}$  см (слабые).

Идея проверки КЭД в опытах с лептонами в известной степени связана с такими представлениями. Она появилась в 50-е годы, когда считалось, что трудности в обсуждавшихся тогда вариантах теории сильных взаимодействий могут указывать на наличие фундаментальной длины порядка  $10^{-13}$ — $10^{-14}$  см. Для ее обнаружения И. Я. Померанчук и В. Б. Берестецкий предложили в 1955 г. проверку КЭД в реакции  $e^- + e^+ \rightarrow \mu^- + \mu^+$ .

Сейчас с помощью этой и других реакций мы уже изучили расстояния вплоть до  $\sim 10^{-16}$  см. Никаких отклонений от КЭД пока не найдено. Стало более или менее очевидным, что электромагнитные, сильные и слабые взаимодействия не могут привести к появлению фундаментальной длины. Имеются основания полагать<sup>7</sup>, что фундаментальная длина, если она вообще существует, не превышает  $10^{-17}$  см или даже  $10^{-23}$ — $10^{-24}$  см.

Привлекательна идея свя-

зать ее с гравитационным взаимодействием. В закон всемирного тяготения входит гравитационная постоянная  $\gamma \approx 6,673 \cdot 10^{-8}$  см<sup>3</sup>/г·с<sup>2</sup>, с помощью которой можно построить величину с размерностью длины  $r_{\text{пл}} = \sqrt{\hbar/c^3} \approx 10^{-33}$  см (ее называют планковской длиной). Возможно, что именно она может быть фундаментальной длиной, определяющей размеры элементарных частиц. В пользу этой идеи говорит универсальность гравитации, которая, в отличие от прочих взаимодействий, присуща всем телам.

С другой стороны, в современных теориях поля, так называемых калибровочных теориях, трудности, возникающие в КЭД на сверхмалых расстояниях, в основном снимаются. К этому типу теорий относится, в частности, квантовая хромодинамика, претендующая сейчас на роль теории сильных взаимодействий. На основе калибровочных теорий предпринимаются попытки построить модель, объединяющую сильные и электрослабые взаимодействия. Предполагается, что объединенные модели, также действующие в пространстве Минковского, справедливы вплоть до расстояний  $\sim 10^{-29}$  см, т. е. уже почти до планковской длины  $10^{-33}$  см. Важным косвенным указанием в пользу этого могло бы послужить открытие распада протона, неустойчивость которого следует из объединенных моделей<sup>8</sup>.

Таким образом, возможно, что геометрия Минковского действует до расстояний  $\sim 10^{-33}$  см, где она уже не будет применима из-за квантовых флуктуаций геометрических характеристик пространства, как это следует, по-видимому, из основных идей квантовой теории и общей теории относительности.

Справедливо ли это, выяснится ли в конце концов, что фундаментальная длина существует, или на пути от  $10^{-16}$  см до  $10^{-33}$  см физики встретятся с совершенно неожиданными явлениями, покажет будущее.

<sup>6</sup> См.: Киржниц Д. А. Проблема фундаментальной длины. — «Природа», 1973, № 1; Кадышевский В. Г. Существует ли элементарная длина? — В кн.: Новое в науке, жизни, технике, серия физика, № 9. М., 1975.

<sup>7</sup> Кадышевский В. Г. «Физика элементарных частиц и атомного ядра» (ЭЧАЯ), 1980, т. 11, вып. 1, с. 5.

<sup>8</sup> Об экспериментах по определению времени жизни протона см.: «Природа», 1980, № 3, с. 110.



## Проект «Реввертаза» выполнен<sup>1</sup>

Л. Л. Киселев



Лев Львович Киселев, доктор биологических наук, заведующий лабораторией Института молекулярной биологии АН СССР. Область научных интересов — генетическая энзимология, молекулярная онковирусология, генетическая инженерия. Исполнительный директор Проекта «Реввертаза». Лауреат Государственной премии СССР 1979 г. Неоднократно печатался в «Природе».

В молекулярной биологии 70-х годов можно особо выделить два выдающихся открытия, ставших фундаментом новой области современной биологии — генетической инженерии. Речь идет об открытии двух классов ферментов: рестрикционных эндонуклеаз, или рестриктаз, избирательно разрезающих молекулы ДНК на фрагменты различной длины, и особого фермента обратной транскриптазы (или ревертазы), катализирующей РНК-направляемый синтез ДНК. Не случайно авторы этих работ стали лауреатами Нобелевской премии (1975 и 1978 гг.). Последнее десятилетие в молекулярной биологии, когда эти ферменты стали широко использоваться для решения огромного числа научных задач, можно было бы с полным правом назвать эпохой РР» (рестриктаза + ревертаза). Существует глубокая связь между этими двумя важнейшими группами ферментов: так, если с помощью РНК-направляемого синтеза ДНК, в конечном счете, были синтезированы структурные гены вне клетки, то рестриктазы в сочетании с методами ге-

нетической инженерии позволили эти гены размножить и детально изучить.

Открытие обратной транскрипции позволило вплотную подойти к решению ряда важнейших задач в современной биологии. С помощью этих ферментов были синтезированы молекулы ДНК на матрице РНК, тем самым было осуществлено центральное звено в ферментативном синтезе генов. В свою очередь, ДНК, полученная таким способом, стала универсальным инструментом для изучения структуры и функции генетического аппарата от вируса до человека. Обратная транскрипция сыграла большую роль и в развитии молекулярной онковирусологии: с ее помощью были изучены механизм размножения РНК-содержащих опухолеродных вирусов и молекулярные основы трансформирующего действия этих вирусов на клетки. Энзимология обратной транскрипции прочно вошла в общую генетическую энзимологию, расширив наши знания о структуре, свойствах и каталитическом механизме действия ревертаз, а сама ревертаза стала незаменимым помощником при расшифровке первичной структуры РНК.

Значение и роль обратной транскрипции в молекулярной биологии, молекулярной генетике, вирусологии и онковирусологии, биоорганической химии, энзимологии, медицинской генетике были

<sup>1</sup> О предпосылках создания Проекта «Реввертаза», его организационных принципах, научной программе и первых результатах см.: Энгельгардт В. А. Проект «Реввертаза». — «Природа», 1974, № 9.

быстро осознаны в мировой науке; на развешивание этих работ были брошены значительные средства, особенно в США. В СССР и социалистических странах до 1972 г. работы по обратной транскрипции не проводились. В конце 1971 г. В. А. Энгельгардт предложил организовать единую комплексную целевую научную программу исследований по обратной транскрипции, построенную на принципах кооперации и разделения труда. Программу, названную Проект «Реввертаза», возглавил Научный совет по проблемам молекулярной биологии АН СССР в 1972 г. под научно-организационным руководством В. А. Энгельгардта. Функции головного учреждения по Проекту были возложены на Институт молекулярной биологии АН СССР, в число участников проекта вошло около 20 научных учреждений Академии наук СССР и ее Сибирского отделения, академии наук Украины и Латвии, Академии медицинских наук, Министерства высшего и среднего специального образования СССР. Активное участие в организации и проведении Проекта приняли исследователи из ГДР и ЧССР в рамках межакадемического сотрудничества ученых социалистических стран. География членов Проекта весьма широка — это Москва и Московская область, Киев и Новосибирск, Рига и Ленинград, Берлин и Прага.

Вся организация работ по Проекту регламентировалась специальным «Положением», совместно выработанным членами-учредителями Проекта, а содержание исследований определялось также коллективно выработанной программой, положение которой систематически уточнялись и дополнялись. Проект не предусматривал дополнительной материальной поддержки, а также создания новых лабораторий и расширения существующих. Вся работа была построена на мобилизации внутренних резервов, тесной взаимопомощи, максимальном использовании ранее накопленного экспериментального опыта его участников, постоянном научном общении, вере в успех дела и энтузиазме.

#### СИНТЕЗ ДНК, КОМПЛЕМЕНТАРНЫХ РНК, И ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ ПРЕПАРАТОВ ДНК

Радиоактивно меченная ДНК, полученная путем обратной транскрипции, дала в руки исследователей новый точный инструмент, так называемые молекулярные зонды высокой избирательности. Эту ферментативно синтезированную ДНК — ко-

пию РНК (кДНК) можно использовать в реакциях молекулярной гибридизации с ДНК и РНК для решения многих важных задач.

Так, молекулярная гибридизация меченой кДНК с целой молекулой ДНК или с ее фрагментами позволяет определить число генов, обнаружить чужеродную ДНК в молекулах-векторах, найти специфические последовательности генов и их фрагментов, а также определить место данного гена в хромосоме. При гибридизации кДНК с мРНК или про-мРНК можно количественно определить специфическую мРНК в общей популяции мРНК, обнаружить предшественников данной мРНК в про-мРНК, определить число разных типов мРНК и количество их копий в популяции.

Эти гибриды можно использовать как затравку при обратной транскрипции про-мРНК и как специфический ингибитор трансляции мРНК. Гибридизация кДНК с вирусной РНК дает возможность обнаружить гомологию между геномами разных вирусов, интегрированные и латентные вирусы, а также изучить цикл репродукции ретровирусов.

Для получения комплементарных копий ДНК (кДНК) были использованы весьма разнообразные матрицы. Благодаря такому широкому кругу матриц, при обратной транскрипции были сделаны интересные наблюдения, касающиеся структуры как мРНК, так и комплементарных им ДНК. Оказалось, что кДНК, синтезированные на матрице глобиновых мРНК, обладают вторичной структурой. Значит и сами мРНК также имеют вторичную структуру, что было подтверждено наблюдениями в электронном микроскопе.

Приведем некоторые примеры использования кДНК при изучении генетического аппарата эукариот и вирусов, чтобы оценить широту возникающих при этом возможностей.

Значительную роль призваны сыграть кДНК в изучении природы молекулярных болезней. К числу этих болезней относятся наследственные заболевания крови — талассемии, при которых не образуется одна из двух белковых цепей гемоглобина. В рамках Проекта была изучена одна из форм гомозиготной  $\beta^0$ -талассемии, встречающейся на территории СССР. Методом молекулярной гибридизации кДНК, синтезированных на матрице глобиновых мРНК, было показано, что в ретикулоцитах большого количества мРНК (вероятно,  $\beta$ -цепи) снижено. По-видимому, данная форма бо-

## Ферментативный синтез ДНК на различных матрицах РНК

| Характеристика РНК-матрицы                             | Источники РНК                          | Затравка синтеза                                                                                                      |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Глобиновые мРНК                                        | Ретикулоциты голубя, кролика, человека | Олиго [dT]<br>» »<br>» »                                                                                              |
| Матричная РНК митохондрий (суммарная и индивидуальная) | Печень крыс                            | Олиго [dT] после фрагментации матрицы и полиаденилирования                                                            |
| мРНК L-цепей иммуноглобулинов                          | Плазмоцитома мышей                     | Олиго [dT]                                                                                                            |
| мРНК церулоплазмينا                                    | Печень крыс                            | Олиго [dT], статистический набор олигодезоксирибонуклеотидов, олиго [dT] после фрагментации мРНК и полиаденилирования |
| Пре-проинсулиновая мРНК                                | Карп<br>Кета                           | Олиго [dT]<br>» »                                                                                                     |
| Геномная РНК и ее фрагмент                             | Бактериофаги MS2 и R17                 | Синтетические гетерополимерные олигонуклеотиды                                                                        |
| Геномная РНК                                           | Вирус миелобластоэпителии              | Олиго [dT], эндогенная тРНК                                                                                           |
| Геномная РНК                                           | Вирус растений                         | Статистический набор олигонуклеотидов                                                                                 |
| Геномная РНК                                           | Вирус ащура                            | Олиго [dT] после аденилирования матрицы                                                                               |
| Геномная РНК                                           | Вирус гриппа                           | Статистический набор олигонуклеотидов                                                                                 |
| Гетерогенная ядерная РНК [про-мРНК]                    | Печень крыс, асцитные клетки мышей     | Олиго [dT], эндогенная затравка                                                                                       |
| Геномная РНК                                           | Вирус лейкоза крупного рогатого скота  | Эндогенная затравка                                                                                                   |

лезни связана с дефектом на уровне гена или его транскрипции, но не трансляции. При наследственном заболевании — болезни Вильсона — Коновалова в плазме крови резко падает содержание церулоплазмينا — белка крови, участвующего в переносе ионов меди. Анализ молекулярной природы этой болезни стал возможен лишь с получением комплементарных кДНК. С помощью рестриктаз ДНК крысы расщепляли на крупные фрагменты, затем их разделяли по длине и каждую из фракций гибридизовали с кДНК, синтезированной по церулоплазминовой мРНК. Оказалось, что многие фрагменты ядерной ДНК гибридизуются с кДНК церулоплазмينا, причем их суммарный молекулярный вес превосходит в 10—20 раз молекулярный вес

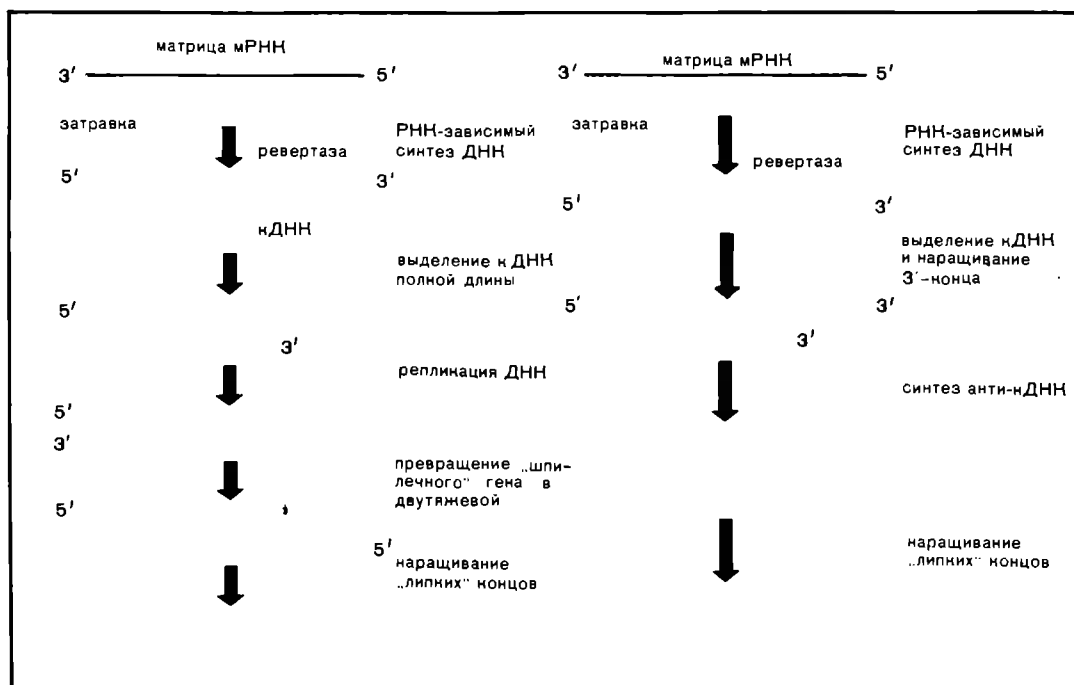
мРНК церулоплазмينا. Из этих наблюдений следует, что ген церулоплазмينا относится к классу так называемых разорванных генов, т. е. состоит из интронов (участков ДНК, нуклеотидные последовательности которых не переписываются в мРНК) и экзонов (участки ДНК, информация которых переписывается в мРНК).

Как известно, РНК-содержащие вирусы растений весьма многочисленны, эволюционные и генетические отношения между этими вирусами изучены мало. С помощью кДНК был намечен экспериментальный подход в решении этой проблемы, поскольку использование кДНК позволяет легко сравнивать нуклеотидные последовательности геномов разных вирусов.

Этот же прием можно использовать и для сравнения в пределах отдельных компонентов РНК одного вируса. В частности, были синтезированы кДНК на РНК различных сегментов генома вируса мозаики ячменя и изучена гомология между этими последовательностями методом перекрестной молекулярной гибридизации кДНК и РНК. Эти работы помимо научной важности имеют большое практическое значение.

## ФЕРМЕНТАТИВНЫЙ СИНТЕЗ СТРУКТУРНЫХ ГЕНОВ И ИХ РАЗМНОЖЕНИЕ

В 1976 г., вскоре после пионерских работ американских и швейцарских исследователей, участники Проекта экспериментально синтезировали структурные гены. Для синтеза были использованы две схемы. Вначале под действием ревертазы происходит обратная транскрипция мРНК, которая служит матрицей синтеза. Затем полу-



### Ферментативный синтез структурных генов.

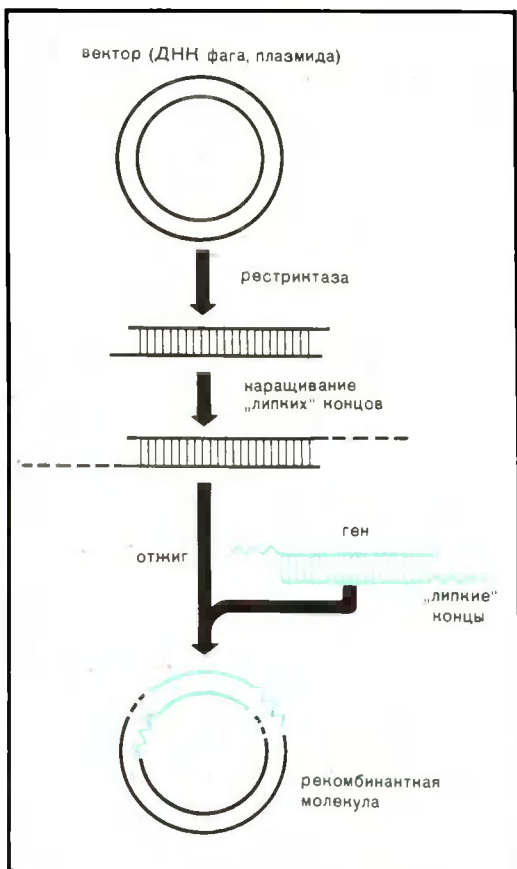
На первой стадии с помощью фермента ревертазы получают кДНК, комплементарную мРНК, которая содержит в себе структурную информацию данного гена. Из полученного набора молекул извлекают кДНК полной длины и используют ее как матрицу для синтеза второй нити ДНК, причем 3'-конец кДНК служит затравкой синтеза (слева). «Шпильчатый» ген разрезают на две нити с помощью специального фермента, а затем наращивают липкие концы.

Можно ферментативным путем на 3'-концах кДНК нарастить липкие концы, присоединяя гомополимерную последовательность (справа). Затем иницируют синтез второй нити ДНК соответствующим комплементарным олигонуклеотидом. В обоих случаях (слева и справа) реакция синтеза второй нити ДНК может катализироваться как ревертазой, так и бактериальной полимеразой I.

чают вторую нить ДНК путем ДНК-зависимого синтеза, с участием или ревертазы, или бактериальной ДНК-зависимой ДНК-полимеразы. В одном случае синтез второй нити ДНК начинается с 3'-конца кДНК, имеющего структуру «шпильки». По второй схеме к ДНК с помощью фермента присоединяют гомонуклеотидную последовательность, а затем добавляют комплементарный этой последовательности олигонуклеотид, который и включает синтез второй нити ДНК.

Синтезированные по любой из описанных схем структурные гены можно использовать для получения рекомбинантных молекул ДНК. Молекулу-вектор (ДНК бактериальной плазмиды или бактериофага) разрезают с помощью рестриктаз и к

полученным концам ферментативным путем присоединяют гомополимерные нуклеотидные последовательности. Параллельно к синтезированному структурному гену также присоединяют комплементарные нуклеотидные последовательности. Например, если к ДНК плазмиды или фага присоединяли полиадениловые участки, то к структурному гену присоединяют полиимидиловые участки. Если затем смешать ДНК гена и ДНК молекулы-вектора, то за счет «липких» концов образуется единая кольцевая структура (рекомбинантная мо-



**Получение рекомбинантной молекулы ДНК.** Молекулу-вектор разрезают в определенном месте с помощью фермента рестриктазы, а затем к ней ферментативным путем присоединяют гомополимерные последовательности и наращивают липкие концы. После смешивания ДНК-вектора и гена (показан цветом) смесь «отжигают» с образованием кольцевой наземкнутой рекомбинантной ДНК, которую используют для трансформации бактерий.

лекула ДНК), которая при обработке ею бактерий кишечной палочки может вызвать трансформацию: возникает бактериальный клон, в котором плаزمида или фаг будут содержать участок чужеродной ДНК. Если такой клон размножить, то тем самым размножится и тот структурный ген, который был искусственно введен в молекулу-вектор.

В различных институтах — участниках Проекта с помощью обратной транскрипции были синтезированы структурные гены на различных матрицах: на глобиновых мРНК кролика и голубя, на препроинсулиновых мРНК карпа, кеты и человека, на ядерных РНК эритроидных клеток костного мозга кролика, на иммуноглобулиновых мРНК мышей и на кристалиновых мРНК лягушки. Большинство синтезированных генов было встроено в молекулы-векторы, и с их помощью получены бактериальные клоны, содержащие чужеродные гены.

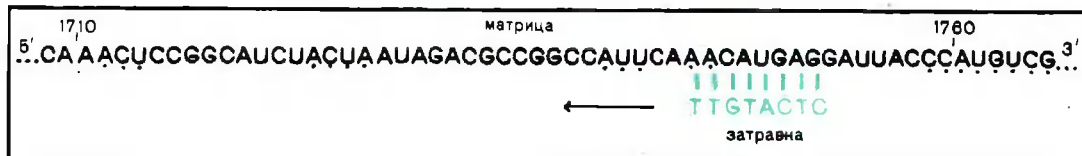
Таким образом, успешный ферментативный синтез структурных генов внес существенный вклад в развитие генетической инженерии в СССР и социалистических странах. Во многих научных учреждениях, ведущих генноинженерные исследования и не входящих в Проект, используются синтезированные структурные гены, полученные в лабораториях участников Проекта.

## МЕХАНИЗМ ОБРАТНОЙ ТРАНСКРИПЦИИ

В большинстве лабораторий, где получают ДНК с помощью РНК-направляемого синтеза, практически не уделяют внимания самому механизму обратной транскрипции. Между тем очевидно, что подобное изучение полезно как с точки зрения полного использования возможностей обратной транскрипции, так и представляет несомненный интерес с позиций генетической энзимологии.

Участникам проекта впервые удалось показать, что короткие (8—9-членные) гетерополимерные олигодезоксирибонуклеотиды, полученные в результате химического синтеза, могут быть эффективными и избирательными «фазовыми» затравками обратной транскрипции, если они по своей нуклеотидной последовательности комплементарны определенному участку РНК-матрицы. Важность этой универсальной системы обратной транскрипции состоит в том, что с определенных участков молекул РНК можно получать фрагменты ДНК, гомогенные по своей структуре.



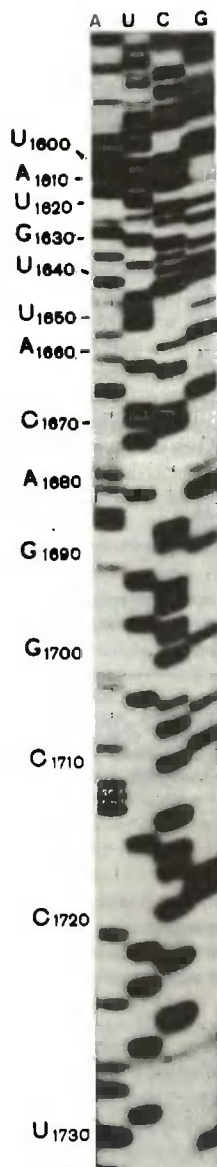


Обратная транскрипция, инициированная гетерополимерным олигодезоксирибонуклеотидом, комплементарным заранее выбранному участку РНК-матрицы.

Матрицей служит РНК, выделенная из бактериофага MS2, первичная структура которой известна. Затравку синтезируют химическим путем. Реввертаза, катализирующая синтез ДНК, выделена из вируса птичьего миелобластома.

Способ инициации обратной транскрипции с помощью фазовых затравок лег в основу нового метода расшифровки первичной структуры РНК. Он основан на том, что аналоги субстратных дезокси-нуклеозидтрифосфатов под действием ревертазы включаются в растущую цепь ДНК. Однако, так как они лишены 3'-ОН группы, синтез обрывается ввиду невозможности присоединить очередной нуклеотид. При подборе определенных концентраций аналогов синтез останавливается статистически. Иными словами, образуется набор фрагментов ДНК, оканчивающихся одинаковым нуклеотидом. Если образующиеся фрагменты ДНК разделить электрофорезом в полиакриламидном геле, то затем можно легко определить расстояние от 5'-конца молекулы до данного 3'-концевого нуклеотида непосредственно на радиоавтограмме. Достоинство метода заключается в его универсальности, скорости анализа и возможности работать с малыми количествами исходного материала. Таким образом, обратная транскрипция оказывается сейчас самым удобным методом для расшифровки первичной структуры РНК. Несомненно, что широкое распространение этого подхода резко увеличит объем наших знаний о нуклеотидных последовательностях РНК.

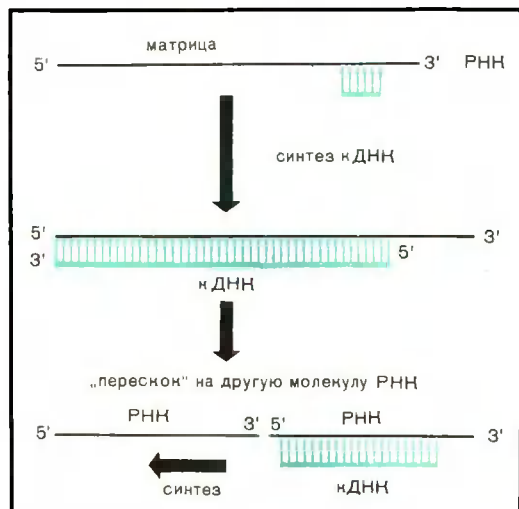
Интересные результаты были получены при детальном анализе механизма инициации, элонгации и терминации. Удалось установить, что для начала синтеза главную роль играет не двуспиральная структура комплекса матрица-затравка, а наличие 3'-ОН группы на определенном расстоянии от полинуклеотидной цепи матрицы. Это означает, что ревертаза взаимодействует преимущественно



Радиоавтограмма разделения фрагментов ДНК, синтезированных на матрице РНК, на полиакриламидном геле. А, U, C, G — нуклеотиды, положение которых определено на данной дорожке. Цифры указывают на порядковый номер нуклеотида от 5'-конца.

с однотяжевыми участками матрицы, а не с дуплексом матрица — затравка.

Далее было обнаружено весьма своеобразное явление: ревертаза может продолжать синтез непрерывной цепи ДНК даже в том случае, когда в полинуклеотидной цепи матрицы имелся перерыв в ковалентной структуре. Синтез заканчивается, когда матрица полностью исчерпана, причем ревертаза способна копировать концевой нуклеотид, что было показано прямым анализом.

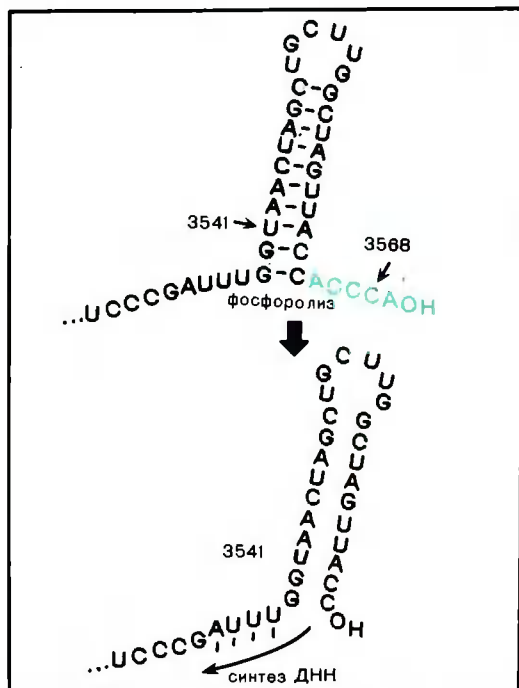


Синтез ДНК на ковалентно прерванной матрице. После исчерпания матрицы освободившееся на ревертазе место занимает новая матрица (происходит «перескок»), на которой происходит дальнейший синтез кДНК.

В дополнение к известным способам инициации был предложен еще один, который позволяет получить ковалентный РНК-ДНК гибрид с комплементарной структурой.

При изучении обратной транскрипции гигантских ядерных РНК был обнаружен еще один возможный способ инициации. Выяснилось, что эти РНК ассоциированы с низкомолекулярными РНК, которые служат затравкой при синтезе ДНК под действием ревертазы. Неизвестно, происходит ли этот процесс *in vivo*, но ситуация весьма напоминает ту, которая имеет место в случае онкорнавирусов, где геномная РНК и тРНК играют соответственно роль матрицы и затравки.

Наконец, можно пользоваться еще одним способом инициации обратной транскрипции, например, в тех случаях, когда первичная структура РНК неизвестна и она не содержит гомополимерных последовательностей. Если ферментативным путем нарастить гомополимерную последовательность на 3'-конце матрицы, а затем добавить синтетический олигонуклеотид, комплементарный этой последовательности. Образующийся матрично-затравочный комплекс пригоден для синтеза ДНК под действием ревертазы.



Новый способ инициации обратной транскрипции. 3'-ОН-конец, лишенный внутримолекулярных водородных связей, удаляют ферментативно (фосфорилиз). Образующаяся на 3'-конце «шпилька» может служить для инициации обратной транскрипции. В результате образуется ковалентно непрерывный РНК-ДНК гибрид, имеющий двуспиральную структуру. Показан 3'-концевой участок РНК фага М 32.

## СУЩЕСТВУЕТ ЛИ В НОРМАЛЬНЫХ КЛЕТКАХ ОБРАТНАЯ ТРАНСКРИПЦИЯ?

Как известно, фермент ревертаза входит в состав РНК-содержащих онкодерогенных вирусов, которые благодаря присутствию ревертазы получили название ретровирусов. Ревертаза осуществляет синтез провирусной ДНК, которая встра-

ивается в геном трансформируемой клетки. Поэтому ревертазу можно считать центральным звеном в размножении и интеграции ретровирусов. Г. Темин, один из первооткрывателей ревертазы, полагал, что обратная транскрипция существует и в нормальных клетках, принимая участие в таких явлениях, как специализация клеток, иммунологическая память и др. Действительно, в куриных и утиных эмбрионах исследователи ФРГ и США обнаружили фермент, близкий по свойствам к ревертазе ретровирусов, но не идентичный ей. Показ трудно сказать, кодируется ли этот фермент геном еще неизвестных дефектных ретровирусов или является истинным клеточным ферментом.

Гораздо более убедительные данные были получены в рамках Проекта «Ревертаза» при исследовании этого вопроса на бактериях кишечной палочки. При тщательном анализе препарата ДНК-зависимой ДНК-полимеразы I (этот фермент давно открыт и изучен А. Корнбергом) выделили фракцию, обладающую РНК-направляемой ДНК-полимеразной активностью; при этом фермент Корнберга был полностью лишен этой активности.

Бактериальная ревертаза (ее молекулярный вес близок к онкорнавирусному ферменту) обладает рядом свойств, сближающих ее с ферментом из ретровирусов. Например, она способна копировать гетерополимерные участки РНК, связываясь с определенными видами тРНК. С другой стороны, бактериальная ревертаза по ряду признаков заметно отличается от высокоочищенной корнберговской полимеразы и является самостоятельным ферментом. Весьма интересно, что количество ревертазы значительно возрастает при переносе с бедной среды на богатую, т. е. при индукции, сопровождающейся активацией синтеза РНК и белков. Возможно, обратная транскрипция — нормальный процесс для клеток прокариот и играет в них определенную, нам еще неизвестную роль.

Эта работа не только поднимает вопрос о месте обратной транскрипции в метаболизме бактериальных клеток, но и ставит аналогичную проблему в отношении клеток эвкариот, которая еще ждет своих исследователей.

#### ПРОБЛЕМЫ МОЛЕКУЛЯРНОЙ ОНКО-ВИРУСОЛОГИИ И ОНКОИММУНОЛОГИИ

В онковирусологической и иммунологической частях Проекта внимание было

сосредоточено на ретровирусах, имеющих наибольшее практическое значение — на вирусе лейкоза крупного рогатого скота, птичьих вирусах миелобластома и саркомы Рауса, вирусах, обнаруживаемых в тканях человека.

При детальном изучении вируса лейкоза крупного рогатого скота методом молекулярной гибридизации доказано, что этот вирус присутствует только в лейкоцитах больных животных, т. е. является экзогенным вирусом.

В геноме лейкоцитов больных животных содержится около трех геномов вируса на диплоидный набор хромосом, что, по-видимому, означает наличие одного или двух, наборов вирусных генов на гаплоидный набор лейкозных клеток. Обнаружено, что по некоторым свойствам ревертаза вируса лейкоза напоминает ревертазу ретровирусов типа В, хотя по молекулярному весу этот фермент относится к типичному ретровирусу типа С. С помощью ревертазы можно распознавать заражение клеток животных одновременно двумя ретровирусами — вирусом лейкоза крупного рогатого скота и бычьим синцитиальным вирусом, которые проявляются при разных условиях культивирования: активность фермента из вируса лейкоза стимулируется ионами магния, а из бычьего синцитиального вируса — ионами двухвалентного марганца. Отработаны условия определения активности ревертазы в крови животных как тест на предлейкозное состояние коров; этот тест можно применять в тех областях СССР, ГДР и ЧССР, где встречается заболеваемость скота лейкозом. Количественный тест на ревертазу вируса лейкоза используют для отбора клеточных культур, продуцирующих этот вирус, и для изучения влияния некоторых соединений на продукцию вируса лейкоза.

Проблемы молекулярной биологии ретровирусов и взаимодействие вирус — клетка были исследованы главным образом на птичьих вирусах — миелобластома и саркомы Рауса. Показано, что рибосомные РНК и ДНК, обнаруженные ранее внутри птичьих вирусов миелобластома, присутствуют в нормальных клетках и по своей первичной структуре не связаны с геномом вируса. По-видимому, они захватываются из цитоплазмы клетки при отпочковывании вирусной частицы. Из вирионов птичьего вируса выделен внутренний структурный белок с молекулярным весом 15 000 (р15). Он оказался ферментом протеазой, расщепляющей бел-

ковый продукт гена gag (ген, находящийся у 5'-конца геномной РНК и кодирующий несколько внутренних белков вириона). Аналогичный по молекулярному весу белок выделен из вируса лейкоза скота, причем показано, что он фосфорилирован и обладает основными свойствами. Возможно, что р15 присущ ретровирусам и птиц, и млекопитающих.

Изучая работу генома вируса саркомы Рауса в клетках млекопитающих, трансформированных этим вирусом, выяснили, что в различных типах клеток синтезируются разные формы вирус-специфических РНК.

С помощью молекулярной гибридизации в ДНК нормальных клеток человека и крысы был обнаружен ген, структура которого близка гену вируса саркомы мышей Молони, вызывающему трансформацию клеток. Клеточный ген обозначают *sac* в отличие от вирусного гена, обозначаемого *src*. Рестриктазы позволили определить существенное различие между этими генами: ген *sac* в несколько раз длиннее гена *src*, что указывает на расщепленный характер клеточного гена. Сейчас уже получены клоны, содержащие эти гены, что позволит в дальнейшем осуществить их сравнительный структурно-функциональный анализ.

В этой части программы были широко использованы иммунологические методы. В сыворотках безлейкозных кур, у которых не могли обнаружить ни ретровирусов, ни антител к ним, найдены антитела к ревертазе птичьего вируса. Эмбриональные экстракты от этих кур содержат вирусный белок р27 (один из белковых продуктов гена gag). Следовательно, когда у птиц нет полных вирусных частиц, функционируют гены gag и pol (ген, кодирующий первичную структуру ревертазы), в результате чего образуются антитела к ревертазе. Таким образом, получен новый весьма чувствительный метод выявления зараженности кур ретровирусами.

Иммунофлюоресцентным методом, используя антиревертазную сыворотку к птичьим ретровирусам, удалось обнаружить ревертазу в клетках млекопитающих, трансформированных вирусом саркомы Рауса. Как известно, такие клетки образуют белки — продукт гена gag. Можно заключить, что в клетках млекопитающих, трансформированных птичьими ретровирусами, функционируют как минимум гены gag и pol. При изучении родства ревертаз ретровирусов птиц — миелоблас-

тоза и миелоцитоматоза — обнаружена их иммунологическая идентичность. Иммунофлюоресцентный метод выявил определенные различия между клетками периферической крови цыплят, зараженных птичьим вирусом, и клетками крыс, трансформированных вирусом саркомы Рауса: если в первом случае ревертаза находится главным образом в цитоплазме, то во втором — фермент обнаруживается также и в ядре.

## КОМПЛЕКСНАЯ ЦЕЛЕВАЯ НАУЧНАЯ ПРОГРАММА

Хотя в рамках журнальной статьи практически невозможно упомянуть все работы, выполненные по научной программе Проекта, тем не менее достаточно ясно, что осуществлен большой объем различных исследований, достаточно сложных экспериментально и методически.

Какие же особенности организации Проекта позволили добиться высоких результатов?

Основной, наиболее важной задачей было получение фермента ревертазы, что, в свою очередь, зависело от наличия достаточных количеств онкорнавируса, в котором содержится фермент. В Институте молекулярной генетики ЧССР, (Прага) под руководством И. Ржжмана было налажено получение плазмы крови цыплят, содержащей в высоких концентрациях ( $10^{12}$ — $10^{13}$  вирусных частиц в 1 мл) вирус миелобластома. Этот ценный опыт был использован при создании новых центров наработки вирус-содержащей плазмы — сначала в Институте полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР, затем в Институте молекулярной биологии и генетики АН УССР (Киев) и в ГДР (Берлин—Бух).

Для осуществления обратной транскрипции помимо фермента необходимо было иметь матрицы, затравки и субстраты, из которых синтезируется ДНК. Эти проблемы также удалось успешно решить. Матрицы синтеза были получены в ряде учреждений: глобиновые мРНК — в Центральном институте молекулярной биологии АН ГДР (Берлин—Бух) и в Институте молекулярной генетики АН СССР (Москва), церулоплазминовая мРНК — в Институте экспериментальной медицины АМН СССР (Ленинград), иммуноглобулиновая мРНК — в Институте молекулярной биологии АН СССР (Москва), инсулиновая мРНК — в Институте молекулярной биологии и генетики АН УССР (Киев). Радио-

активные субстраты были получены совместными усилиями двух институтов АН ГДР, а эти субстраты в нерадиоактивной форме и гомополимерные матрицы — в Специальном конструкторско-технологическом бюро биологически активных веществ Главмикробиопрома СССР под руководством Института цитологии и генетики СО АН СССР и Института органической химии СО АН СССР. Органический синтез гомо- и гетерополимерных олигонуклеотидов-затравок проводился в МГУ под руководством З. А. Шабаровой.

Общая стоимость перечисленных материалов, полученных участниками Проекта и затем истраченных ими на проведение вышеописанных работ, составляет более 0,5 млн валютных рублей (в пересчете на цены зарубежных фирм). Таким образом, Проект помимо чисто научного значения имеет и экономическую сторону, которую в эпоху значительного возрастания стоимости научных исследований нельзя не принимать во внимание.

Вторым фактором, предопределившим успешное развитие работ по Проекту, было разделение обязанностей между участниками с учетом научной специализации, квалификации, предшествующего опыта. Например, работы по ферментативному синтезу генов в одно- и двуклеточных формах велись главным образом в Институте молекулярной биологии (Л. Л. Киселев и сотрудники), Институте молекулярной биологии и генетики (В. М. Кавсан и сотрудники) и в Центральном институте молекулярной биологии АН ГДР (З. Розенталь и сотрудники), там же получали клоны синтезированных структурных генов. Работы по онковирусологии концентрировались в Риге, в Институте микробиологии АН ЛатвССР (Р. А. Кукайн и сотрудники), в Институте молекулярной генетики АН ЧССР в Праге (М. Гравничек и Я. Свобода), в Центральном институте раковых исследований в Берлин—Бухе (В. Вундерлих и др.), в Онкологическом научном центре АМН СССР в Москве (Ф. А. Киселев и сотрудники), в Институте молекулярной биологии (И. М. Чумаков), в Институте проблем онкологии АН УССР (Р. Е. Кавецкий, В. И. Струк). Исследование бактериальной ревертазы возглавил Р. П. Салганик в Институте цитологии и генетики СО АН СССР, иммунологические исследования — Н. А. Граевская в Институте полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР.

За восемь лет работы участники Проекта опубликовали в отечественных

и международных научных журналах свыше 120 работ, большинство которых выполнено при участии двух и более лабораторий, входящих в Проект. На различных научных форумах всесоюзного и международного уровня сделано больше 50 докладов и сообщений. За это же время проведено 5 рабочих совещаний, на которых обсуждались полученные результаты, уточнялась и дополнялась научная программа, планировались и координировались совместные исследования.

В качестве важного положительного итога деятельности Проекта можно отметить подготовку кадров для важной новой области молекулярной биологии. Существенной стороной деятельности Проекта было взаимное обучение, совместные исследования за общим рабочим столом, что резко стимулировало обмен экспериментальным опытом и идеями.

Можно полагать, что организация научных исследований в форме проекта целесообразна прежде всего в тех случаях, когда необходимо в короткий срок организовать заново исследования по комплексной научной проблеме с участием специалистов, принадлежащих к разным научным дисциплинам. Вероятно, в молекулярной биологии еще не раз возникнут ситуации, когда проектная форма организации работ окажется наиболее эффективной, и тогда опыт создания и функционирования Проекта «Реввертаза» будет ценным и нужным. Главный итог работы всех участников Проекта состоит в том, что всего за 2—3 года была создана новая область исследований, которая оказывает большое влияние на развитие сопредельных научных направлений, таких как генетическая инженерия, онковирусология и др. Это, пожалуй, один из немногих случаев, когда организационные принципы, положенные в основу деятельности научного интернационального коллектива, были последовательно проведены в жизнь и привели к крупным научным результатам.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА.

Энгельгардт В. А., Киселев Л. Л. ПРОЕКТ «РЕВЕРТАЗА» (опыт организации исследований по крупной научной проблеме). — «Вестник АН СССР», 1975, № 2.

Киселев Л. Л. НАСТОЯЩЕЕ И БУДУЩЕЕ ОБРАТНОЙ ТРАНСКРИПЦИИ. — В сб.: Будущее науки, вып. 9. М., 1976.

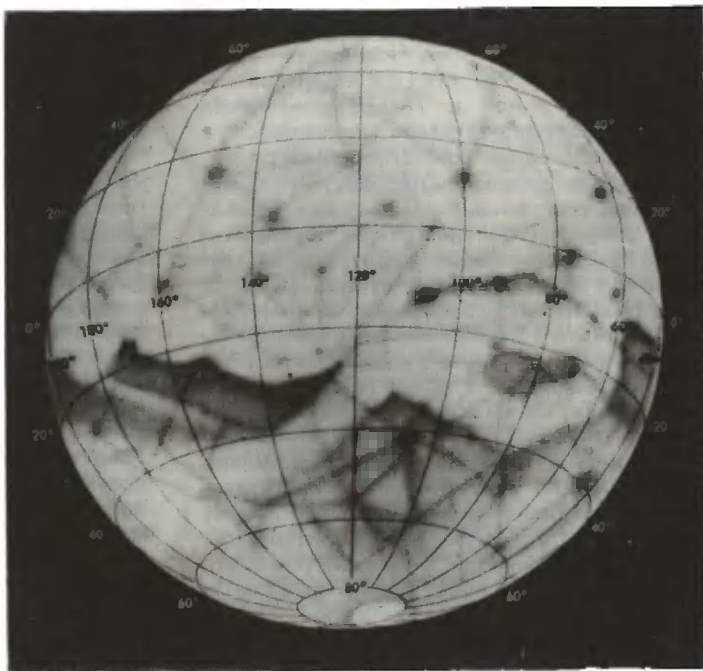
## Тектоническая природа «каналов» Марса

Г. А. Бурба

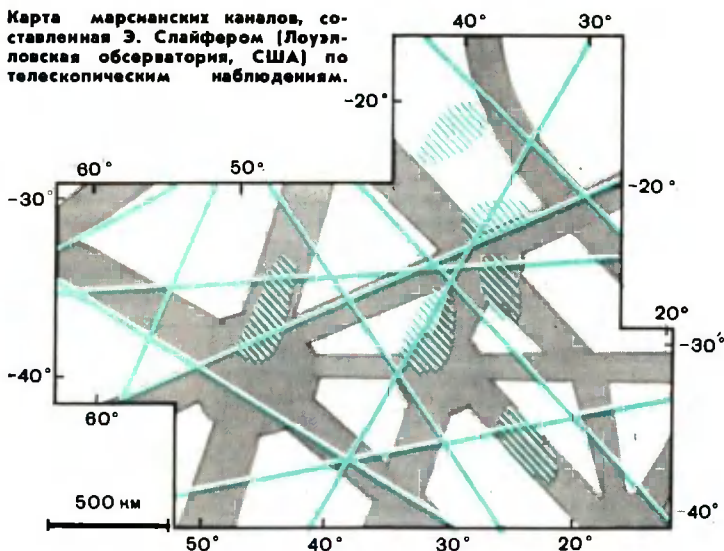
Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР  
Москва

В 1877 г. итальянский астроном Дж. Скиапарелли составил карту Марса, в соответствии с которой вся планета покрыта сетью узких темных линий (шириной в десятки и сотни километров, длиной в несколько тысяч километров), получивших название каналов. Скиапарелли считал каналы природными образованиями, аналогичными долинам или прямолинейным горным хребтам на Земле. Появившаяся вскоре гипотеза американского астронома П. Лоуэлла об искусственном происхождении каналов придала вопросу крайнюю остроту. Вот уже более ста лет продолжается дискуссия о природе этих образований (и даже о самом их существовании). Казалось бы, телесъемки Марса, проведенные в последние годы с космических станций, должны были разрешить затянувшийся спор. Однако какой-либо формы рельефа, однозначно соответствующей наблюдаемым в телескоп каналам, на космических снимках не было обнаружено.

В. П. Шашкина и автор на основе фотографий района Эритрейского моря (площадью 3,5 млн км<sup>2</sup>), полученных с советских автоматических станций «Марс-4 и -5», проанализировали связь каналов, обнаруженных на поверхности Марса при телескопических наблюдениях, с распределением по поверхности кратеров диаметром более 10 км и линейных элементов рельефа (так называемых



Карта марсианских каналов, составленная Э. Слайфером (Лоуэлловская обсерватория, США) по телескопическим наблюдениям.



Совпадение марсианских каналов в районе Эритрейского моря (серые полосы) с зонами сгущения

разломов (цветные линии) и наиболее кратеризованными участками (цветная штриховка).



мых линеаментов)<sup>1</sup>. Как известно, линеаменты представляют собой проявления разломов коры на поверхности планеты. Сопоставление карты каналов с картами плотности кратеров и линеаментов показало хорошее совпадение этих трех элементов рельефа.

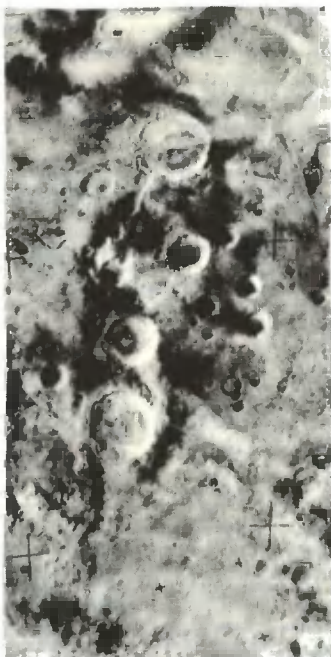
Через исследованный район проходит десять каналов; семь из них совпадают с зонами концентрации линеаментов, а еще два — с районами концентрации кратеров. Причем с двумя каналами связаны как скопления линеаментов, так и кратеры. Анализ деталей рельефа по фотографиям показал, что каналам соответствуют линейные зоны тектонических нарушений на поверхности Марса. Эти нарушения имеют как резкую (долины Узбой, Ладон, Нергал), так и слабую выраженность в рельефе (темные полосы на Босфорском плато, вдоль осевой части которых тянутся узкие плоскостные ложбины шириной 2—3 км). Наиболее четко в рельефе изученного района выражен канал, идущий примерно вдоль меридиана 35° з. д. Ближе к нему примыкают 90-километровый кратер Холден, долина Узбой, долины Суринада, кратеры Бонд (диаметр 60 км) и Хейл (90 км), а также крупная ложбина, рассекающая горы Нерейд.

Утолщения в местах пересечения каналов называют оазисами. Составленные нами карты показывают, что с четырьмя из шести оазисов в районе Эритрейского моря связаны участки наибольшей плотности разломов или кратеров. Наиболее крупному оазису, в котором пересекаются, проходя его насквозь, четыре канала, соответствуют пики плотности линеаментов и кратеров.

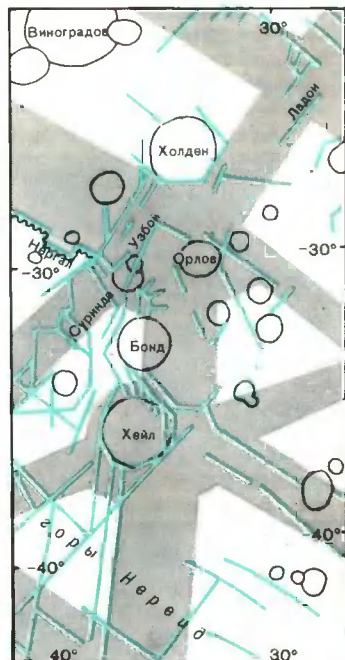
Подсчеты площади кратеров и длины линеаментов в исследованном участке, а также отдельно в пределах темных полос — каналов показали, что наблюдается явная концентрация линеаментов и кратеров в зонах каналов. На каналы,

занимающие менее половины (46%) площади участка, приходится 2/3 общей длины линеаментов и 3/4 общей площади кратеров. Если учесть, что кратеры заполняют лишь 6% площади изученного участка, то факт

меньшую территорию, распадается на ряд частных деталей и как целое не воспринимаются. Уместно провести аналогию между космическими и аэроснимками с Земли, со одной стороны, и телескопическими



Монтаж снимков, полученных «Марсом-3», и схема строения рельефа одного из участков Эрит-



рейского моря. Каналы показаны серыми полосами, разломы — цветными линиями.

приуроченности их к каналам приобретает еще большее значение: можно сделать вывод, что темные линейные детали альбедо в районе Эритрейского моря соответствуют зонам тектонических нарушений в марсианской коре, проявляющимся в виде сгущений линеаментов (разломов) и повышенной концентрации кратеров диаметром более 10 км.

Известно, что на обзорных снимках Земли, полученных из космоса, проявляются крупные детали геологического строения, которые на обычных аэроснимках, охватывающих

и космическими снимками Марса — с другой. При взгляде на Марс с большого расстояния (мы имеем в виду наблюдения с Земли в телескопы) перед нами предстают уже не отдельные формы рельефа, а зоны их концентрации, что и создает картину темных полос, названных каналами. Для объяснения прямолинейности этих полос вовсе не обязательно прибегать к гипотезе их искусственного происхождения. Естественно провести аналогию с зонами разломов земной коры, также имеющими вид пересекающихся прямолинейных полос.

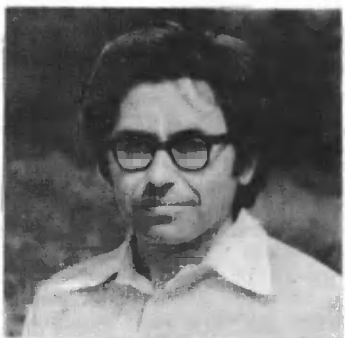
<sup>1</sup> Бурба Г. А., Шашкина В. П. «Изв. высших уч. заведений, геология и разведка», 1979, № 11, с. 49—53.

## Поток чужеродных веществ: влияние на человечество

И. Е. Ковалев, А. Г. Маленков



Игорь Ефимович Ковалев, доктор медицинских наук, профессор, руководит отделом иммунофармакологии Межведомственного центра по биологическим испытаниям химических соединений. Занимается поисками новых лекарственных средств, регулирующих иммунологические реакции организма, разработкой общей теории иммунитета. Автор монографии: Введение в иммунофармакологию. Казань, 1972 (совместно с П. В. Сергеевым).



Андрей Георгиевич Маленков, доктор биологических наук, профессор, заведующий отделом теоретической и экспериментальной биофизики Межведомственного центра по биологическим испытаниям химических соединений. Основные научные работы относятся к биофизике ткани, экспериментальной онкологии, системе испытаний химических соединений. Автор монографий: Клеточная поверхность и реакции клетки. Л., 1968 (совместно с Ю. М. Васильевым); Ионный гомеостаз и автономное поведение опухоли. М., 1976; Межклеточные контакты и реакции ткани. М., 1979 (совместно с Г. А. Чуичем). В «Природе» опубликовал статьи: «Логические «парадоксы» как путь познания закономерностей формирования понятий» (1978, № 10); «Химические аспекты деятельности человечества и охрана природы» (1980, № 3, совместно с Л. А. Пирюзяном и Г. М. Баренбоймом).

### МИРОВОЙ ПОТОК КСЕНОБИОТИКОВ: ДВЕ СТОРОНЫ ЯВЛЕНИЯ

Известно, что химические вещества могут вызывать болезни, а могут защищать и лечить человека. И здесь необходимо подчеркнуть, что применение этих веществ в лечебных целях (фармакология) уже сыграло в развитии человечества колоссальную роль, сравнимую по своему значению с открытием огня в далекие времена, развитием земледелия и скотоводства или с недавним освоением атомной энергии. Без фармакологии (вернее, без фармакологии и иммунофармакологии) человечество развиваться не может.

На первый взгляд, высказываемая на-

ми мысль может показаться необычной. Но человечество не смогло бы увеличивать свою численность, создавать современную цивилизацию, проживать в больших городах, интенсивно общаться, если бы не были открыты методы вакцинации, дезинфицирующие средства, антибиотики, сульфамиды, консерванты пищи и т. д. Достижения фармакологии и иммунофармакологии являются мощным фактором, изменяющим, и в том числе ослабляющим, естественный отбор среди людей. Это позволяет поставить естественный отбор под сознательный контроль и гораздо полнее реализовать потенции генофонда человечества.

Однако огромное количество разнообразных химических веществ, вводимых

человечеством в обиход, порождает новую, во многом неопределенную и тревожную ситуацию. Значительная часть этих соединений чужеродна для человека и других существ биосферы. Понятие чужеродности относительно и конкретно: для данного организма соединение, не являющееся привычным компонентом пищи, питья, газовой среды на протяжении достаточно длительного периода эволюционного развития, будет чужеродным. Отсюда и название таких веществ — ксенобиотики (от греческого *ξενος* — чужой, *βιος* — жизнь).

Многие природные вещества, издавна существующие в биосфере, являются, тем не менее, истинными ксенобиотиками для человечества или отдельных его популяций. Объясняется это тем, что районы, в которых встречаются такие вещества, относительно недавно стали заселяться человеком (например, миграция европейского населения в тропические районы).

Быстро нарастающий рукотворный поток химических веществ миллионными способами влияет на жизнедеятельность, разрушая гармонию биохимических превращений в биосфере. Человек — часть и порождение биосферы — принимает на себя большую и наиболее изощренную долю этой химической лавины. Например, современный австралиец получает ежегодно в среднем около 7<sup>1</sup> кг ксенобиотиков. Лекарства и промышленные загрязнения, инсектициды, продукты бытовой химии, возможные пищевые добавки и консерванты, вещества, с которыми человек имеет дело на работе (профессиональная вредность), — вот основные компоненты мира новой химии (новой для человека как биологического вида).

Рассматривая проблему взаимоотношения живого с химическими соединениями окружающей среды, обычно говорят о тех или иных явно опасных веществах: ядах (тяжелые металлы, окись углерода и др.), канцерогенах (полициклические углеводороды, азокрасители), мутагенах и др. Это естественно. Однако необходимо заметить, что выявление частных аспектов действия ксенобиотиков на человечество не исчерпывает проблемы взаимоотношения живого с химическими соединениями окружающей среды. Эта проблема в целом в настоящее время не только не разработана, но даже и не поставлена. Вполне возможно, что все вместе взятые известные вредные вещества: канцерогены, мутагены, яды — составляют лишь некоторую долю опасности, вызываемой

существованием чужеродных веществ в окружающей среде.

Ниже мы и предлагаем рассмотреть проблему взаимодействия человека как биологического вида с множеством синтетических и вообще чужеродных веществ, интенсивно добавляющихся в последнее время к огромному количеству природных ксенобиотиков, продуцируемых растениями, грибами, микробами и вирусами. Мы рассмотрим эту проблему как общебиологическую, где химические вещества, кроме всего прочего, являлись и особенно сейчас являются мощнейшим фактором эволюции и естественного отбора.

### ФУНДАМЕНТАЛЬНЫЙ АСПЕКТ ВЛИЯНИЯ ПОТОКОВ КСЕНОБИОТИКОВ

Представим себе модельную ситуацию: удалось достичь того, что ни одно из явно вредных веществ (канцерогены, мутагены, тератогенные и эмбриотоксические вещества) не попадает в организм человека в дозах, достаточных для проявления опасных эффектов. (Надо надеяться, что это будет сделано в не столь отдаленном будущем.) Что же, в такой ситуации нет более оснований для тревоги? Освобождает ли это полностью от опасностей? Иными словами, каковы возможные общие последствия резкого нарастания количества и доз химических соединений, контактирующих с человеком?

Современный человек ежедневно получает с пищей, лекарствами, через кожу и легкие определенное количество ксенобиотиков. Среди ксенобиотиков много соединений, сравнительно плохо растворимых в воде. Такие вещества, как правило, хорошо растворяются в жирах, а в живом организме встраиваются в мембраны, гидрофобные области белковых молекул, ДНК. Живое борется за «химическую чистоту» своей внутренней среды, активно превращая такие ксенобиотики посредством химических реакций в водорастворимые соединения и далее выводя их из организма обычными путями. Пусть эти вещества по отдельности в дозах, реально получаемых человеком (среднестатистическим человеком!), безвредны. Однако такое регулярное поглощение чужеродных химических веществ может оказывать существенное влияние на организм.

Опасность для отдельного организма заключается в следующем. Во-первых, индивидуальная устойчивость к «статисти-

чески» безвредному веществу может оказаться существенно меньше средней. Во-вторых, разные соединения в низких дозах, в отдельности не вызывающие ощутимого биологического действия, при комбинации друг с другом могут значительно его усиливать. Огромное генетическое разнообразие людей и десятки, сотни ксенобиотиков, попадающих в каждый организм, делают такие ситуации отнюдь не экзотическими, а, скорее, обычными. Очень важно, что дети вообще значительно чувствительнее к ксенобиотикам. Попадание же ксенобиотиков (в том числе лекарств) в организм недоношенных детей, у которых система, выводящая жирорастворимые ксенобиотики, функционирует очень слабо, может вести к трагическим последствиям.

Кроме этих индивидуальных аспектов существует и популяционно-эволюционная сторона той же проблемы. Установлено, что среди людей имеются индивидуумы, у которых введение ксенобиотиков вызывает появление внутриклеточных ферментов, перерабатывающих жирорастворимые ксенобиотики, и лица, у которых такая реакция слаба. В какую группу волею «генетической игры» попадет тот или иной человек, имеет важнейшее значение (но пока мало осознанное медиками и другими специалистами) для его судьбы.

По интенсивности и качеству системы окисления ксенобиотиков (по метаболическим параметрам) можно выделить несколько генетически детерминированных групп среди людей или животных. И уже сейчас имеются факты, показывающие, что от того, к какой группе относится индивид, зависит, заболит ли он, например, раком при канцерогенных воздействиях или нет. В других ситуациях, связанных с воздействием других химических соединений, токсинов, микроорганизмов, вирусов и т. д., может оказаться более выгодным быть в иной по метаболическим параметрам группе. Наследуются, как правило, не болезни, а определенный тип обмена, определяющий предрасположенность или устойчивость к различным факторам окружающей среды.

Значение химического фактора естественного отбора с развитием цивилизации будет возрастать до определенного момента, пока ученые и общественность не осознают огромную важность изучения этой проблемы и не научатся управлять указанной системой организма.

## ИММУНОХИМИЧЕСКИЙ ГОМЕОСТАЗ ОРГАНИЗМА

В заголовок вынесен термин, непривычный не только для широкой научной общественности, но и для большей части специалистов. Иммунохимический гомеостаз — понятие, предлагаемое нами для выделения системы организма, обеспечивающей контроль и генетически детерминированное развитие химического состава внутренней среды. Частями системы являются эволюционно молодая иммунная система и гораздо более древняя, общая для всего живого ферментативная система, осуществляющая химические превращения (метаболизм) низкомолекулярных жирорастворимых ксенобиотиков. В последние 10—15 лет доказано, что такой системой, присутствующей в каждой клетке, в ее мембранах, является цитохром P-450 содержащая монооксигеназная система со смешанной функцией.

Эта система ферментов локализована во внутриклеточных мембранах, которые можно выделить центрифугированием гомогенатов клеток. Фракция, содержащая обрывки этих мембран, образующих видимые в электронный микроскоп шарики (микросомы), называется микросомальной. Как правило, микросомальную фракцию клеток и используют для изучения активности монооксигеназ. Отсюда и название — микросомальные ферменты.

Система микросомальных ферментов посредством целого ряда химических реакций, протекающих в живой клетке, способна окислять жирорастворимые ксенобиотики, первоначально встраивающиеся в мембраны. Тем самым эта система может переводить их в водорастворимые соединения, которые легче выводятся почками из организма. Цитохром P-450 — конечная оксидаза в системе микросомальных ферментов. Цитохром P-450 широко распространен в живых системах и обнаружен у млекопитающих, птиц, рептилий, амфибий, рыб, бактерий и высших растений.

Хотя у млекопитающих система микросомальных ферментов работает в различных клетках, все же главное место метаболизма ксенобиотиков — эпителиальные клетки. Большое количество таких клеток сосредоточено в печени, выполняющей барьерную роль и ответственной более чем за 90% метаболизма ксенобиотиков. По степени участия в метаболизме лекарств ткани можно распо-

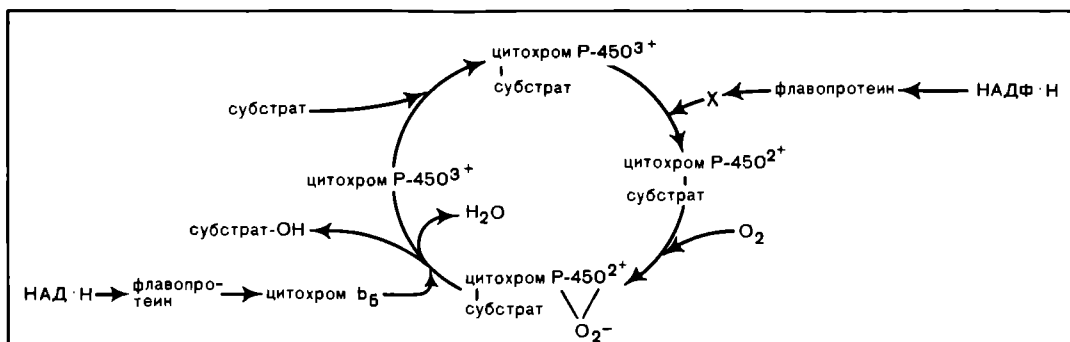
ложить следующим образом: печень, желудочно-кишечный тракт, почки, легкие, кожа. Большую роль здесь играет кишечная микробная флора.

Как показано в последнее время, механизм микросомального окисления ксенобиотиков дополняется у высших животных и человека иммунологическими механизмами нейтрализации. Антитела, хотя и посредством совершенно других молекулярных механизмов, препятствуют размножению микробов и вирусов в организме человека и животных, поддерживая

но считать частью более общей системы химического гомеостаза.

Подчеркивая своеобразие системы химического гомеостаза высших животных, нам представляется целесообразным ввести для ее обозначения термин «иммунохимический гомеостаз».

Уже говорилось, что жирорастворимые соединения, попадающие в организм под влиянием микросомальных ферментов, превращаются в более водорастворимые и выводятся из организма. Однако цитохром P-450 не только нейтрализует ксе-



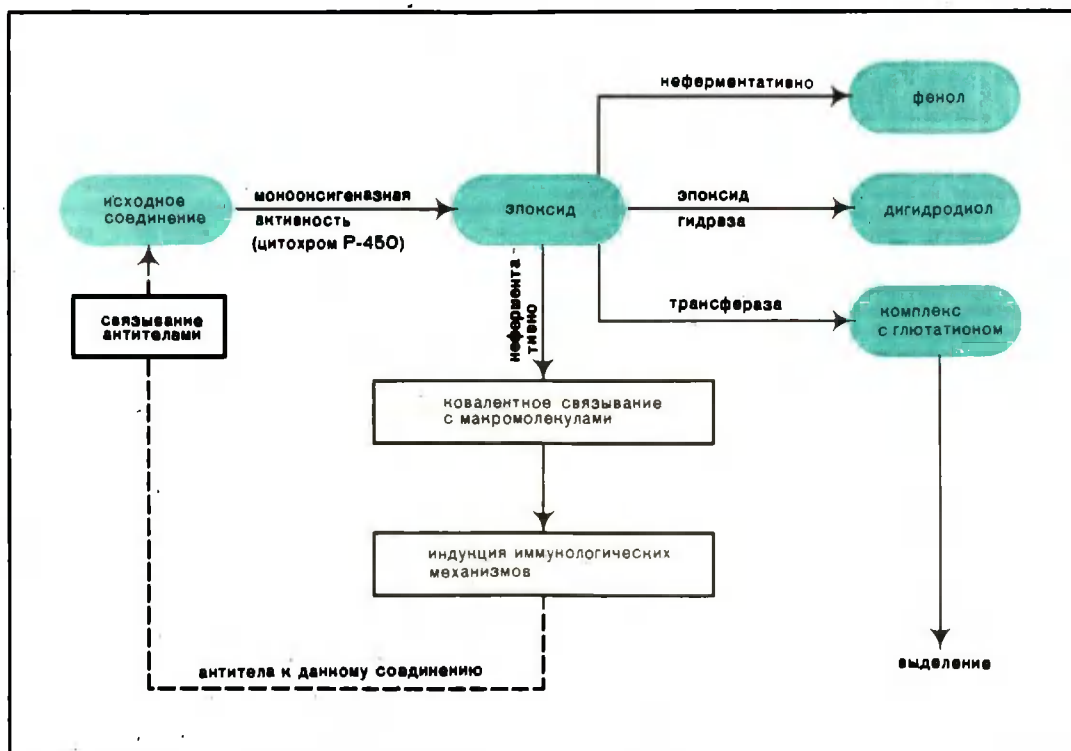
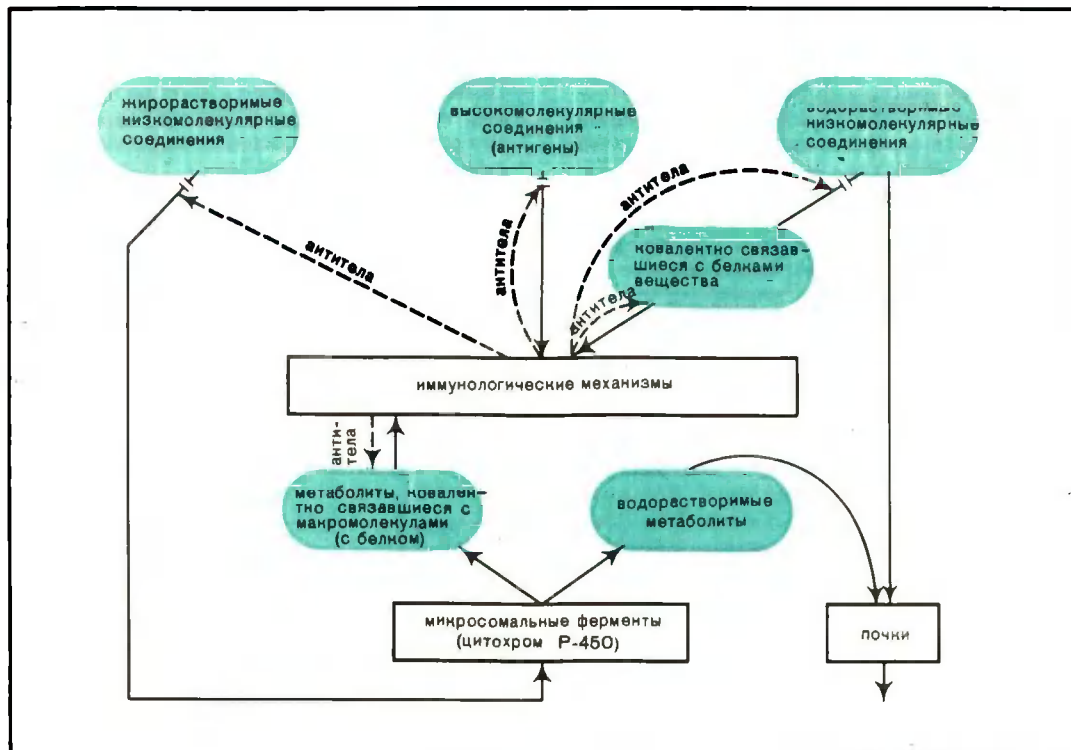
Циклический механизм гидроксилирования химических соединений монооксигеназной системой со смешанной функцией. Первый этап «работы» этой системы — связывание метаболизируемого химического соединения (субстрата) с окисленной формой цитохрома P-450 ( $\text{Fe}^{+++}$ ) и образование комплекса цитохром P-450 — субстрат. Затем цитохром P-450 в этом комплексе восстанавливается ( $\text{Fe}^{++}$ ), принимая электрон из восстановленного никотинамид-аденин-динуклеотид — фосфата (НАДФ · Н), с помощью флавопротеинредуктазы. В присутствии молекулярного кислорода восстановленный цитохром P-450 — субстрат комплекс образует окисленный промежуточный продукт. Следующий этап восстановления наступает при помощи электрона, поступающего через цитохром b<sub>5</sub>, реагирующего с окисленным промежуточным продуктом с образованием гидроксильированного субстрата, воды и окисленной формы цитохрома P-450, готового вновь принимать участие в описанных процессах. Моноксигеназная система может использовать чрезвычайно широкий спектр химических соединений в качестве субстрата.

химический гомеостаз. (Поэтому нам представляется вполне правомерным применение термина «антибиотик» и в отношении антител.) Следует отметить, что антитела могут нейтрализовать не только живые чужеродные микроорганизмы, но и самые различные низкомолекулярные химические соединения, поступающие извне (экзогенные) и вырабатываемые самим организмом (эндогенные). Таким образом, иммунологическую систему мож-

нобиотики, но и может некоторые из них активизировать, превращая в высоко реакционноспособные соединения, например, в эпоксиды. Последние легко вступают во взаимодействие с нуклеофильными центрами макромолекул, в том числе с белковыми, с образованием прочной ковалентной связи. Таким образом, с помощью цитохрома P-450 происходит синтез естественного антигена, в котором роль детерминантной группы (группы, определяющей иммуно-химические свойства), так же, как и в «искусственном антигене» гениального К. Ландштейнера<sup>1</sup>, выполняет метаболит (продукт метаболизма) жирорастворимого соединения. Такие искусственные и естественные антигены, называемые конъюгатами, могут вызывать появление циркулирующих антител и клеточных рецепторов, связывающих исходное низкомолекулярное соединение и препятствующих его попаданию в клетку.

В зависимости от дозы и свойств химического соединения, а также от положения «узкого места» в цепи ферментативных реакций микросомального окисления и сопутствующих ферментов (эпоксидгидраза и др.) может образовываться боль-

<sup>1</sup> Landsteiner K. The specificity of serological reactions. Springfield, 1936.





Участие иммунологических механизмов в нейтрализации химических соединений в организме. По путям взаимодействия с иммунной системой все вещества следует разделить на три группы: высокомолекулярные, низкомолекулярные — жирорастворимые и водорастворимые. Высокомолекулярные вещества непосредственно возбуждают процесс производства соответствующих антител. Низкомолекулярные вещества, сами по себе не способные этого делать, в организме могут ковалентно связываться с белками, эти комплексы уже обладают иммуногенной активностью. Комплексы с жирорастворимыми веществами образуются при участии монооксигеназной системы, комплексы с водорастворимыми веществами — ферментативным или неферментативным путем.

Сплошными стрелками показаны пути веществ в организме. Пунктирными стрелками показана нейтрализация биологической активности химических соединений соответствующими антителами.

Основные механизмы нейтрализации метаболитов ксенобиотиков (на примере эпокси соединений). Эпоксисоединения могут спонтанно неферментативным путем превращаться в фенолы, ферментативным путем — в дигидродiol (фермент эпоксидгидраза), ферментативно (трансфераза) — в комплексы с глутатионом, хорошо растворимые в воде. Все они выводятся из организма с мочой. Кроме того, эпоксы могут легко вступать в реакции с макромолекулами (в том числе с белками) клеток, присоединяясь к ним прочной ковалентной связью. При этом образуется естественный конъюгированный антиген, способный индуцировать в иммунокомпетентных клетках (лимфоциты) синтез антител, специфически связывающих в крови исходное соединение и нейтрализующих его. Таким образом проявляется иммунологический механизм нейтрализации потенциально опасных химических веществ, дополняющий метаболические механизмы. Сплошными стрелками показаны превращения веществ. Пунктирными — нейтрализация антителами, индуцированными веществом.

ше или меньше реакционноспособных метаболитов и соответственно развиваться бо́льшая или меньшая иммунная реакция. Показано, что при длительном применении лекарств у человека обнаруживаются антитела к этим лекарствам, ослабляющие их действие.

Скорость метаболизма лекарств и других чужеродных соединений у различных видов и линий животных существенно отличается. Кроме того, она может зависеть от возраста, пола, диеты, времени года и других факторов. На активность микросомальных ферментов, обуславливающих их активацию, индукцию, сильное влияние также оказывают химические вещества, присутствующие в пище и в окружающей среде. Например, установлено, что активность возрастает вслед за попаданием в организм широкого круга различных лекарств, пестицидов, пищевых добавок, полициклических углеводородов и других химических веществ (см. табл. 1). Индукция может изменять пути метаболизма химических соединений в различной степени и, хотя всегда ведет к увеличению скорости метаболизма, способна увеличивать или уменьшать токсичность химических соединений. Показано, например, что система микросомальных ферментов может способствовать превращению некоторых первоначально неканцерогенных веществ в мощные канцерогены.

Итак, монооксигеназная система печени, кишечника, легких, кожи, почек — органов, выполняющих роль барьеров и обеспечивающих химическое постоянство внутренней среды организма, — постоянно нагружена мощным потоком ксенобиотиков природного и искусственного происхождения.

## ФУНКЦИИ МОНООКСИГЕНАЗНОЙ СИСТЕМЫ

Чтобы понять, как может влиять поток ксенобиотиков на организм в целом, рассмотрим основные функции монооксигеназной системы в их взаимодействии. Уже говорилось, что эта система отвечает за метаболизм ксенобиотиков и под их действием может существенно менять свою активность. Однако наряду с этим монооксигеназная система выполняет посредством того же молекулярного механизма, по крайней мере, еще три важные функции.

Во-первых, эта система осуществляет метаболизм эндогенных гидрофобных веществ (среди них — важнейшие регуляторы физиологической активности клеток: стеро-

Таблица 1

Возбуждение (индукция) микросомальных ферментов различными веществами

| Биологически активные вещества          | Соединение       | Эффект |
|-----------------------------------------|------------------|--------|
| Средства для ингаляционного наркоза     | эфир диэтиловый  | +      |
|                                         | хлороформ        | +      |
| Снотворные                              | бромисовал       | ++     |
|                                         | люминал          | ++++   |
|                                         | хлоралгидрат     | +++    |
| Противосудорожные                       | дифенин          | +++    |
|                                         | мезантонин       | +++    |
| Транквилизаторы                         | мепротан         | ++     |
|                                         | элениум          | ++     |
|                                         | диазепам         | ++++   |
| Антипсихотические                       | аминазин         | ++     |
| Стимуляторы центральной нервной системы | кордиамин        | +++    |
|                                         | бимегрид         | ++     |
| Противовоспалительные                   | бутадион         | +++    |
|                                         | амидопирин       | ++     |
| Антибиотики                             | левомицетин      | +++    |
| Инсектициды                             | ДДТ              | ++++   |
|                                         | гексахлоран      | ++++   |
| Канцерогены                             | 3,4-бензпирен    | +++    |
|                                         | 3-метилхолантрен | +++    |

Примечание. Плюсы показывают способность соединений индуцировать микросомальные ферменты цитохром Р-450 [Р-448]. Эффект, выраженный одним плюсом, показывает, что для индукции цитохрома Р-450 вещество должно быть введено в токсической дозе. Два плюса означают необходимость высокой дозы. И, наконец, три и четыре плюса говорят о том, что для индукции цитохрома Р-450 достаточно сравнительно низкой дозы, т. е. вещество обладает высокой способностью индуцировать микросомальные ферменты.

идные гормоны, простагландины, тироксин и др.).

Во-вторых, ферменты этой системы, расположенные в данной ткани, регулируют и внутриклеточную концентрацию эндогенных гидрофобных веществ.

В-третьих, монооксигеназная система может участвовать в формировании молекулярной композиции мембран.

Отсюда становится понятным, что попадающие в клетки жирорастворимые ксенобиотики влияют на выполнение этих трех функций, а, значит, не могут не вызывать определенный сдвиг в обмене эндогенных веществ. Это чрезвычайно важный момент, на который мы хотим обратить особое внимание. В нем заключен, по нашему мнению, глубочайший биологический смысл.

Каждый живой организм является открытой системой для окружающей химической среды и неотделим от нее. Через организм, находящийся на любой ступени эволюционной лестницы, проходил и проходит интенсивный поток разнообразных природных химических соединений (из бактерий, водорослей, грибов, высших растений, животных). С эволюцией животного и растительного мира спектр

химических соединений, действующих на этот мир, неуклонно расширялся. Вероятно химическая эволюция и эволюция живого взаимосвязаны. Здесь налицо саморазвивающаяся система, организованная так, что эволюция химическая вызывает эволюцию биологическую, приводящую к появлению новых веществ, вновь действующих на живое и заставляющих его изменяться, и т. д. до бесконечности. Доля ксенобиотиков среди этого потока зависит от скорости изменения химической среды, окружающей данный организм. Острота ситуации для человечества в том именно и состоит, что в последнее время химическая среда для человека меняется стремительно<sup>2</sup>.

Встает вопрос: каким образом химическая внешняя среда «общается» с внутренней средой организма? Этот вопрос весьма сложен. По нашему мнению, одним из главных мест такого «общения» является цитохром Р-450, который, как

<sup>2</sup> Подробнее см.: Пиружян Л. А., Маленков А. Г., Баренбойм Г. М. Химический аспект деятельности человечества и охрана природы. — «Природа», 1980, № 3.

мы уже отмечали выше, присутствует в каждом живом организме: от бактерий до человека. Эта система окисления химических веществ прошла через миллионы лет эволюции и сохранила центральную роль в метаболизме химических соединений. В виде цитохрома Р-450 природа создала фермент, обеспечивающий оптимально открытое и вместе с тем максимально безопасное генетическое «общение» с бесчисленным количеством химических соединений самого различного химического строения.



Гипотетическая оптимально открытая система «общения» клеток с окружающей химической средой. Цитохром Р-450 содержащая монооксигеназная система в результате постоянного «общения» с внешней и внутренней химической средой обеспечивает адаптивную реакцию на ее изменение и контроль за постоянством внутренней среды организма. Цитохром Р-450 содержащая монооксигеназная система окисляет бесчисленное количество жирорастворимых веществ окружающей среды и эндогенных веществ (стероидные гормоны, холестерин, жирные кислоты, простагландины, тироксин и др.), среди которых есть регуляторы активности генов. Окисляясь в одной и той же системе ферментов, вещества окружающей среды изменяют метаболизм эндогенных соединений (стероидов и др.) и, следовательно, их уровень в клетке. Это приводит к активации определенных генов и развитию адаптивной реакции. Следовательно, цитохром Р-450 содержащую монооксигеназную систему можно рассматривать как хемоанализатор, дающий клетке возможность получать информацию об изменениях химической среды без непосредственного контакта чужеродных химических веществ с генами.

Поток ксенобиотиков, постоянно идущий через окисляющую их монооксигеназную систему, по сути дела, непрерывно несет информацию о химической среде и о происходящих в ней изменениях. Эти изменения, если они длительные, индуцируют соответствующие реакции адаптивного порядка. Например, введение раз-

личных ксенобиотиков, как показано, индуцирует заново синтез РНК, белка (ферментов), усиленно метаболизирующих ксенобиотики.

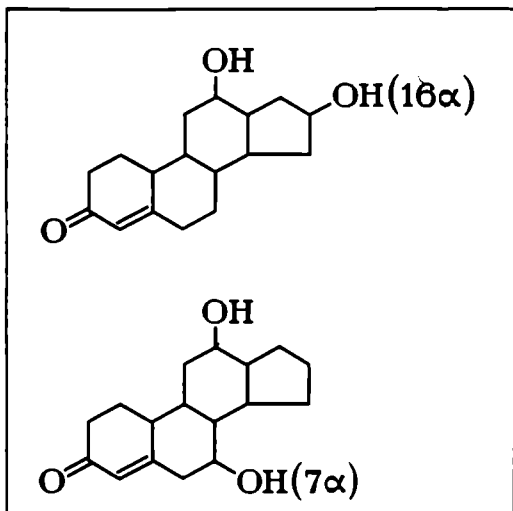
Следовательно, ксенобиотик каким-то образом «общается» с генетическим аппаратом клетки. Поэтому цитохром Р-450 содержащую монооксигеназную систему можно рассматривать как адаптивное (оптимизирующее) устройство (своеобразный хеморецептор или хемоанализатор), реагирующее на изменения как внешней, так и внутренней гидрофобной среды.

Чрезвычайно важно для понимания работы этого хеморецепторного внутриклеточного устройства еще раз обратить внимание на следующее. На уровне цитохрома Р-450 «смешиваются» два потока соединений — экзогенные и эндогенные. Они относятся к важнейшим регуляторам функции клетки и организма в целом и, в частности (как например, стероиды), прямо изменяют активность генома. Казалось бы, это «смешение» эволюционно нецелесообразно: опасно соединять на метаболическом уровне внутреннюю среду с внешней. Но этот механизм выдержал отбор в течение миллионов лет и высоко эволюционно целесообразен.

Как мы полагаем, этот механизм позволяет клетке получать информацию о внешней и внутренней химической среде и реагировать на нее синтезом определенных макромолекул. Причем чужеродные вещества (за определенным исключением) к генетическому аппарату не допускаются (это очень опасно), «общение» с ними идет опосредованно, например через стероиды.

Механизм поступления к ДНК информации о ксенобиотике, вероятно, также чрезвычайно прост в принципе. Ксено-

биотик, окисляясь на цитохроме Р-450, изменяет метаболизм стероидов и, следовательно, их уровень в данной клетке. Изменение этого уровня приводит к активации определенных генов и индукции синтеза РНК, а затем фермента. Выказанная нами гипотеза, естественно, нуждается в различных экспериментальных подкреплениях, однако, видимых противоречий с имеющимися научными данными, как нам кажется, нет. Мы, как и многие другие исследователи, полагаем, что главнейшая цель науки заключается



Пример влияния ксенобиотиков на метаболизм стероидных гормонов. Индукция монооксигеназной системы фенобарбиталом и 3-метилхолантроном приводит к появлению различных метаболитов тестостерона в организме [по данным: Atlas S. A., Nebert D. W. Drug metabolism from microbe to man. L., 1977, p. 393].

в том, чтобы разглядеть за разнообразием фактов основную концепцию и выделить принципы, на основе которых можно делать предсказания.

Химические вещества внешней среды могут быть отобраны эволюцией и стать необходимыми компонентами клеток и клеточных сообществ, если чужеродное соединение найдет себе специфическое, т. е. адекватное функциональное применение. В этом превращении ксенобиотика в эндогенное вещество также может участвовать монооксигеназная система.

Итак, общение живых организмов с химической средой идет при обязательном участии универсальной монооксигеназной системы со смешанной функцией.

Мысль о существовании в природе каких-то общих для всех клеток — универсальных — систем, занимает умы биологов уже несколько десятков лет. Д. Грин и Р. Гольдбергер<sup>3</sup> пришли к выводу, что интенсивное изучение биохимических особенностей самых разнообразных клеток не только доказало малую вероятность отклонений от принципа универсальности, но также (что не менее важно) расширило круг процессов, структур и молекул, которые можно считать универсальными. Теперь, по их мнению, накоплено достаточно фактов, чтобы можно было с уверенностью говорить о существовании биохимической универсальности и о значении данного явления. Это позволяет сделать некоторые заключения относительно эволюции. Самый факт существования биохимической универсальности свидетельствует, что уже ранние формы жизни (из которых развились в дальнейшем все растения, животные и микроорганизмы) содержали большинство систем, которые можно считать универсальными.

#### ОСНОВНЫЕ ВАРИАНТЫ ПОСЛЕДСТВИЙ ПЕРЕГРУЗКИ КСЕНОБИОТИКАМИ

Теперь представим, имея в виду указанные выше свойства монооксигеназной системы, к каким последствиям должно привести резкое возрастание потока ксенобиотиков, проходящего через человеческий организм. При этом мы рассмотрим следующие основные варианты: взрослый организм здорового человека; молодой растущий организм; взрослый организм, имеющий генетически детерминированную «слабость» (суженную зону устойчивости) монооксигеназной системы в одной из тканей или вообще в организме; то же для растущего организма. Таким образом, спектр состоит из четырех основных состояний (два последних могут, естественно, иметь много вариантов более дробных различий).

По воздействию потока ксенобиотиков на организм можно выделить два

<sup>3</sup> Грин Д., Гольдбергер Р. Молекулярные аспекты жизни. М., 1968.

Таблица 2

Основные варианты влияния потока ксенобиотиков на организм

| Характеристика потока<br>и внешних условий                                   | Состояния организма                 |                                                                              |                                         |                                                                              |
|------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                              | Стационарное<br>(взрослый организм) |                                                                              | Нестационарное<br>(растущий организм) * |                                                                              |
|                                                                              | норма                               | имеется тупня с пони-<br>женной устойчивостью<br>монооксигеназной<br>системы | норма                                   | имеется тупня с пони-<br>женной устойчивостью<br>монооксигеназной<br>системы |
| Стимулирующая без дополнительного воздействия факторов нехимической природы* | 1.1                                 | 1.2                                                                          | 1.3                                     | 1.4                                                                          |
| Стимулирующая с дополнительным воздействием факторов нехимической природы    | 2.1                                 | 2.2                                                                          | 2.3                                     | 2.4                                                                          |
| Угнетающая без дополнительного воздействия факторов нехимической природы*    | 3.1                                 | 3.2                                                                          | 3.3                                     | 3.4                                                                          |
| Угнетающая с дополнительным воздействием факторов нехимической природы       | 4.1                                 | 4.2                                                                          | 4.3                                     | 4.4                                                                          |

Примечание: звездочкой помечены основные варианты воздействия ксенобиотиков, остальное — дополнительные варианты.

основных варианта: сравнительно малая интенсивность, стимулирующая монооксигеназную систему, и большая интенсивность, угнетающая эту систему. Но, кроме того, весьма важно, в каких условиях происходит это воздействие. Оно может осложниться влиянием дополнительных факторов внешней среды иной, нехимической природы (психогенных, физических воздействий, климатических и т. д.). Интенсивность действия таких факторов тоже влияет на нагрузку монооксигеназной системы, поскольку они увеличивают потоки эндогенных жирорастворимых регуляторов. Различные сочетания указанных выше вариантов (состояния организма и характеристика потока и внешних условий) и будут представлять основные варианты влияния потока ксенобиотиков на организм (см. табл. 2).

Рассмотрим сначала основные варианты последствий перегрузки организма ксенобиотиками: 1.1—1.4 и 3.1—3.4.

1.1. Компенсаторное усиление метаболизма ксенобиотиков и, возможно, эндогенных жирорастворимых регуляторов. Возможны некоторые функциональные расстройства метаболических систем, сужение области адаптации. Изменения, как правило, обратимы.

1.2. Избирательное для данной ткани нарушение метаболизма эндогенных регу-

ляторов. Наиболее вероятно уменьшение внутриклеточной концентрации стероидов и появление необычных метаболитов, т. е. происходят не только количественные, но и качественные сдвиги. При этом могут изменяться и другие факторы, определяющие адаптационные и функциональные возможности данной ткани.

В результате возможно развитие самых разнообразных патологий первоначально нормальной ткани. Поскольку организм будет стремиться компенсировать слабость монооксигеназной системы за счет гиперреакций верхних ярусов иммуннохимического гомеостаза (иммунных реакций), то очень вероятно развитие так называемых аллергических состояний (слабость оксидаз ткани легких — астма, кожи — нейродермиты и т. д.).

1.3 Повышение общей и внутриклеточной концентрации эндогенных жирорастворимых регуляторов метаболизма (стероидов, тироксина, простагландинов и т. д.). Монооксигеназная система не успевает сжигать эндогенные регуляторы с должной скоростью. Это способствует ускоренному физиологическому росту и развитию. По нашему мнению, именно такой механизм может лежать в основе наблюдаемого в последние десятилетия явления акселерации.

1.4. Этот случай отличается от предыдущего (1.3) тем, что на фоне акселерации развивается выраженная слабость (меньшая устойчивость к внешним факторам) определенной ткани или системы организма. Такие патологии носят устойчивый характер, поскольку развитие данной ткани в этих условиях происходит по траектории, соответствующей менее стабильному состоянию. (Тогда фактор самой разной природы может провоцировать «приступ» конкретной патологии.) Эти состояния отличаются большим «упорством» по сравнению с аналогичными вариантами (1.2) и труднее поддаются исправлению или компенсации, поскольку в ходе развития были затронуты глубинные ярусы клеточной регуляции (ближе к геному). В таких случаях более эффективно проводить профилактику, суть которой должна состоять в уменьшении прессы ксенобиотиков во время стабилизации системы.

3.1. Общее угнетение системы иммунохимического гомеостаза, различные системные патологии, обусловленные разбалансом основных адаптивных систем (стероидов в первую очередь).

3.2. То же, что и в предыдущем варианте (3.1), с добавлением локальной тканевой патологии.

3.3. Угнетение развития. Возможны изменения (качественные и количественные) иммунной системы, являющейся, как показано нами ранее, частью системы, метаболизирующей ксенобиотики.

3.4. Самый тяжелый вариант. Сочетание недугов общесистемного развития (3.3) и локальных (1.4).

Мы рассмотрели основные варианты последствий перегрузки ксенобиотиками для различных состояний организма. Дополнительные варианты возникают при воздействии факторов нехимической природы в сочетании с перегрузкой ксенобиотиками.

2.1—2.4. Драматизируют соответствующие ситуации, описываемые вариантами 1.1—1.4, переводя их либо вправо: 1.1 в 1.2; 1.3 в 1.4 (если воздействие тканеволокализовано, например, избыток солнечной радиации), либо вниз через строку: 1.1 в 3.1; 1.3 в 3.3, если воздействие перегружает монооксигеназную систему в целом (например, стрессы).

4.1—4.4. Соответствуют случаям 3.1—3.4, но достигаются при более низких интенсивностях потока ксенобиотиков. Драматизируют ситуации, описываемые вариан-

тами 3.1—3.4, при одинаковых интенсивностях потоков.

Таковы наиболее вероятные последствия резкого возрастания потока жирорастворимых ксенобиотиков, проходящего через человеческий организм.

Как результат, наблюдаются: акселерация; учащение аллергических состояний; снижение адаптивных возможностей — понижение сопротивляемости бактериальным, психогенным, физическим факторам; появление разнообразных, ранее значительно более редких патологий развития, включающих явные патологии (гипериммунные, психические дефекты) и предрасположенности к различным хроническим заболеваниям (рак — в первую очередь, астма, гепатиты, коллагенозы).

### ЕДИНАЯ МЕРА СОСТОЯНИЯ ВНУТРЕННЕЙ СРЕДЫ

Как взвесить пользу и вред, приносимые ксенобиотиками? Существуют ли критерии, позволяющие искать оптимум потребления ксенобиотиков, а главное, находить этот оптимум в каждом конкретном индивидуальном случае?

Понятие ксенобиотиков приводит к понятию ксенобиотической нагрузки, ксенобиотической активности среды. Эти термины употребимы по отношению к внешней и к внутренней среде многоклеточного организма. Ксенобиотическую активность среды можно оценивать по реакции живого объекта (целого организма, органа, ткани или клетки). Для этой цели подходят и сам живой объект, и стандартные биоиндикаторы. За реакцией на ксенобиотическую нагрузку можно следить, например, по изменению режима работы энергетической системы, системы химического гомеостаза (такой мерой часто может служить потребление кислорода немитохондриальной системой окисления). Для каждого биологического объекта существует своя зависимость реакции от времени действия и интенсивности ксенобиотической нагрузки. В координатах эффект — концентрация — время эта зависимость имеет в общем случае вид горной страны с одним или несколькими хребтами, плато, долинами. Выяснение «формы» этой «горной страны» и области устойчивости — конкретная задача исследований.

Кроме понятия интегральной устойчивости по отношению к сумме ксенобиотиков, существует, а иногда имеет решающее значение устойчивость по от-



ношению к отдельным ингредиентам среды. «Профили» областей устойчивости по отношению к интегральной характеристике среды и к ее отдельным составляющим могут и не совпадать. Тогда, если влияние этого отдельного ингредиента на суммарную реакцию биообъекта велико, может возникнуть серьезное противоречие: повышая устойчивость к специфическому началу, мы уменьшим интегральную устойчивость биообъекта. Так именно и происходит в ряде неблагоприятных случаев при гипервакцинациях.

Итак, существуют принципиальные возможности оценивать интегральную ксенобиотическую активность среды и, сопоставляя ее с компенсационными возможностями данного объекта, судить о том, насколько состояние среды близко к оптимуму или, напротив, к границам области устойчивости. Если это понятие последовательно применить к внутренней среде, то появляется возможность сопоставлять по тяжести состояния организма, возникающие в ходе инфекционных болезней, любых хронических заболеваний, отравлений.

Ведь, в конечном итоге, любое болезненное состояние состоит в уменьшении области устойчивости (всего организма или его части), обусловленном изменением химизма внутренней среды и (или) реактивности системы химического гомеостаза. Такого рода рассуждение в идейном отношении возвращает нас к пониманию болезни, бытовавшему у великих древних врачей. Однако в отличие от них дает и принципиальную возможность ввести количественную меру, создать следящую систему, оценивать то или иное воздействие на организм в таких интегральных понятиях.

Если в нормальном состоянии внутренней среда организма обладает определенной ксенобиотической активностью и эта активность может возрастать в результате попадания в организм продуктов жизнедеятельности микроорганизмов, паразитов, распада собственных тканей, веществ из внешней среды, то логически необходимо допустить, что некоторые дополнительно вводимые ксенобиотики могут снижать суммарную ксенобиотическую активность внутренней среды. Таким образом, ксенобиотики могут обладать антиксенобиотической активностью. Эта активность зависит не только от их свойств, но и от состояния организма.

Лекарственные препараты при правильном их применении как раз и снижа-

ют суммарную ксенобиотическую активность внутренней среды или увеличивают устойчивость организма к ней. При опять же правильном употреблении (а критерий правильности как раз и сформулирован только что) классическими антиксенобиотиками являются антибиотики, сульфаниламиды, вакцины при пассивной иммунизации, антистафилококковая сыворотка, противозоожоговая сыворотка, введение кровезаменителей при тяжелых инфекциях. Но всегда нужно помнить, что все эти средства сами по себе обладают собственной и значительной ксенобиотической активностью. Соотношение польза — вред как раз и можно оценить, используя понятие интегральной ксенобиотической активности внутренней среды организма.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Барбье М. ВВЕДЕНИЕ В ХИМИЧЕСКУЮ ЭКОЛОГИЮ. М., 1978.

Ковалев И. Е. ИММУНИТЕТ КАК ФУНКЦИЯ СИСТЕМЫ ОРГАНИЗМА, ИНАКТИВИРУЮЩЕЙ ЧУЖЕРОДНЫЕ ХИМИЧЕСКИЕ СОЕДИНЕНИЯ. — «Химико-фармацевтический журнал», 1977, № 12.

Оксенгендлер Г. И. БИОТРАНСФОРМАЦИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ ВЕЩЕСТВ. — «Природа», 1980, № 3.

Парк Д. В. БИОХИМИЯ ЧУЖЕРОДНЫХ СОЕДИНЕНИЙ. М., 1973.

Пирузян Л. А., Маленков А. Г., Баренбойм Г. М. ХИМИЧЕСКИЙ АСПЕКТ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ЧЕЛОВЕЧЕСТВА И ОХРАНА ПРИРОДЫ. — «Природа», 1980, № 3.

Полевая О. Ю., Ковалев И. Е. ПРИНЦИПЫ СИНТЕЗА КОНЬЮГИРОВАННЫХ АНТИГЕНОВ. — «Химико-фармацевтический журнал», 1978, № 2.



## Белолицая савка

**В. И. Дробовцев,**  
кандидат биологических наук

Петропавловск  
Казахская ССР

**А. И. Кошелев**

Новосибирск

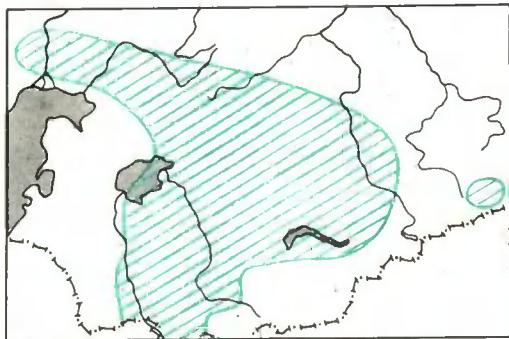
Среди диких уток Советского Союза одной из оригинальнейших по внешнему виду и образу жизни по праву считается савка (*Oxyura leucoserphala*). Савка — очень редкий вид, она внесена в «Красную Книгу СССР». Савку называют также белоголовой, или синеклювой, уткой. Эти названия вполне оправданы. Селезень в брачном наряде красив своим лазорево-голубым клювом, ярко-белой головой. Клюв привлекает внимание и своей необычной формой: надклювье вздуто у основания, с прогибом в средней части. Белые щеки оттеняются черной шапочкой и черным ошейником. Низ шеи, зоб, лопатки — рыжевато-коричневые, спина и бока тела — серовато-ржавчато-бурые, брюшко — серое. Ярко-желтые глаза, красновато-серые лапы и длинный черный хвост, торчащий вверх, дополняют наряд селезня. Самка окрашена скромнее: общий цвет ее оперения желтовато-ржаво-коричневый с оттенками, с мелкими поперечными полосками на спине, щеки — темно-бурые.

Савка — утка небольшая, имеет короткую толстую шею и крупную голову, весит 500—865 г.

В СССР савка обитает в Казахстане на озерах лесостепной, степной и полупустынной зон. Вне СССР она встречается в Северной Африке, Иране, странах Средиземноморья. В настоящее время в мире насчитывается всего около 15 тыс. пар. Савка исчезла из ряда мест, где раньше гнездилась. Так, в 1954—1964 гг. она была обычной на гнездовье и дельте р. Или и Алакульских озерах, где за 3—5-часовую экскурсию встречали до 5 выводков. В добыче охотников весной и осенью на ее долю приходилось 3—4% от общего количества отстреленных уток. В 70-е годы савка в этих районах уже почти не встречалась. Заметно уменьшилось число савок в низовьях Тургая и Иргиза, редкой она стала и в Наурзумском заповеднике (в 1972 г. там гнезилось всего 33 пары, а в последующие годы еще меньше). На Кургальджинских озерах число гнездящихся савок с 1959 по 1970 г. уменьшилось с 70 до 30 пар. В Северной Кулунде численность савки уменьшилась в 4—5 раз. На юге Барабы в районе озера Чаны савка, по нашим данным, также исчезла со многих пересохших малых озер. В лесостепи Северного Казахстана в 1970—1977 гг. единичные пары савок мы наблюдали на Петропавловских, Пресновских и Майбалыкских озерах. На Сарпинских озерах Волгоградской области в июне 1971 г. из 9 тыс. учтенных водоплавающих птиц было всего 5 савок. Это неуклонное снижение численности вызывает серьезное беспокойство за судьбу вида и требует срочных мер по охране.

На места гнездования савки привлекают значительно позднее других уток. На юге Казахстана они появляются в конце марта — начале апреля, на севере ареала — в первой половине мая и лишь в холодные весны — в конце мая. Большая часть птиц летит ночью.

Места гнездования савки разнообразны. Она заселяет заросшие тростником



Ареал савки в СССР.



Гнездовой биотоп. Заросли тростника вдоль плеса, Барабинская лесостепь — типичные места гнездования савки.

Фото А. И. Кошелева.

и рогозом пресные и солоноватые озера различной площади, где густые заросли чередуются с открытыми плесами. Савок на водоеме видно издали по торчащему вверх хвосту и белой голове. Хотя часть птиц прилетает парами, образование пар и токование идет и на местах гнездования. По нашим наблюдениям, токование савок не похоже на ток других уток. Мы наблюдали, как группа птиц из трех пар и одного селезня держалась на плесе. Самцы в парах отплывали от самок на 5—10 м и стремительно возвращались к ним в «распластанной» позе (голова втянута в плечи, клюв направлен вперед, хвост лежит на воде), так что сзади образовывались буруны. В 0,5—1 м от самки самец резко останавливался и вздергивал одновременно хвост (вертикально вверх, даже загибая несколько на спину) и голову на высоко поднятой шее; затем начинал медленно плавать вокруг своей самки. Самки во время тока самцов держались спокойно, дремали или ныряли за кормом. Одиночный селезень держался в стороне в 60 м и в токе не участвовал; брачные игры продолжались около 40 мин., птицы вели себя

молча. Кроме того, во время токования самцы плавают вокруг самки с вздернутым вверх и расправленным веером хвостом, раздувают грудь, хлопают по ней клювом. Иногда прижимают клюв к груди, опускают его в воду и резко толкают тело вперед.

Гнездо устраивается в густых зарослях тростника на кромке сплавины или в заломе, обязательно вблизи открытой воды. При опасности самка сразу молча уходит, ныряя, поэтому увидеть ее на гнезде не удастся. Само гнездо малозаметно, изготавливается из сухих стеблей и листьев тростника и рогоза, а с начала насиживания — и серо-белого пуха. Размеры гнезда небольшие: диаметр — от 20 до 37 см, глубина 6—9 см, лоток — 15—18 см.

В полной кладке 4—10 и более яиц. Яйца необычайно крупные для такой маленькой утки: длина — 66—74 мм, ширина — 50—57 мм, вес — 92—100 г. т. е. 15% от веса утки. Общий вес кладки даже превышает вес самки. Скорлупа яиц грубая, шероховатая, окраска слегка голубоватого цвета. Позднее она становится белой и даже грязно-желтой. Если яиц в гнезде мало, они лежат в один ряд, при большой кладке яйца лежат в несколько этажей.

Биология савки еще недостаточно изучена. Так, никто не слышал голоса этих уток. Нами установлено, что савка насижи-



Самцы савки. Наурзумские озера.

Фото А. И. Кошелева.

вает яйца, как и другие утки, в течение 22—25 дней и сходит с гнезда для кормежки лишь 2—3 раза в сутки на 1,5—2 часа. Сроки размножения значительно растянуты даже в одном месте; находили свежие кладки в мае — июне и даже июле.

Для данного вида известны случаи гнездового паразитизма — явления, довольно широко распространенного у уток при острой нехватке мест гнездования. Так, в Кулунде были найдены 3 кладки савки, совместных с красноголовым нырком, в Казахстане известен случай, когда савка заняла гнездо белоглазого нырка и отложила на его 4 яйца свои яйца. Савка гнездится и в колониях чайковых птиц: озерных и малых чаек, черных и белокрылых крачек, поганок. Крики чаек при опасности служат для савки сигналом тревоги, и она заблаговременно покидает гнездо.

Утята появляются в конце июня — июле. Средняя величина выводка в Наурзуме — 3 птенца, в Северном Казахстане и Кулунде — 4. Уникальной следует считать встреченный нами в июле 1971 г. вблизи г. Петропавловска выводок савки с 15 двухдневными утятами. Утята окрашены в буро-коричневый цвет, их хвостики со дня рождения торчат вверх. Они отлично ныряют. Выводки держатся днем по кромке зарослей, куда скрываются при малейшей опасности. На открытых местах они появляются и кормятся только вечерами и ночью. Спорным вопросом является степень участия селезня в вождении птенцов.

Самцы покидают самок, когда те приступают к насиживанию, и собираются группами по 10—50 особей на открытых плесах степных озер для линьки. В течение двух месяцев (во время линьки) они не могут летать. В Барабе, по нашим данным, линька селезней заканчивается в конце августа — начале сентября. Савка живет только на воде, никогда не выходит на берег. Она то глубоко погружает тело в воду, оставляя сверху лишь голову и хвост (при опасности, на сильной волне), то сидит на воде. Под водой она может находиться до 2 мин., проплывая 30—40 м. Зато поднимается савка в воздух тяжело, после долгого разбега. Мощные короткие крылья обеспечивают быстрый стремительный полет, но ограничивают возможность резкого поворота и маневрирования.

На зимовку улетает савка рано: в Барабе — до конца второй декады сентября, в Наурзуме — до конца сентября, в Кургальджино — до первой декады октября, на п-ве Мангышлак — до ноября. Зимуют савки в СССР только на юго-востоке Каспийского моря, за пределами нашей страны — в Ираке, Иране, Северной Индии, Пакистане. На зимовке они собираются по 500 особей, а в Белуджистане — даже до 1000 птиц в одном месте, держатся вдали от берегов. Питаются преимущественно растительными кормами: вегетативными частями рдестов, тростника, харовых водорослей, руппии, семенами ежеголовок, осок, озерного камыша, рожее — моллюсками, насекомыми, ракообразными.

Основными врагами савки в гнездовой период являются серые вороны, болотный лунь и человек. К сожалению, в осеннее время савка попадает под выстрелы охотников. На ее численность существенно влияет высыхание озер лесостепной и степной зон, особенно на севере ареала.

В настоящее время за рубежом (ГДР, Англия) савок успешно содержат в неволе, а в Слимбридже, в Объединении по изучению водоплавающих птиц, даже добились ее размножения<sup>1</sup>. Видимо, назрела необходимость создания и в нашей стране центра по разведению и сохранению редких и исчезающих птиц СССР.

<sup>1</sup> Банников А. Г. Слимбридж — международный центр по изучению водоплавающих птиц. — «Природа», 1978, № 4.

## Космические исследования

## Запуски космических аппаратов в СССР (май — июнь 1980 г.)

В мае — июне 1980 г. в Советском Союзе было запущено 18 космических аппаратов, в том числе 12 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований космического пространства. На двух спутниках этой серии («Космос-1182 и -1185») установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с них поступает в Государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

В космическом корабле «Союз-36» стартовал пятый международный экипаж по программе «Интеркосмос» в составе летчика-космонавта СССР В. Н. Кубасова и космонавта-исследователя гражданина ВНР Б. Фаркаша<sup>1</sup>.

Усовершенствованный транспортный корабль «Союз Т-2» с экипажем в составе командира корабля Ю. В. Малышева и бортинженера В. В. Аксенова был запущен для дальнейших испытаний и отработки бортовых систем в пилотируемом режиме. 6 июня 1980 г. «Союз Т-2» состыковался с орбитальной станцией «Салют-6», после чего были проведены испытания бортовых систем и аппаратуры усовершенствованного транспортного корабля в составе орбитального комплекса. 9 июня 1980 г. после успешного завершения программы испытательного по-

| Космический аппарат | Дата запуска | Параметры начальной орбиты |            |                  |                       |
|---------------------|--------------|----------------------------|------------|------------------|-----------------------|
|                     |              | перигей, км                | апогей, км | накло- ние, град | период обращения, мин |
| «Космос-1178»       | 7.V          | 207                        | 417        | 72,9             | 90,4                  |
| «Космос-1179»       | 14.V         | 310                        | 1570       | 83               | 103,5                 |
| «Космос-1180»       | 15.V         | 240                        | 296        | 62,8             | 89,8                  |
| «Космос-1181»       | 20.V         | 992                        | 1020       | 83               | 105                   |
| «Космос-1182»       | 23.V         | 221                        | 278        | 82,3             | 89,2                  |
| «Союз-36»           | 26.V         | 263*                       | 319        | 51,6             | 90                    |
| «Космос-1183»       | 28.V         | 208                        | 414        | 72,9             | 90,4                  |
| «Космос-1184»       | 4.VI         | 621                        | 662        | 81,2             | 97,4                  |
| «Союз Т-2»          | 5.VI         | 267*                       | 316        | 51,6             | 90,2                  |
| «Космос-1185»       | 6.VI         | 226                        | 308        | 82,3             | 89,5                  |
| «Космос-1186»       | 6.VI         | 473                        | 519        | 74               | 94,5                  |
| «Космос-1187»       | 12.VI        | 210                        | 332        | 72,9             | 89,6                  |
| «Горизонт»          | 14.VI        | 36 515                     | 36 515     | 0,8              | 1473                  |
| «Космос-1188»       | 14.VI        | 628                        | 40 165     | 62,8             | 726                   |
| «Метеор»            | 18.VI        | 589                        | 678        | 98               | 97,3                  |
| «Молния-1»          | 21.VI        | 658                        | 40 707     | 62,5             | 738                   |
| «Космос-1189»       | 26.VI        | 209                        | 330        | 72,9             | 89,5                  |
| «Прогресс-10»       | 29.VI        | 191                        | 281        | 51,6             | 88,9                  |

\* Параметры орбиты после коррекции.

лета космонавты Малышев и Аксенов вернулись на Землю<sup>2</sup>.

Очередной спутник связи «Горизонт» (международный регистрационный индекс «Стационар-4») был выведен на круговую близкую к стационарной орбиту. На спутнике установлена усовершенствованная многоканальная бортовая ретрансляционная аппаратура, обеспечивающая телефонно-телеграфную радиосвязь и передачу телевизионных программ.

Очередной спутник связи серий «Молния-1» предназначен для эксплуатации системы дальней телефонно-телеграфной радиосвязи, а также передачи программ Центрального телевидения СССР на пункты сети «Орбита».

Основная задача очередного метеорологического спутника серии «Метеор» — получение информации, необходимой для продолжения работ по исследованию природных ресурсов Земли, отработки методов дистанционных измерений параметров состояния атмосферы и подстилающей поверхности. На спутнике установлена телевизионная аппаратура для получения изображений поверхности Земли в нескольких областях спектра.

Автоматический грузовой корабль «Прогресс-10» 1 июля состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом «Салют-6» — «Союз-36» и доставил на орбиту оборудование, аппаратуру, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа и проведения научных исследований и экспериментов, топливо для объединенной двигательной установки станции, а также почту.

<sup>1</sup> Подробнее см. в этом номере: «Советско-венгерский экипаж в космосе», с. 106.

<sup>2</sup> Подробнее об испытательном полете корабля «Союз Т-2» см. в этом номере: «Работа на орбите», с. 108.



Космические исследования

## Советско - венгерский экипаж в космосе

26 мая 1980 г. в 21 ч 21 мин по московскому времени в Советском Союзе был осуществлен запуск транспортного космического корабля «Союз-36», пилотируемого международным экипажем в составе командира корабля летчика-космонавта СССР В. Н. Кубасова и космонавта-исследователя гражданина Венгерской Народной Республики Б. Фаркаша.

27 мая в 22 ч 56 мин на 18-м витке полета корабля была произведена стыковка «Союза-36» с орбитальной станцией «Салют-6». После проверки герметичности стыковочного узла и выравнивания давления между кораблем и станцией в 2 ч 04 мин 28 мая космонавты перешли в помещение станции, где уже находились Л. И. Попов и В. В. Рюмин. С этого времени в околоземном космическом пространстве на борту пилотируемого научно — исследовательского комплекса «Салют-6» — «Союз-35» — «Союз-36» приступил к работе международный экипаж в составе четырех космонавтов.

Программа работ международного экипажа предусматривала проведение в течение 7 дней медико-биологических, технологических и технических экспериментов, а также исследований и экспериментов по изучению атмосферы и природных ресурсов Земли. Эти исследования были подготовлены специалистами Венгрии в сотрудничестве со специалистами Советского Союза и других социалистических стран-участниц программы «Интеркосмос».

Научная программа была начата с эксперимента «Интерферон», который состоял из двух частей. Вначале изучалось влияние факторов космического полета на образование интерферона в организме человека и клеточной структуре. Затем выяснялось, влияют ли условия космического полета на интерферон, приготовленный в виде лекарственных форм. Использовались два прибора, изготовленных на заводе венгерской фирмы «Медикор». Результаты



Командир международного экипажа космического корабля «Союз-36» дважды Герой Советского Союза летчик-космонавт СССР В. Н. Кубасов.



Космонавт-исследователь Герой Советского Союза гражданин ВНР Б. Фаркаш.

этого эксперимента откроют новые перспективы в предупреждении и лечении вирусных заболеваний, в частности тех, которые могут возникнуть у космонавтов в длительных космических полетах.

В последующие дни полета космонавты выполнили медико-биологические эксперименты «Доза» и «Работоспособность». В эксперименте «Доза» для оценки радиационных воздействий на организм космонавта в длительных полетах изучалась радиационная обстановка в отсеках станции «Салют-6» и измерялись индивидуальные дозы излучений, полученных космонавтами. Эксперимент проводился с помощью разработанной в Центральном институте физических исследований (Будапешт) дозиметрической аппаратуры «Пилла», включающей набор термоллюминесцентных датчиков и бортовой измерительный пульт.

В эксперименте «Работоспособность» с помощью прибора «Балатон», созданного венгерской фирмой «Медикор», исследовалась умственная работоспособность космонавтов; оценивались основные характеристики человека-оператора: скорость и точность реакции, помехоустойчивость (способность выделять полезный сигнал из шума), объем перерабатываемой информации и другие.

Эти показатели отражают состояние психических и двигательных функций космонавта на конкретном этапе полета, при этом они могут претерпевать изменения в зависимости от функционального состояния человека и состояния его вегетативной нервной системы, психических особенностей личности и условий окружающей среды.

Программа медико-биологических исследований была очень насыщенной — помимо перечисленных космонавты выполнили эксперименты, подготовленные специалистами ЧССР, ПНР и ГДР и осуществленные ранее предыдущими международными экипажами: «Опрос» — исследование индивидуальных особенностей психологической адаптации человека к условиям космического полета, «Досуг» — исследование оптимизирующего эффекта зрелищно-музыкальных программ в условиях космического полета, «Кислород» — изучение с помощью чехословацкого прибора «Оксиметр» кислородного режима тканей человека, «Вкус» — оценка с помощью польского прибора «Электрогустометр» изменений вкусовой чувствительности человека в космическом полете, «Аудио» — изучение с помощью прибора ГДР «Эльба» функции слухового анализатора у космонавта.



Вторая группа экспериментов, выполненная международным экипажем, была связана с исследованиями в области материаловедения. Они проводились на советских электронагревательных установках «Сплав» и «Кристалл» с программным управлением, и в них изучалось влияние слабой гравитации на степень совершенства полученных полупроводниковых материалов, на особенности объемной кристаллизации и структуры металлических сплавов. Эксперименты «Этавш» и «Беалуца» представляли собой серии экспериментов, отличающихся технологическими режимами (температурой нагрева, длительностью выдержки, скоростью протяжки, охлаждением — регулируемым или пассивным) или исходными веществами. Капсулы с исходными веществами были подготовлены венгерскими специалистами.

В серии экспериментов «Этавш» из расплавов-растворов выращивались монокристаллы разнородных полупроводниковых соединений; по результатам экспериментов может быть дана качественная оценка особенностей роста кристаллов в условиях слабой гравитации при отсутствии тепловой конвекции и проверена возможность получения полупроводниковых материалов с улучшенными электрофизическими и структурными параметрами. В этих экспериментах выращивались монокристаллы арсенида галлия; легированного хромом, антимонида индия и антимонида галлия, которые широко используются при создании микроэлектронных приборов и улучшение их характеристик имеет большое значение для этой отрасли техники.

В двух сериях экспериментов «Беалуца» изучалась диффузия меди в алюминий (первая серия) и технология получения сплава алюминия с 4% меди (вторая серия). В первой серии использовалась цилиндрическая заготовка высокочистого алюминия с вкладышем в виде проволоки из меди, во второй — сплав алюминия с медью. Результаты экспериментов «Беалуца» предполагается использовать для улучшения технологии непрерывной разливки стали

и сплавов, разливаемой в формы для изготовления специальных изделий (инструментов, деталей для теплоэнергетических машин и т. п.), улучшения технологии и оборудования серийного производства.

Третья группа — технические эксперименты — проводились с помощью болгарского спектрометра «Спектр-15» и фотоаппарата «Пентакон-6» (ГДР). Орбитальный комплекс нагревается солнечными лучами неравномерно и вследствие этого деформируется. При этом оси различных оптических приборов могут расходиться и таким образом вносить погрешность в навигационные измерения. Для учета этих погрешностей и проводился эксперимент «Деформация», позволивший исследовать рассогласование между осями оптических приборов, вызываемое деформацией станции в составе орбитального комплекса при длительном одностороннем нагреве Солнцем.

В эксперименте «Иллюминатор» с помощью прибора «Спектр-15» проводилась количественная оценка изменений спектральных характеристик пропускания одного из иллюминаторов станции в видимой и ближней ИК-областях. Необходимость этих оценок связана с тем, что экипажи орбитального комплекса получают огромное количество информации о Земле и процессах в окружающем пространстве, однако эта информация, получаемая через иллюминаторы, определенным образом искажается. Знание искажений позволит внести необходимые коррективы.

В эксперименте «Поляризация-2» определялась степень увеличения контраста подстилающей поверхности Земли в районе терминатора при наблюдении со станции через поляризационный фильтр.

Наконец, в четвертой группе экспериментов исследовалась земная атмосфера и проводилось дистанционное зондирование Земли в целях изучения ее природных ресурсов. Эксперименты этой группы осуществлялись с помощью многозональной фотоаппаратуры МКФ-6М (ГДР), болгарского прибора «Спектр-15», а также

фотоаппарата «Пентакон-6» (ГДР). Исследовались оптические характеристики атмосферы при восходе и заходе солнца (эксперимент «Заря»), оптические характеристики атмосферы в районе терминатора (эксперимент «Терминатор»), поляризационные характеристики подстилающей поверхности (эксперимент «Поляризация-1»); кроме того, были получены данные об атмосферной рефракции (эксперимент «Рефракция»), определялось влияние атмосферы на спектральные характеристики природных объектов на границе воды и суши (эксперимент «Контраст»), отрабатывалась методика определения передаточной функции атмосферы (эксперимент «Атмосфера»), проводились визуальные наблюдения и фотосъемки природной среды на отдельных участках земной поверхности (эксперимент «Биосфера-М»).

Эксперименты, выполненные советско-венгерским международным экипажем, находят в русле направлений исследований, традиционных как для программы «Интеркосмос» в целом, так и для экспериментальных программ полетов международных экипажей. Они также отражают тенденцию все большей практической направленности совместных работ в космосе в рамках программы «Интеркосмос» в интересах различных отраслей народного хозяйства, в интересах удовлетворения практических потребностей людей.

В полетах международных экипажей сложилась традиция брать с собой в космос предметы, символизирующие культурное и научное наследие страны, ее исторические реликвии. Среди предметов, взятых в космос советско-венгерским экипажем, находилась схема перелета в 1919 г. из Будапешта в Советскую Россию к В. И. Ленину посланца венгерских коммунистов Т. Самуэли, макет Чепельской радиотелеграфной установки «Искра», которая 22 мая 1919 г. приняла обращение В. И. Ленина к рабочим Венгерской Советской Республики, макет монумента «Освобождение», установленного в 1945 г. на горе Геллерт в Будапеште, земля с родины

космонавта ВНР. На борту станции «Салют-6» находились страницы из труда одного из творцов неевклидовой геометрии Я. Бойяи, копия двух страниц из Будапештской хроники 1473 г. — старейшего памятника венгерской печати, копия страницы с записью метеорологических наблюдений Будапештской станции в 1781 г. — первых метеонаблюдений в Венгрии и другие символы венгерской истории, науки и культуры.

3 июня 1980 г. после успешного выполнения программы полета космонавты В. Н. Кубасов и Б. Фаркаш возвратились на Землю в спускаемом аппарате космического корабля «Союз-35», который совершил мягкую посадку в 18 ч 07 мин по московскому времени в 140 км юго-восточнее Джезказгана.

Полет советско-венгерского международного экипажа получил высокую оценку партийных и государственных руководителей обеих стран, общественности братских стран социализма.

**С. А. Никитин**

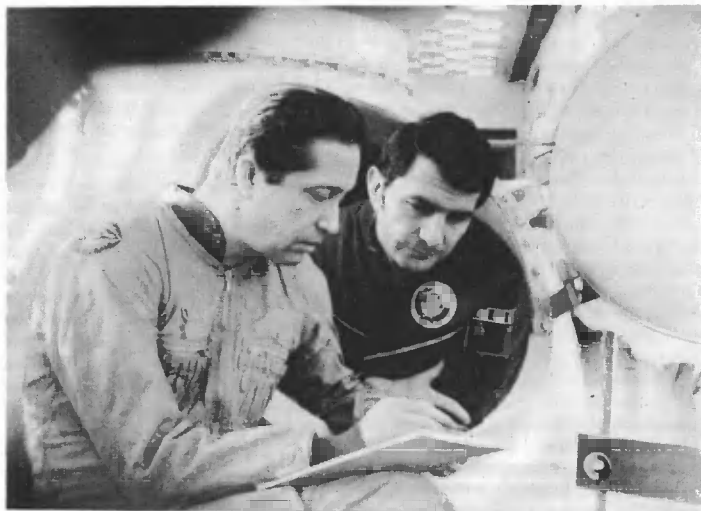
Москва

Космические исследования

## Работа на орбите

В мае — июне 1980 г. космонавты Л. И. Попов и В. В. Рюмин продолжали выполнять программу научно-технических исследований и экспериментов, а также разгрузочно-погрузочные и профилактические работы. С помощью специальной системы «Родник» была выполнена перекачка воды из баков грузового корабля «Прогресс-9» в емкости станции. Такая операция была впервые осуществлена в практике пилотируемых космических полетов. 20 мая грузовый корабль «Прогресс-9» отделился от орбитального комплекса и после автономного полета 22 мая 1980 г. вошел в плотные слои атмосферы над заданным районом Тихого океана и прекратил существование.

С 28 мая по 3 июня 1980 г. космонавты Л. И. Попов и В. В. Рюмин работали вместе с



Экипаж космического корабля «Союз Т-2» — командир корабля Ю. В. Малышев (справа) и бортинженер В. В. Аксенов во время тренировок в Центре подготовки космонавтов им. Ю. А. Гагарина. Фото ТАСС.

космонавтами В. Н. Кубасовым и Б. Фаркашем<sup>1</sup>.

5 июня 1980 г. в Советском Союзе был осуществлен запуск космического корабля «Союз Т-2» с экипажем в составе командира корабля Ю. В. Малышева и бортинженера В. В. Аксенова. Космический корабль «Союз Т-2» представляет собой усовершенствованный транспортный корабль серии «Союз Т», впервые выведенный на околоземную орбиту с экипажем. В полете «Союза Т-2» испытывались новая система жизнеобеспечения, система ориентации и управления движением с бортовым цифровым вычислительным комплексом, объединенная двигательная установка, в которой маршевый двигатель, а также двигатели-ориентации и причаливания используют одни и те же баки с топливом, а не отдельные, как прежде. В этом полете испытывались также новые космические скафандры.

6 июня «Союз Т-2» осуществил стыковку с орбитальным комплексом «Салют-6» — «Союз-36». Процесс сближения и стыковки космических аппаратов проходил в два этапа: на первом этапе до расстояния 180 м сближение корабля с орбитальным комплексом проводилось в автоматическом режиме, дальнейшее сближение и причаливание было выполнено экипажем вручную.

После успешного завершения полета 9 июня 1980 г. космонавты Малышев и Аксенов возвратились на Землю в спускаемом аппарате корабля «Союз Т-2», который совершил мягкую посадку в заданном районе Советского Союза в 200 км юго-восточнее Джезказгана. Усовершенствованный транспортный корабль серии «Союз Т» существенно расширяет возможности пилотируемых полетов и обслуживания орбитальных научных станций.

В мае — июне 1980 г. экипаж орбитального комплекса «Салют-6» — «Союз» продолжал выполнять научную программу полета. Были проведены очередные эксперименты в области космического материаловедения: на установках «Сплав» и «Кристалл» в условиях слабой гравитации в процессе плавки были получены полупроводниковые материалы — арсенид и антимонид галлия, соединения «галлий — висмут», германий,

<sup>1</sup> См. в этом номере: «Советско-венгерский экипаж в космосе», с. 106.

соединение «кадмий—ртуть—теллур», сульфид кадмия.

С помощью аппаратуры «Испаритель» проведена серия экспериментов по нанесению металлических покрытий методом испарения и конденсации в условиях космического вакуума и невесомости. В различных режимах проведено напыление на металлические и стеклянные образцы покрытий из золота, серебра и сплавов, включающих алюминий, медь и серебро.

На аппаратуре «Лотос» выполнен новый эксперимент, цель которого — отработка метода получения элементов конструкций из пенополиуретана.

Ежедневно космонавты проводили визуальные наблюдения и съемку земной поверхности и экватории Мирового океана по программе изучения природных ресурсов Земли и исследования окружающей среды. Получена обширная информация, которая будет использована в интересах геологии, сельского хозяйства, при решении задач картографирования земельного фонда страны и оценки состояния сельскохозяйственных угодий, а также в интересах океанологии, гидрометеорологии, лесного хозяйства.

С помощью малогабаритного гамма-телескопа «Елена» космонавты осуществили несколько очередных серий измерений потоков гамма-излучения и заряженных частиц в околоземном космическом пространстве. Был проведен также комплексный эксперимент по одновременному измерению потоков гамма-излучения и заряженных частиц на околоземной орбите и в верхней атмосфере Земли с помощью бортового телескопа «Елена» и аналогичной аппаратуры, находившейся на высотном аэростате.

По-прежнему большое место в программе работ занимали медико-биологические исследования и эксперименты, а также систематические физические упражнения на велоэргометре и «бегущей» дорожке.

29 июня 1980 г. в Советском Союзе был осуществлен запуск автоматического грузового корабля «Прогресс-10», который 1 июля состыковался с орбитальным пилотируемым комплексом и доставил на орбиту

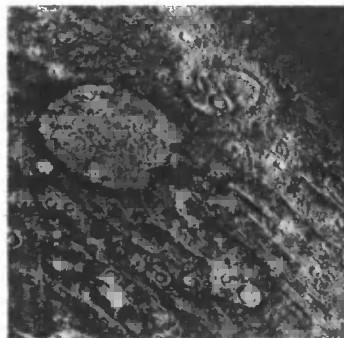
оборудование, аппаратуру, материалы для обеспечения жизнедеятельности экипажа и проведения научных исследований и экспериментов, топлива для объединенной двигательной установки станции, а также почту. В начале июля космонавты приступили к разгрузке транспортного корабля «Прогресс-10».

#### Планетология

### Борозды и гряды на Ганимеде

Новые снимки Ганимеда, полученные «Вояджером-2», позволили увидеть другое полушарие этого спутника. Большая часть его занята округлой темной областью диаметром ~ 3200 км, представляющей, вероятно, массив древней коры, содержащей большое количество кратеров. Его окружает пояс светлой местности шириной ~ 400 км, покрытой множеством борозд. Внутри темного массива обнаружены две крупные светлые детали диаметром ~ 300 км. Еще одно подобное образование расположено в пределах светлого пограничного пояса. Эти детали почти не отличаются по высоте от прилегающих участков поверхности. В центральной части каждой из них находится слабо выраженное углубление диаметром ~ 100 км. По мнению исследователей, крупные светлые пятна представляют собой остатки древних кратеров и зон выбросов из них. Поскольку Ганимед состоит из смеси обычных горных пород со льдом (примерно в равных долях), то после того, как образуется кратер, имеющий значительную глубину, он начинает расплываться, подобно сползанию ледников на Земле. Действие этого процесса в течение длительного времени привело к почти полному выравниванию древних кратеров.

Были обнаружены также новый для Ганимеда тип рельефа — плавно изогнутые гряды, разделенные широкими понижениями. Эти детали представляют собой характерные признаки внешней части многокольцевого бассейна ударного происхожде-



Слабонизогнутые гряды и понижения — остатки древней многокольцевой впадины на Ганимеде, уничтоженной последующими геологическими процессами. Светлые округлые пятна диаметром 300 км — остатки крупных кратеров, «расплывающихся» в ледистой коре.

Фото «Вояджера-2», НАСА.

ния, подобного тому, который был найден ранее на другом спутнике Юпитера — Каллисто<sup>1</sup>. Однако на снимках Ганимеда не просматривается центральная пониженная часть бассейна. По-видимому, эта впадина была уничтожена геологическими процессами, действовавшими после ее образования.

«Voyager Encounters Jupiter». NASA, 1979, p. 28—33 (США).

#### Планетология

### Вторая зимовка «Викингов»

Посадочные блоки станций «Викинг-1 и -2», совершившие посадку на поверхность Марса в 1976 г., продолжают передавать метеорологические данные (температуру, атмосферное давление, направление и скорость ветра) и панорамные изображения поверхности планеты. Работа блоков вступила в четвертый этап, называемый американскими исследователя-

<sup>1</sup> Бурба Г. А. Юпитер и его спутники на снимках «Вояджера-1». — «Природа», 1979, № 12.

ми съёмочным, или обзорным, который будет продолжаться до 1990 г. Посадочные блоки переведены на автоматический режим работы с передачей информации на Землю один раз в неделю.

Орбитальный блок «Викинг-2» прекратил работу 24 июля 1978 г., после того как у него произошла утечка газа из системы ориентации. Орбитальный блок «Викинг-1» продолжает съёмку планеты, получая детальные фотографии с такой чёткостью изображения, которая прежде не достигалась. Это связано с тем, что атмосфера Марса стала необычайно чистой и прозрачной. Орбитальный блок перестанет функционировать к середине 1980 г.

В мае 1979 г. посадочные блоки «Викингов» встретили свою вторую марсианскую зиму. В расположенном ближе к экватору районе равнины Хриса, где находится «Викинг-1», наступление зимы выразилось лишь в изменении температуры и давления атмосферы. А вот на равнине Утопия (район посадки «Викинг-2»), находящейся ближе к Северному полюсу, приход зимы ознаменовался, как и положено, появлением снега. Наблюдения показали, что снег представляет собой замёрзшую воду, поскольку температура воздуха в это время была слишком высока для образования «сухого льда» из  $\text{CO}_2$ . Пылевой бури в период появления снега в 1979 г. не было. Эти факты вновь поставили перед исследователями вопрос о происхождении марсианского снега. Основной моделью среди специалистов в настоящее время считается следующая: при понижении температуры воздуха образуются мелкие частицы обычного льда, которые оседают на поверхность взвешенных в атмосфере пылин. Эти образования слишком легки, чтобы упасть на поверхность планеты, поэтому продолжают «плавать» в воздухе. Когда же температура опускается еще ниже, в атмосфере, состоящей на 95% из  $\text{CO}_2$ , начинают образовываться частицы «сухого льда», которые прилипают к пылинкам, уже покрытым кристалликами замёрзшей воды. Потяжелевшие от двойного инея пылинки под собственной тяжестью

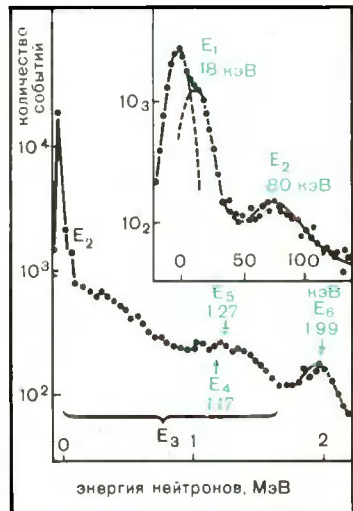
«тонут» в атмосфере, оседая на поверхность планеты. Небольшое повышение температуры воздуха (например, в результате солнечного нагрева днем) приводит к тому, что «сухой лед» испаряется, возвращаясь в виде газа в атмосферу. Пылинки же с обычным льдом остаются на камнях и грунте. По оценке специалистов, толщина образующего снежного покрова составляет  $\sim 0,02$  мм.

«EOS Transactions of American Geophysical Union», v. 60, № 38, p. 634—635 (США); «Nature», 1979, v. 280, № 5724, p. 637 (Великобритания).

Физика

## Запаздывающая двухнейтронная активность ядер

Группа физиков из ЦЕРНа<sup>1</sup> сообщила о наблюдении запаздывающего испускания пары нейтронов ядром изотопа  $^{11}\text{Li}$ . Эти эксперименты связаны с исследованием так называемых нейтронно-избыточных ядер, интерес к которым в известной мере связан с предположением о существовании в далеких районах этой области ядер островов повышенной стабильности<sup>2</sup>. Напомним, что хотя число исследованных изотопов приближается к двум тысячам, все они располагаются в непосредственной близости к узкой области, для которой характерны максимальные значения энергии связи и устойчивости ядер, — речь идет о так называемой долине стабильности. Уменьшение энергии связи частиц в ядре приводит к его неустойчивости по отношению к разным видам распада и тем самым к уменьшению его времени жизни. Использование нового поколения сверхточных ускорителей протонов и тяжё-



Энергетический спектр испускания запаздывающих нейтронов ядрами  $^{11}\text{Li}$ . Стрелками отмечены энергии нейтронов, испускаемых возбужденными состояниями  $^{11}\text{Be}$ .

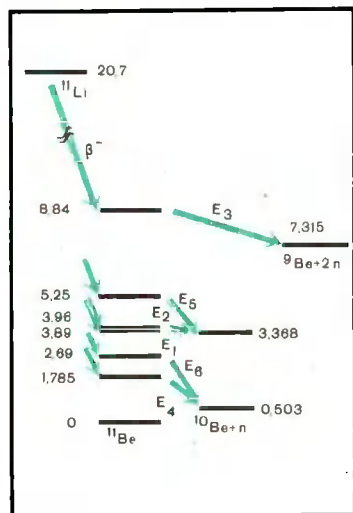


Схема уровней энергии ядра  $^{11}\text{Be}$ , образующегося в результате  $\beta^-$ -распада  $^{11}\text{Li}$ , и нейтронных распадах этих состояний. Цифры — величины энергии уровней в МэВ.

<sup>1</sup> Azuma R. E. et al. «Phys. Rev. Lett.», 1979, v. 43, № 22, p. 1652.

<sup>2</sup> Оганесян Ю. Ц. На пути к сверхтяжелым. — «Природа», 1977, № 6.

лых ионов с энергией  $\sim 100$  МэВ/нуклон позволяет синтезировать и изучать короткоживущие изотопы в ранее недоступных районах. При этом

продвижение идет как в области протонноизбыточных ядер, в которых число протонов близко к числу нейтронов или даже превосходит его, так и в области ядер с избытком нейтронов.

Рекордным достижением в области протонноизбыточных ядер является синтез изотопов  $^{32}\text{Ar}$ ,  $^{107}\text{Te}$ ,  $^{157}\text{Ta}$ ,  $^{177}\text{Hg}$ , а также исследование области повышенной стабильности вблизи двойного магического изотопа олова  $^{100}\text{Sn}$ . Основной канал распада таких ядер — позитронный ( $\beta^+$ ) распад, однако по мере ухода от линии стабильности здесь были открыты другие типы радиоактивности: запаздывающее испускание ядрами протонов после  $\beta^+$ -распада и цепочки  $\alpha$ -распадов ядер среднего атомного веса ( $A < 200$ ).

В области нейтронноизбыточных ядер важным результатом стала идентификация в 1977—1978 гг. изотопов  $^{11}\text{Li}$ ,  $^{35}\text{Na}$ ,  $^{102}\text{Rb}$ ,  $^{133}\text{In}$ ,  $^{152}\text{Cs}$ , а также исследование области вблизи двойного магического ядра  $^{132}\text{Sn}$ . Нормальный канал распада этих ядер — электронный ( $\beta^-$ ) распад. С момента открытия процесса деления, при котором образуются нейтронноизбыточные изотопы-осколки, исследователям был хорошо известен процесс запаздывающего испускания одиночных нейтронов возбужденными ядрами. Других типов распада в этой области не наблюдалось. Тем интереснее представляется открытие нового типа активности  $^{11}\text{Li}$ .

Изотоп  $^{11}\text{Li}$  имеет период полураспада  $8,5 \pm 0,2$  мс и после  $\beta^-$ -распада превращается в  $^{11}\text{Be}$ , который испускает запаздывающие нейтроны с интенсивностью  $61 \pm 7\%$ . Разность энергий основных состояний  $^{11}\text{Li}$  и  $^{11}\text{Be}$  составляет 20,7 МэВ; на 7,315 МэВ выше основного состояния  $^{11}\text{Be}$  находится порог его распада на  $^9\text{Be}$  и два нейтрона.

Изотопы  $^{11}\text{Li}$  получались путем бомбардировки мишени из карбида урана при  $200^\circ\text{C}$  пучком протонов с энергией 600 МэВ и полным током 1,6 мкА. Продукты реакции разделялись на масс-сепараторе «Изолюда». Вначале с помощью трех ионизационных камер, наполненных  $^3\text{He}$ , измерялся спектр

единичных нейтронов, в котором были отчетливо зарегистрированы три узких пика (18, 80 и 1990 кэВ) и широкое распределение нейтронов вплоть до энергии 1,7 МэВ. Это распределение исследователи интерпретировали как непрерывный спектр испускания двух нейтронов с уровня 8,84 МэВ  $^{11}\text{Be}$ . Затем такая интерпретация была подтверждена измерением нейтрон-нейтронных совпадений: ионный пучок  $^{11}\text{Li}$  из масс-сепаратора направлялся в парафиновый счетчик, окруженный восемью  $\text{He}^3$ -пропорциональными счетчиками. Детекторы осуществляли поиск событий, совпадающих по времени. В эксперименте с  $^{11}\text{Li}$  скорость счета единичных нейтронов составляла  $1,54 \text{ с}^{-1}$ , а коррелированных —  $1,35 \text{ мин}^{-1}$ . Предполагая, что полная интенсивность нейтронов составляет  $61 \pm 7\%$ , можно рассчитать выход нейтронных пар: на один  $\beta^-$ -распад  $^{11}\text{Li}$  приходится  $9 \pm 3\%$  событий. (Интенсивность испускания единичных нейтронов —  $43 \pm 9\%$ .)

Авторы предполагают изучить двухнейтронные спектры других легких ядер и отмечают, что детальное исследование этого явления может дать новый метод определения фундаментальных характеристик нейтрон-нейтронного взаимодействия.

Ю. В. Гапонов,  
кандидат  
физико-математических наук  
Москва

#### Физика

### Новый вид спинового эха

К уже известным разновидностям спинового эха<sup>1</sup> добавился новый вид эха в парах цезия. Н. А. Доватор и Р. А. Житников (Физико-технический институт им. А. Ф. Иоффе АН

СССР) впервые наблюдали эхо в виде колебаний интенсивности поглощения света накачки парамагнитного цезия без наложения обычного в таких случаях высокочастотного резонансного магнитного поля. Для получения сигнала эха оказалось достаточно наложить на поглощаемую ячейку перпендикулярно лучу накачки слабое неоднородное постоянное магнитное поле напряженностью  $\sim 0,015 \text{ Э}$ . В момент  $t(\tau = 2,6 \text{ мс})$  после включения поля его направление быстро менялось на противоположное; спустя время  $2\tau$  возникало спиновое эхо.

Эффект можно объяснить следующим образом. В отсутствие магнитного поля атомы цезия, поглощая правокруговые фотоны накачки со спином, направленным по ее лучу, приобретали ориентированный в том же направлении механический момент (т. е. поляризовались). В результате атомная система приходила в динамическое равновесие, характеризующееся определенными значениями векторов суммарного спина и намагниченности; скорости индуцированного поглощения и излучения резонансных фотонов были равны, и интенсивность прошедшего сквозь пары света накачки не менялась. При включении магнитного поля вектор намагниченности начинал вращаться в плоскости, перпендикулярной полю, располагаясь периодически то вдоль, то против луча накачки. Также периодически изменялось число возбужденных атомов цезия со спином, направленным вдоль светового луча. В итоге с той же частотой нарушался баланс скоростей индуцированного поглощения и излучения резонансных фотонов, и интенсивность проходящего света накачки колебалась с частотой вращения вектора намагниченности. Из-за неоднородности магнитного поля скорости вращения отдельных атомарных спинов были неодинаковы, поэтому через время, равное  $1/\gamma\Delta H$  (где  $\gamma$  — гиромагнитное отношение,  $\Delta H$  — амплитуда неоднородности магнитного поля), отдельные атомные спины с равной вероятностью располагались вдоль и против луча накачки; в итоге средняя намагниченность обращалась в нуль. Когда в момент

<sup>1</sup> Е. Хан в 1955 г. наблюдал эхо в ядерном магнитном резонансе; в 1963 г. советские исследователи У. Х. Копенллем и Р. В. Нагбаров предсказали эффект оптического эха.

т направление поля изменялось на противоположное, направления вращения атомных спинов также менялись, и спустя время  $2\tau$  после изменения знака поля происходило восстановление вектора намагниченности. Его вращение, но уже в другом направлении, опять приводило к колебаниям интенсивности поглощения накачки, т. е. возникал сигнал спинового эха.

«Письма в ЖЭТФ», 1980, т. 31, № 2, с. 92.

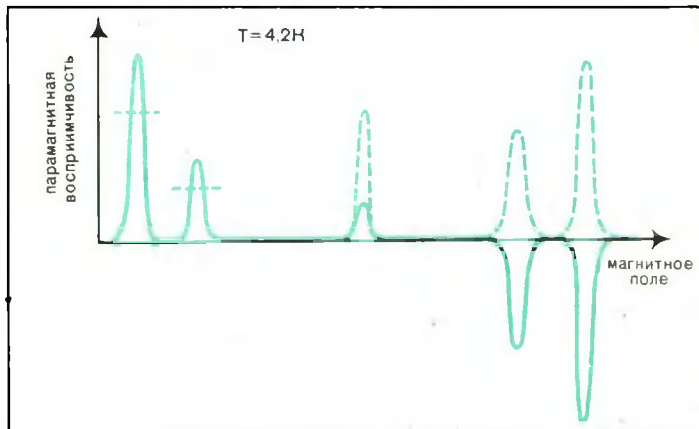
#### Физика

### Оптическая подсветка изменяет населенности спиновых состояний

Специалисты Института полупроводников АН СССР теоретически предсказали<sup>1</sup>, а затем экспериментально наблюдали новый эффект — инверсию населенностей пар спиновых состояний  $s_z = -5/2, -3/2$  и  $s_z = 1/2, 3/2$  ионов  $\text{Cr}^{+}$  в кристалле кремния (здесь  $s_z$  — квантовое число проекции спина ионов хрома на направление внешнего магнитного или электрического полей). Концентрация ионов хрома составляла  $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ ; кристалл освещался неполяризованным светом с энергией фотонов, превышающей ширину запрещенной зоны.

Эффект был обнаружен по изменению знака сигналов электронного парамагнитного резонанса (ЭПР), соответствовавших переходам между состояниями:  $-5/2 \leftrightarrow -3/2$  и  $1/2 \leftrightarrow 3/2$ . Эффект наблюдался лишь в освещенных образцах при низких температурах ( $T \sim 4,2\text{—}10 \text{ К}$ ).

В отсутствие света спектр ЭПР ионов хрома в решетке кремния состоит из 5 линий, возникающих в результате взаимодействия электронного спина ионов хрома с кристаллическим полем решетки кремния. При



Спектры электронного парамагнитного резонанса для ионов хрома  $\text{Cr}^{+}$  в кристалле кремния при наличии подсветки (сплошная линия) и в темноте (пунктир).

#### Физика

### Рассеяние нейтрино на электронах

В Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (США) группа физиков из США, Великобритании и КНР зарегистрировала упругое рассеяние мюонных нейтрино на электронах. Полученные данные позволяют оценить угол Вайнберга  $\theta_w$ , основной свободный параметр в теории электрослабых взаимодействий. Найденное в этих экспериментах значение  $\sin^2 \theta_w = 0,25^{+0,07}_{-0,05}$  хорошо согласуется с результатами других экспериментов и является, следовательно, еще одним подтверждением справедливости теории Вайнберга — Салама<sup>1</sup>.

Ускоренные на синхротроне протоны с энергией  $\sim 350 \text{ ГэВ}$  направлялись на мишень, в результате рождалось большое количество вторичных частиц, распады которых и сопровождался испусканием нейтрино. Средняя энергия полученного пучка нейтрино составляла  $\sim 20 \text{ ГэВ}$ . Счетчики регистрировали  $\sim 249\,000$  нейтринных взаимодействий, среди которых наблюдалось 34 случая упругого рассеяния  $\nu_\mu$  на  $e^-$ . При обработке данных найдено,

включении подсветки две линии, соответствовавшие указанным выше переходам, меняли знак. После выключения света равновесие восстанавливалось.

Согласно развитой авторами модели, электроны, возникающие в зоне проводимости при освещении кристалла, образуют с ионами хрома водородоподобные состояния  $(\text{Cr}^+)$ , характеризующиеся большим радиусом орбиты захваченного электрона. Из-за взаимодействия магнитного момента этого электрона с магнитным моментом иона образуются два спиновых мультиплета с полным спином  $s=2$  и  $s=3$ , разделенные большим энергетическим зазором. Заселенным оказывается преимущественно мультиплет с  $s=3$ , расположенный ниже состояний с  $s=2$ .

Перераспределение населенностей между этими состояниями возникает, по мнению авторов, в результате одновременного действия двух механизмов: сильного взаимодействия захваченного электрона с фонами кристаллической решетки и быстрого переключения эффективного магнитного поля в системе  $(\text{Cr}^+)$ , вызываемого попеременным захватом и уходом (тепловой выброс или комбинация) электрона.

«Письма в ЖЭТФ», 1980, т. 31, № 1, с. 56.

<sup>1</sup> Подробнее об этой теории см.: Ансельм А. А. В поисках единой теории фундаментальных взаимодействий. — «Природа», 1980, № 6, 7.

<sup>1</sup> Вихнин В. С., Дейген М. Ф., Семенов Ю. Г., Шанина Б. Д. «Физика твердого тела», 1976, т. 18, с. 2222.



что сечение (т. е. вероятность) этой реакции  $\sigma = (1,40 \pm 0,30) \cdot 10^{-42} \text{Ев} \cdot \text{см}^2$ , где  $\text{Ев}$  — энергия нейтрино. Согласно теории Вайнберга — Салама, этой величине сечения и соответствует значение  $\sin^2 \theta_w = 0,25^{+0,07}_{-0,05}$ .

Начиная с открытия в 1973 г. слабых нейтральных токов, экспериментаторы пытаются определить структуру слабых взаимодействий и сравнить ее с предсказаниями теории. Векское свидетельство в пользу справедливости теории — близость значений  $\sin^2 \theta_w$ , измеренных в различных экспериментах<sup>2</sup>. Наиболее аккуратные измерения этой величины проведены в опытах с адронами. В настоящее время среднее значение  $\sin^2 \theta_w$ , вычисленное по результатам всех экспериментов, составляет  $(0,232 \pm 0,009)$ .

Изучать чисто лептонные процессы рассеяния мюонных нейтрино и антинейтрино на электронах трудно из-за малой вероятности взаимодействия частиц с нейтрино; кроме того, очень сложно получать мощные нейтринные пучки. В результате в таких опытах получались менее убедительные доказательства справедливости теории. Однако в принципе эти процессы должны были бы обеспечить наилучшую проверку теории электрослабых взаимодействий, так как теоретические оценки здесь наиболее просты — они не включают предположений о структуре адронов.

В выполненных экспериментах существенно улучшена статистика и повышена точность измерений по сравнению с прежними опытами.

«Physical Review Letters», 1980, v. 44, № 10, p. 635 (США).

#### Физика атмосферы

### Зоны поглощения радиоволн

Зондирование ионосферы радиоволнами с помощью миро-

вой сети станций показало, что пространственное расположение областей с различным поглощением радиоволн намного сложнее, чем это следует из существующих теоретических оценок. Проверить этот вывод более детально до недавнего времени не удавалось, так как число пунктов, где постоянно измеряется концентрация электронов в ионосфере и поглощение радиоволн, невелико. В последнее десятилетие такие измерения стали проводить на специально оборудованных научных исследовательских судах; в результате наблюдения удалось охватить практически всю акваторию Мирового океана.

Г. В. Гивишвили, М. Д. Флигель, Л. Н. Лещенко, Ю. А. Афиногенов и В. А. Гарбачев (Институт земного магнетизма, ионосферы и распространения радиоволн АН СССР) проанализировали данные об электронной концентрации и поглощении радиоволн (в диапазоне 1,7—3,2 МГц), полученные в 8 рейсах советских и зарубежных научно-исследовательских судов в 1965—1977 гг. Оказалось, что области поглощения радиоволн имеют крупномасштабную структуру: над территорией Тихого, Индийского и Атлантического океанов были выделены области с повышенным и пониженным поглощением. Области с повышенным поглощением радиоволн совпадают или близки с зонами резкого спада электронной концентрации (в ночные часы на высоте около 250 км).

Механизм связи этих явлений еще предстоит исследовать; по мнению авторов, такая связь может быть обусловлена крупномасштабными неоднородностями в нейтральной атмосфере, размеры которых по горизонтали составляют тысячи, а по вертикали — сотни километров.

«Геомагнетизм и аэронавигация», 1980, № 2, с. 275—280.

#### Иммунология

### «Обучение» лимфоцитов

Первые опыты по пересадке органов, начатые в конце 50-х годов, привели к открытию

нового типа иммунологической защиты, осуществляемой так называемыми Т-лимфоцитами<sup>1</sup>. В отличие от В-лимфоцитов, вырабатывающих антитела, Т-лимфоциты способны разрушать клетки пересаженной ткани после того, как распознают их как чужеродные для организма.

Т-лимфоциты воспринимают антигены вирусов или бактерий как «чужие» лишь в том случае, если клетки, в которых они находятся, одновременно распознаются Т-лимфоцитами как «свои» (т. е. принадлежащие организму, в котором эти лимфоциты циркулируют). В этом узнавании участвуют особые молекулы, расположенные на поверхности всех клеток организма, — так называемые антигены гистосовместимости. Каждый организм обладает определенным набором вариантов антигенов клеточной поверхности. Т-лимфоциты имеют такой же набор антигенов, как и все клетки этого организма.

Р. М. Цинкернагель с сотрудниками (Клиника им. Скриппса, Калифорния, США) установил, что распознавать клетки организма как «свои» или «чужие» Т-лимфоциты «обучаются» в тимусе. Таким образом, эта железа является не только местом дифференцировки, но и «школой», в которой Т-лимфоциты обучаются распознавать антигены своего организма. Цинкернагель показал, что именно наружный, эпителиальный слой тимуса «диктует» незрелым лимфоцитам, какие признаки (иначе маркеры) антигенов организма им нужно уметь распознавать как «свои». Для этого маркеры эпителиальных клеток тимуса и маркеры клеток лимфоцитов должны быть идентичными.

Недавно Д. Кац с сотрудниками, а также Н. Вальцман показали, что те же самые закономерности существуют и в отношении другой функции Т-лимфоцитов — их кооперации с В-лимфоцитами для производства антител. Оказалось, что клетки Т объединяются с клет-

<sup>2</sup> Смандырев М. А. Экспериментальная проверка модели Вайнберга — Салама. — «Природа», 1979, № 4.

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: Галактионов В. Г. Дарвиновский принцип в иммунологии. — «Природа», 1980, № 8.

ками Б только тогда, когда их антигены гистосовместимости совпадают.

Таким образом, по мнению исследователей, существует общий закон, согласно которому созревание в тимусе Т-лимфоцитов включает в себя важную фазу обучения, касающуюся маркеров своего «я».

«Nature», 1979, № 277, p. 141 (Великобритания).

## Медицина

### Ретиноиды и рак

В настоящее время существует определенное число лекарств, которые способны воспрепятствовать образованию или развитию раковых опухолей; наиболее перспективны среди них ретиноиды — естественные или синтетические вещества, родственные витамину А. (Витамин А находится в больших количествах в животном масле. Каротин, который придает красную окраску моркови, является его источником.) Ретиноиды принадлежат к группе ингибиторов деления злокачественных клеток, они играют существенную роль в процессах нормальной дифференциации клеток многочисленных эпителиальных тканей: бронхов, трахеи, желудка, кишечника, почек и т. д. Дефицит в пище витамина А приводит к поражению этих тканей.

В 1955 г. И. Лазницкий (Кембридж, Великобритания) обнаружил, что повреждения эпителиальных тканей искусственно культивируемой предстательной железы, вызванные действием канцерогенного вещества 3-метилхолантрена, восстанавливаются при добавлении в среду ретиноидов<sup>1</sup>. Это открытие послужило стимулом для развития фармакологии ретиноидов. Интерес к этим веществам еще более возрос после проведения недавно эпидемиологического обследования 8000 норвежцев, в ре-

зультате которого была выявлена связь между недостаточным содержанием в пище витамина А и высокой частотой рака легких.

Появились также сообщения, что большие дозы естественных ретиноидов предупреждают развитие рака у животных, обработанных канцерогенами; исследования касаются рака желудка, влагалища, матки, трахеи и бронхов хомяков, а также кожи и легких крыс и мышей. Однако было отмечено, что естественные ретиноиды токсичны, вызывая, например, повреждение печени у животных. Менее токсичны искусственные ретиноиды — дериваты ретиламина и ретинамида; они особенно эффективны в предупреждении у животных рака молочных желез.

Механизм действия ретиноидов пока точно не известен; доказана лишь их способность тормозить деление опухолевых клеток.

С 1978 г. в США начаты испытания ретиноидов на больных, страдающих карциномами мочевого пузыря. Высказывается мнение, что препараты ретиноидов могут быть использованы как профилактические средства для людей, работающих на химических предприятиях и подвергающихся действию веществ, обладающих канцерогенными свойствами, а также для лиц, которые по роду деятельности подвержены риску облучения. Эти предположения еще ожидают проверки.

«Cancer Research», 1979, v. 39, p. 1339 (США); «Journal of National Cancer Institutes», 1979, № 63, p. 485 (США).

## Медицина

### Попытки лечения бешенства

Как известно, бешенство — одно из немногих инфекционных заболеваний, лечение которого еще не найдено. Единственным средством борьбы с ним служит предварительная вакцинация, предложенная в конце прошлого века Л. Пастером. Поэтому несомненный интерес представляют исследо-

вания Р. Баро-Горбури с сотрудниками (Институт им. Л. Пастера, Франция), в которых сделана попытка лечения бешенства интерфероном.

Опыты проводились на сирийских хомячках, которых заражали уличным вирусом бешенства, вызывающим гибель животных. Интерферон получали путем введения хомячкам клеточного экстракта водорастворимых мембран из бактерий *Nocardia oraca*, в результате клетки организма животных вырабатывали интерферон.

Экстракт клеток бактерий вводили животным за 2 часа до заражения их вирусом бешенства и спустя 3 и 7 дней после заражения вирусом. Контрольной группе в те же сроки вводили вместо экстракта клеток физиологический раствор. В каждой группе было по 10 животных, и весь эксперимент повторялся три раза.

Оказалось, что хотя выработка интерферона и не защищала хомячков от развития бешенства, она удлиняла продолжительность их жизни: хомячки опытной группы погибли спустя 25 дней, а контрольной — через 18 дней после заражения их вирусом бешенства.

Напомним, что лечение вирусных заболеваний стало возможным лишь после открытия интерферона в 1957 г. В последние годы освоены методы высокой концентрации и очистки этого препарата, получаемого из крови доноров, что дало хорошие результаты при лечении им вирусных инфекций. Результаты, полученные французскими исследователями, вселяют некоторую надежду на возможность лечения бешенства с помощью высокоочищенного и концентрированного интерферона.

«Annales de Microbiologie», 1978, v. 130 B, № 2, p. 263 (Франция).

## Психология

### Устойчивость феноменов «7» и «голубой»

Когда группу людей просят назвать любую цифру от 0 до 9, наиболее часто называют

<sup>1</sup> Lasnitzki I. «J. Cancer», 1955, № 9, p. 434.

цифру 7, а наиболее редко — 0; 1 и 9. Когда же просят назвать какой-либо цвет, явное предпочтение отдается голубому. Эти явления, известные как феномены «7» и «голубой», были успешно проверены на самых разнообразных группах лиц.

Психолог Дж. Трюмен (Университет Армадейл, Новый Южный Уэльс, Австралия) провел несколько необычный эксперимент в группе из 145 студентов. Предварительно он разъяснил, что такие феномены существуют. Объяснение сопровождалось краткой лекцией о том, что такое прямоугольное распределение, получающееся при случайном выборе объекта. Исследователь предполагал, что после такой подготовки студенты будут избегать цифры 7 и голубого цвета и, напротив, станут выбирать наиболее редко называемые цифры и цвета. Однако результат не подтвердил ожидания: семерку назвали 19,7% испытуемых (при случайном распределении должно быть — 10%), голубой цвет — 28,7% (при случайном распределении — не более 16,7%). Таким образом, феномены «7» и «голубой» проявили себя даже в этом случае.

«Journal of General Psychology», 1979, v. 101, p. 23 (США).

#### Зоология

### Хеморецепция дельфинов

У современных зубатых китообразных, в том числе и у дельфинов, отсутствует обоняние в типичной форме; долгое время не удавалось обнаружить у дельфинов и вкусовых луковиц. В 1956 г. А. В. Яблоков высказал предположение, что в ямках, расположенных в корне языка зубатых китов, находятся органы химического восприятия, и, действительно, впоследствии на языке обыкновенного дельфина были найдены вкусовые луковицы<sup>1</sup>. Эк-

### Улавливаемые афалинами концентрации химических веществ

Раствор в пресной воде

Богдан

Деряла

индола  
валериановой кислоты  
капроновой кислоты  
лимонной кислоты  
щавелевой кислоты  
соляной кислоты  
солянокислого хинина  
пикриновой кислоты  
поваренной соли

|                   |                   |
|-------------------|-------------------|
| $1 \cdot 10^{-4}$ | $1 \cdot 10^{-4}$ |
| $1 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| $1 \cdot 10^{-4}$ | $5 \cdot 10^{-3}$ |
| 0, 05             | 0, 05             |
| 0, 03             |                   |
| 0, 1              |                   |
| $3 \cdot 10^{-3}$ | $1 \cdot 10^{-3}$ |
| $5 \cdot 10^{-3}$ | $2 \cdot 10^{-3}$ |
| 0,3               |                   |

сперименты, которые проводили В. Е. Соколов и В. Б. Кузнецов<sup>2</sup>, показали, что дельфины обладают способностью воспринимать растворенные в воде в ничтожных концентрациях вещества, т. е. хеморецепцией.

Недавно В. Б. Кузнецов провел новую серию экспериментов, в которых выяснялись особенности хеморецепции у трех видов черноморских дельфинов: афалины (*Tursiops truncatus*), обыкновенного дельфина (*Delphinus delphis*) и морской свиньи (*Phocoena phocoena*).

На первом этапе исследований дельфина фиксировали в ванне с морской водой так, чтобы его голова находилась над водой. Через укрепленную во рту животного трубку постоянно со скоростью 7—10 мл/с подавалась морская вода, омывавшая корень языка — то место, где ранее были обнаружены вкусовые луковицы. С интервалом 3—7 мин в поток воды вводили исследуемое химическое вещество в определенных концентрациях. В качестве ответа на химические раздражители у морской свиньи и обыкновенного дельфина регистрировались кожно-гальванические реакции, а у афалины, кроме того, электрокардиограмма и дыхание. Десяти морским свиньям различные химические раздражители предъявлялись 680 раз, двум обыкновенным дельфинам — 67 раз, трем афа-

линам — 230 раз. Исследовалась реакция на глюкозу, сахарозу, поваренную соль, солянокислый хинин, щавелевую, лимонную, валериановую и другие кислоты, раствор мочи и кала самца афалины (в разведении 1:10<sup>7</sup>) и др. В ряде опытов у морской свиньи и афалины вырабатывали условную связь между химическим раздражителем и электрическим током.

На следующем этапе исследований применялась иная методика: предварительно обученные дельфины «стояли» на хвосте, а химические вещества вливали в их открытый рот. Афалин, самца и самку, обучали отличать растворы химических веществ в морской воде от морской воды. Афалинам Богдану и Деряла предъявляли растворы химических веществ в пресной воде и пресную воду.

Данные опытов свидетельствуют, что все три вида черноморских дельфинов обладают относительно высокой чувствительностью к химическим раздражителям. Способность к восприятию триметилamina (одного из характерных для рыб веществ) и чувствительность к раствору кала позволяют предположить, что дельфины могут по химическому следу находить стаи рыб и себе подобных.

Из химических раздражителей, обычно используемых при изучении вкусовой чувствительности млекопитающих, афалины хорошо воспринимают только горькие. Сахара они, по видимому, не чувствуют. Соленое воспринимают слабо, но с уверенностью об этом говорить нельзя, так как после каж-

<sup>1</sup> Суховская Л. И., Белькович В. М. «Зоол. журн.», 1973, т. 52, № 1, с. 150.

<sup>2</sup> Соколов В. Е., Кузнецов В. Б. «Доклады АН СССР», 1971, т. 204, № 4, с. 998.

дого предъявления дельфину в рот попадала морская вода, затрудняя решение задачи. Чувствительность афалин к лимонной, щавелевой и соляной кислотам значительно ниже, а к жирным кислотам в 100 раз выше, чем у других изученных млекопитающих и человека. Афалины чувствовали растворы валериановой и капроновой кислот в морской воде в концентрации  $1 \cdot 10^{-4}$  М, хотя рН этих растворов равен рН морской воды. Эти особенности восприятия заставляют автора предположить, что у дельфинов развилась специфическая форма хеморецепции.

Как показывают исследования различных авторов, у ископаемых китов в процессе эволюции происходила постепенная редукция обоняния, сопровождавшаяся развитием аппарата тройничного нерва. Повидимому, одновременно развивалась хеморецепторная функция этого нерва, возмещающая утрату обоняния. Первоначально ее могли выполнять хеморецепторы носовой полости, так как в область носоглотки у дельфинов попадает морская вода.

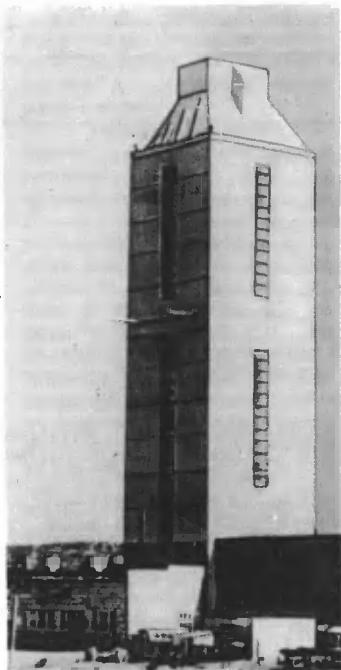
У современных дельфинов основную хеморецепторную функцию, как предполагает автор, осуществляют рецепторы, расположенные в корне языка. Эту область у афалин иннервирует тройничный нерв. Обрабатывать информацию от хеморецепторов тройничного нерва могут структуры обонятельного мозга.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 249, № 6, с. 1498—1500.

#### Геология

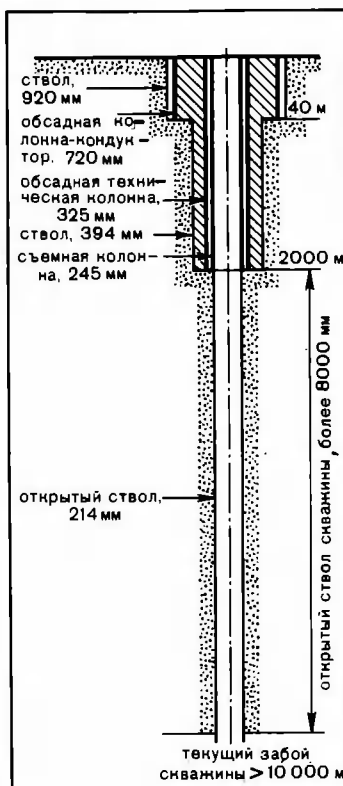
### Кольская скважина — глубочайшая в мире

Чтобы выявить и обеспечить экономичную разработку новых месторождений полезных ископаемых, решить многие важные проблемы, связанные с происхождением, строением и возрастом Земли, историей развития ее континентов и океанов, с природой и пред-



Часть основного комплекса полярной буровой «Уралмаш БУ-15000», построенной для вскрытия докембрийских недр Балтийского кристаллического щита.

Схематический разрез Кольской сверхглубокой скважины.



сказанием землетрясений и вулканических извержений и др., необходимо вести геологическое исследование всей толщи земной коры, вплоть до ее мантии. В Советском Союзе и других индустриально развитых странах освоено бурение разведочных скважин на глубину 7—9 км. Несколько лет назад в США была пробурена скважина глубиной 9583 м — до 1979 г. она оставалась самой глубокой в мире искусственно созданной горной выработкой.

В нашей стране еще в начале 60-х годов была разработана программа систематического, последовательного изучения земной коры сверхглубокими скважинами. В мае 1970 г. началась проходка первой такой скважины вблизи г. Заполярного на Кольском п-ове. С ее помощью исследуется одно из древнейших образований земной коры — Балтийский кристаллический щит, в приповерхностной толще которого уже открыты месторождения ценных полезных ископаемых. В апреле 1975 г. Кольская сверхглубокая достигла отметки 7263 м и проходка ее была приостановлена для монтажа более мощного бурового оборудования.

Уже на этом, первом этапе бурения была получена важная информация, представляющая интерес как в научном, так и в сугубо практическом отношении. Например, считалось, что в породах Балтийского щита природ температуры составляет  $1^\circ\text{C}$  на каждые 100 м глубины. Однако это оказалось справедливым лишь до глубины 2 км, а дальше температура растет почти вдвое быстрее. Поэтому на глубине 7263 м она достигает не  $72^\circ\text{C}$ , как предсказывалось ранее, а  $120^\circ\text{C}$ . Глубин-

ное сейсмоакустическое исследование Кольской скважины привело к открытию интересного геофизического явления: на семитысячной глубине скорость распространения сейсмических волн ниже, чем в приповерхностной части Балтийского кристаллического щита. Причину этой аномалии, вероятно, удастся выявить после обработки данных, полученных на последующих этапах бурения.

В июне 1979 г. проходчики Кольской сверхглубокой пересекли рубеж абсолютного мирового рекорда, символизировавшего как технические возможности современной индустрии, так и степень познания и освоения глубинных недр Земли, а 10 мая 1980 г. забой скважины опустился до отметки 10 000 м. Важнейшие научно-прикладные результаты этого уникального эксперимента связаны с возможностью детального изучения невиданной в мире коллекции образцов горных пород, представляющих каждый дециметр вскрытого скважиной 10-километрового пространства.

Интересный материал, раскрывающий механизм образования руд, собран при изучении трещиноватости и проницаемости пород, состава водных растворов и углеводородов, газообменных процессов и других явлений на глубине свыше 4,5 км. Так, в трещинах пород кристаллического горного массива, залегающих на глубине 7—8 км и до сих пор считавшихся «мертвыми» в геохимическом отношении, установлено присутствие гелия, углекислого газа, углеводородов, водных растворов. В древнейших и, как ранее полагали застывших, кристаллических породах, возраст которых более 2 млрд лет, обнаружены остатки живых организмов.

По данным предварительных геофизических исследований, на глубине около 7 км предполагалось встретить некий переходный слой — границу между гранитами и базальтами. Вопреки ожиданиям ученых, на указанной отметке вскрыты массивы уплотненных гранитов, формирование которых, по-видимому, связано с перекристаллизацией магматических пород.

Для проходки глубинного интервала (7263 — 10 000 м) была разработана, построена над устьем скважины и успешно испытана новая мощная отечественная буровая установка «Урал-маш БУ-15 000». Она позволяет вести бурение на глубине до 15 км в очень твердых породах при высоких давлениях и температурах. Архитектоника и оснащение установки не укладываются в традиционные представления о буровой вышке. Это, скорее, сложный завод, над которым возвышается призмобразная башня высотой с 24-этажный дом. Установка оснащена уникальными буровыми механизмами и силовыми агрегатами, суммарная мощность которых равна мощности энергосистемы достаточно крупного районного города.

На Кольской сверхглубокой ведется проходка одиннадцатого километра скважины.

**Л. Н. Шадрин,**  
кандидат технических наук

Москва

## Геология

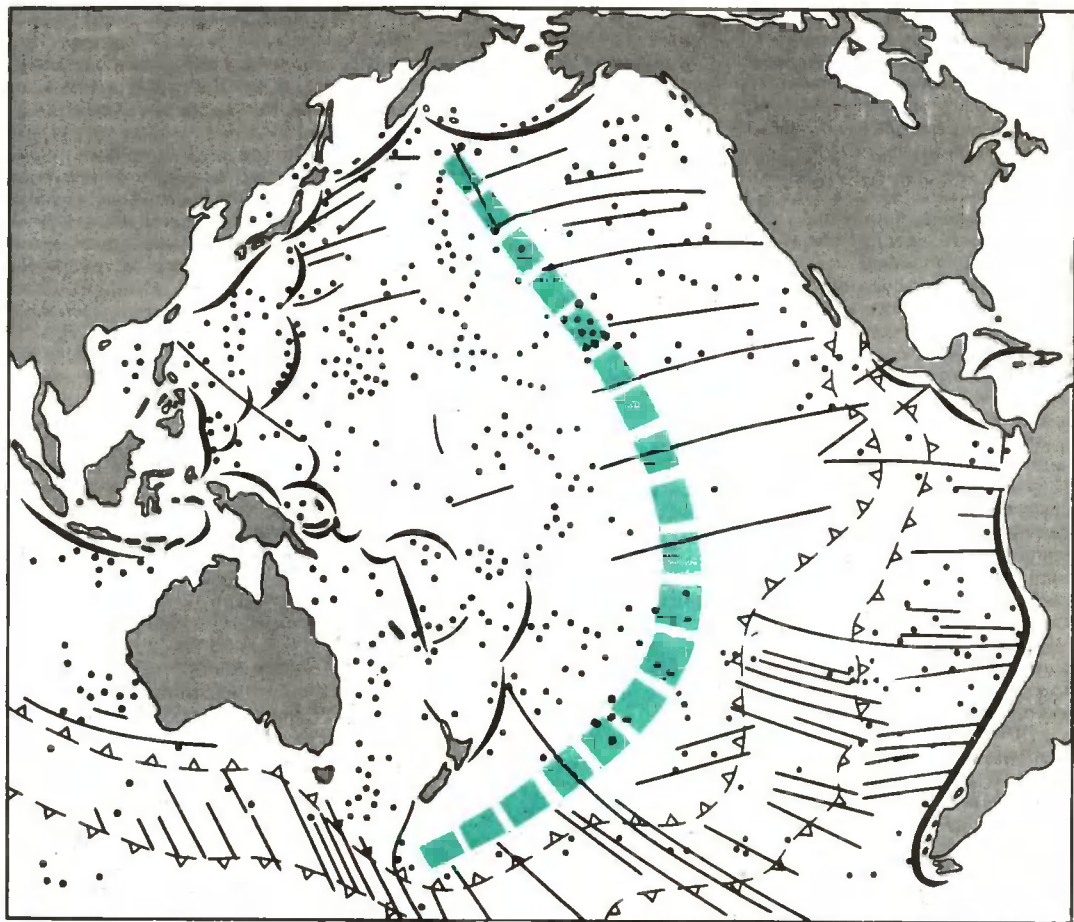
### Геологическая неоднородность Тихого океана

Накопленные к настоящему времени результаты геофизических, геоморфологических и геологических исследований дна Тихого океана позволяют обособить западную и восточную части Тихоокеанского сегмента земного шара. Различия между ними прослеживаются в наиболее крупных деталях рельефа, в геологическом возрасте океанического дна, его структурно-тектонических особенностях. Границей между западной и восточной частями Тихого океана Л. И. Красный (Всесоюзный геологический институт Министерства геологии СССР, Ленинград) и Д. Е. Гершанович (Всесоюзный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии Министерства рыбного хозяйства СССР, Москва) считают зону Великого Тихоокеанского геораздела, кото-

рый они проводят от подводной возвышенности Обручева к Новозеландскому микроконтиненту (см. рис.). Общая длина этого геологического раздела достигает 15 000 км, что позволяет отнести его к крупнейшим линейным структурам на поверхности Земли. Зона раздела состоит из ряда отрезков, смещенных друг относительно друга вдоль пересекающих ее крупных разломов.

Глубоководные океанические котловины в западной части Тихого океана значительно меньше по размерам и более многочисленны, чем в восточной, характеризующейся малым числом обширных по площади котловин. В глубоководных частях западной половины Тихого океана расположены особые структуры, отличающиеся утолщенной корой (так называемые океанические земли), в пределах которых получены наиболее полные в Тихом океане разрезы осадков (районы Магеллановых гор, Онтонг-Джава и др.). В восточной половине океанические землі встречаются редко и имеют меньшие площади. Рельеф здесь связан, главным образом, с Восточно-Тихоокеанским поднятием, его пологими склонами и прилегающими глубоководными равнинами; важное место в геологической структуре этой половины океана принадлежит крупным разломам, протягивающимся поперек Восточно-Тихоокеанского поднятия. Количество гигантских разломов здесь наибольшее по сравнению с другими районами Мирового океана.

Различия между восточной и западной частями Тихого океана подтверждаются и данными глубоководного бурения дна. На западе толщина осадочного слоя существенно меняется от места к месту, распределение осадков разного возраста весьма сложное, в разрезах неоднократного фиксируются сравнительно древние отложения мелового и юрского времени. На востоке же толщина осадков закономерно увеличивается по мере удаления от гребня Восточно-Тихоокеанского поднятия; в этом же направлении увеличивается возраст отложений — от плейстоценового к нео-



Граница между западной и восточной частями Тихого океана проходит от подводной возвышенности Обручева (район сочленения Алеутского и Курило-Камчатского желобов) вдоль субмеридиональных центрально-тихоокеанских структур (Императорский разлом, Галавайский хр., хр. Лайи), через системы океанических валов с островными поднятиями и Новозеландскому микроконтиненту.



Восточно-Тихоокеанское поднятие

Сейсмология



глубоководные желоба



тектонические разломы



подводные горы



зона Великого Тихоокеанского геологического раздела

геновому, палеогеновому и верхнемеловому.

Образование современного Тихого океана можно трактовать, по мнению Красного и Гершановича, как соединение двух океанов — более древнего и сложного по истории развития и тектоническому строению собственно Тихого океана (на западе) и значительно более молодого восточного Тихого океана, образовавшегося на обширной площади между Великим Тихоокеанским георазделом и Американским континентом.

Тезисы докладов XIV Тихоокеанского научного конгресса, комитет В. Хабаровск, 1979, с. 111—114.

## Микросейсмы планеты

Микросейсмы Земли — непрерывное дрожание поверхности под воздействием ветра и океана — обычно мешают наблюдать сейсмические волны, с помощью которых просвечиваются земные недра. Однако еще в начале века родоначальник отечественной сейсмологии Б. Б. Голицын отмечал, что высокочастотные микросейсмы (частота 15—60 Гц) встречаются почти всюду, где проводились сейсмические наблюдения. Это наводит на мысль, что мы имеем дело с колебаниями одного типа в различных точках земного шара.

Л. Н. Рыкунов (Московский государственный универси-



тет им. М. В. Ломоносова), О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) развивают новый взгляд на высокочастотные микросейсмы. Они предлагают регистрировать высокочастотные колебания этого типа с помощью узких частотных фильтров шириной 0,1 Гц высокочувствительной аппаратуры (минимально различимое смещение грунта  $10^{-10}$ — $10^{-12}$  см). Идея состоит в том, что высокочастотные шумы могут быть модулированы низкочастотными волнами от землетрясений, собственными колебаниями Земли, приливными эффектами. Высокочастотные микросейсмы включают компоненту, образующуюся в процессе так называемой сейсмоакустической эмиссии: неоднородные верхние слои Земли с большим количеством трещин, уже нагруженные тектоническими напряжениями, начинают потрескивать и излучать упругие волны — микросейсмы под действием дополнительных низкочастотных напряжений (приливов, собственных колебаний планеты и т. д.).

Если идея верна, должна наблюдаться тесная связь между сейсмичностью Земли и высокочастотными шумами. Оценив ежесекундную энергию землетрясений всей планеты в период с 25 мая по 30 августа 1976 г., авторы обнаружили ее связь с амплитудой микросейсм. Удалось показать, что высокочастотные шумы содержат информацию о спектре собственных колебаний Земли.

Затем И. Н. Галкин, А. В. Николаев, О. Б. Хаврошкин и В. В. Цыплаков (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) применили этот метод для анализа необычайно продолжительных (более 1 часа) лунных сигналов, вызванных падением космических аппаратов. До этого считалось, что лунный «сейсмозвон» обусловлен диффузионным рассеянием волн на мелких неоднородностях лунной коры. Теперь предполагается, что заметный вклад в это явление вносит также эффект сейсмоакустической эмиссии. На Луне этому благоприятствует большое количество трещин в верхних слоях

и высокая сейсмическая добротность пород, связанная с отсутствием атмосферы и гидросферы.

После фильтрации лунных сейсмограмм был проведен спектральный анализ данных, полученных при падении космических аппаратов. Были обнаружены устойчивые всплески амплитуд, повторяющиеся через 5,5, 8—9, 11—12 и 15—18 мин. Не исключено, что эти периоды соответствуют собственным колебаниям Луны. Новые данные смогут дополнить картину внутреннего строения Луны, полученную ранее из анализа времени пробега волн от падений ракет, метеоритов и лунотрясений.

«Физика Земли», 1979,  
№ 11, с. 72—78;  
№ 7, с. 82—85.

#### Вулканология

### Подводный вулкан Эсмеральда

В 1978 г. научно-исследовательское судно «Вулканолог» Дальневосточного научного центра АН СССР проводило комплексные геолого-геофизические исследования в районе действующего подводного вулкана Эсмеральда (Марианские о-ва), во время которых были выявлены поля подводных газовых струй и восходящие потоки нагретой воды, зафиксированные с помощью эхолотов. Г. М. Гавриленко, А. П. Горшков и К. А. Скрипко (Институт вулканологии ДВНЦ АН СССР) проанализировали полученные в рейсе гидроакустические и гидрохимические данные и впервые количественно оценили активность вулкана — его тепловую мощность, расход и состав вулканических газов и термальных вод (раньше в качестве показателя активности отмечали лишь цвет морской воды как наиболее яркий и легко наблюдаемый признак).

Под влиянием газогидротерм вблизи центра активности сформировалась зона аномальными акустическими и гидрохимическими характеристиками. На поверхности она проявилась

в виде пятен и полос белесого известково-зеленого цвета. Меняющиеся размеры и формы пятен, их расположение на удалении до нескольких километров от центра подводных фумарол говорят о пульсирующем характере активности вулкана.

Пробы, отобранные в районе вулкана на различной глубине (от 220 до 2800 м), показали, что средняя доля вулканогенной массы в морской воде — около 0,2%. Расход водяного пара и термальных вод, выброшенных вулканом в январе 1978 г., был не ниже 1500 кг/с, тепловая мощность — не менее 0,5—0,6 Гкал/с. Массы вулканогенной воды, выносимой в виде пара и термальных вод, примерно равны.

При драгировании вблизи центра активности удалось поднять сравнительно низкотемпературные минералы-новообразования, такие как самородная сера, разнообразные сульфиды, цеолиты, гидрослюдастые минералы.

Влияние вулкана на химический состав морской воды отмечалось на расстоянии не более 1,5 км от центра активности.

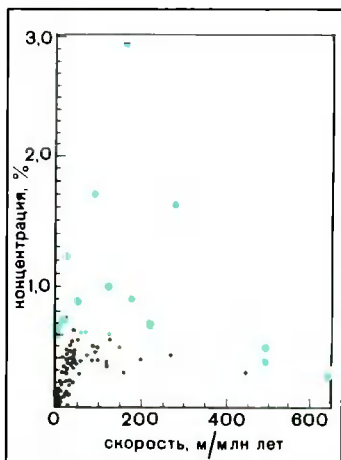
«Вулканология и сейсмология»,  
1980, № 2, с. 19—29.

#### Геология

### Органическое вещество в осадочном слое Мирового океана

Данные глубоководного бурения свидетельствуют, что содержание органического углерода в осадочном слое Мирового океана зависит прежде всего от скорости накопления осадков. В. Я. Троцюк (Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) впервые рассмотрел количественное соотношение между этими величинами для стратиграфических горизонтов кайнозоы, достаточно хорошо изученных.

Чтобы точнее оценить скорость накопления осадков, отбирались данные глубоководного бурения раздельно по четвертичным, плиоценовым, олигоценовым, эоценовым и палеоценовым отложениям, полу-



Зависимость концентрации органического углерода в осадках различных стратиграфических комплексов кайнозойской толщи Мирового океана от скорости их накопления. Черные точки относятся к периферическим областям океана, цветные — к зонам апвеллинга и внутриматериковых бассейнов.

ценные в тех скважинах, где эти слои были полностью и последовательно пройдены. Всего использовано 2630 индивидуальных измерений органического углерода по 95 разрезам, которые представляют различные типы осадков, накапливавшиеся со скоростью от 1,5 до 650 м/млн лет.

Построив график зависимости содержания органического углерода в кайнозойской толще от скорости накопления осадков (см. рис.), автор приходит к следующим выводам. Максимальное количество органического вещества захоронилось при скорости от 60 до 120—130 м/млн лет. Вещество накапливалось в терригенных и карбонатных отложениях краевых и внутриматериковых бассейнов, краевых подводных плато, во внешней зоне океанического шельфа и континентального подножия. Эти отложения обладают повышенной нефтегазонасыщенностью. При слабой интенсивности накопления осадков

(<60 м/млн лет) органического вещества захоронялось в кайнозой меньше и сосредоточивалось оно главным образом во внутренних областях океанов.

Снижение содержания органического углерода выявлено также в отложениях материковой окраины, где они формировались со скоростью более 120—130 м/млн лет. По-видимому, здесь органическое вещество «разбавлялось» абиогенными (минеральными) осадками. Основной оптимум накопления органического вещества (на графике он соответствует скорости 60—120 м/млн лет) обусловлен, таким образом, природной сбалансированностью масс органических и минеральных веществ, поступающих на дно.

Полученные результаты можно использовать для прогноза содержания рассеянного органического вещества в еще не изученных осадочных недрах Мирового океана. Такой прогноз интересен для оценки перспектив нефтегазоносности бассейнов акваторий и выявления геохимических условий, благоприятствующих формированию зон образования углеводородного газогидрата под дном океана.

«Доклады АН СССР», 1979, т. 249, № 5, с. 1185—1187.

#### Метеорология

### Один из сильнейших ураганов столетия

В последних числах августа 1979 г. в Карибском море сформировался ураган, получивший имя «Дейвид». За неделю существования он проследовал вдоль Малых Антильских о-вов, Доминики, Пуэрто-Рико, Гаити, восточной оконечности Кубы и п-ва Флорида (США), затем неожиданно повернул строго на север, миновав густо населенный район Майами, но сильно задев остальное атлантическое побережье штата Флорида, цепь островов, протянувшихся у побережья штатов Южная Каролина и Джорджия,

после чего вышел на континент примерно в 100 км к западу от Чарлстона (Южная Каролина). Ширина захваченной ураганом полосы составляла 480 км, максимальная скорость ветра — 240 км/ч.

В этом веке лишь два урагана («День труда» в 1935 г. и «Камилла» в 1969 г.) достигали подобной силы. В наибольшей степени от «Дейвида» пострадал о-в Доминика, где разрушено около 95% зданий, и Доминиканская Республика на о-ве Гаити, где число погибших составило примерно 800 человек и было уничтожено 90% урожая. Общее число убитых оценивается в 850—1000 человек. «Дейвид», таким образом, вошел в число шести наиболее разрушительных ураганов столетия и явился самым разрушительным после урагана «Фифи», унесшего в 1972 г. около 2 тыс. жизней.

По случайному совпадению самый разгар этого стихийного бедствия совпал с организованным Национальным управлением по изучению океана и атмосферы США совещанием, на котором подводились итоги проекта «Ураганный удар» («Hurricane Strike»). Цель его — усовершенствовать прогнозирование подобных явлений путем организации постоянного слежения за факторами, их вызывающими, в реальном масштабе времени (без потерь на хранение данных в ЭВМ и их анализ). В ходе выполнения этого проекта 4 самолета-лаборатории совершали попарно полеты в область, охваченную ураганом. Данные самолетного оборудования, описывающие местонахождение ядра урагана, силу ветра, атмосферное давление и другие параметры, передавались на один из американских геостационарных спутников, а оттуда — непосредственно в Национальный центр по исследованию ураганов (в Майами, Флорида). Таким образом, «Дейвид» стал наиболее подробно и всесторонне прослеженным явлением такого рода, а точность прогноза его развития и пути следования значительно превышала обычные прогнозы.

«Science News», 1979, v. 116, № 10, p. 166 (США).

## Геохимия

**Выжигание лесов загрязняет атмосферу**

Группа сотрудников Национального центра по изучению атмосферы США, возглавляемая П. Крутценом, установила, что в результате выжигания лесов и других видов растительности в атмосферу Земли ежегодно выделяется  $(10 \div 20) \cdot 10^{14}$  г окиси углерода. Эта величина в 20 раз больше, чем до сих пор считалось, и втрое превышает количество окиси углерода, выбрасываемой в воздушное пространство в процессе сжигания ископаемых видов топлива.

Столь существенное изменение в оценке роли выжигания растительности объясняется следующим. Последние работы в области химии атмосферы позволили установить, что интенсивность реакции, в которую окись углерода вступает с радикалом гидроксила OH, вдвое больше, чем полагали до сих пор.

Непосредственное изменение количества окиси углерода, выделяющегося во время лесных пожаров в штате Колорадо, навело Крутцена на мысль о необходимости по-новому оценить количество окиси углерода, поступающее в воздушное пространство в масштабе всей Земли. Особенно интенсивными источниками окиси углерода оказались все еще широко практикуемые в развивающихся странах подсечно-огневое земледелие, поджигание травы и кустарников в саванне и степи, отопление и приготовление пищи на дровяных печах, сжигание сельскохозяйственных отходов, а также выжигание лесов с целью высвобождения площади для строительных работ.

«Science News», 1979, v. 115, № 11, p. 169 (США).

## Палеогеография

**Жизнь океана в смене времен**

К. М. Худолей и  
М. А. Ржонсницкая (Всесоюзный

геологический институт Министерства геологии СССР, Ленинград), поставив перед собой цель — восстановить пространственно-временную динамику развития фанерозойских фаун в бассейне Тихого океана, свели воедино огромный фактический материал по древним фаунам этого бассейна, основным центрам их развития и путям миграции за громадный исторический отрезок времени — свыше 500 млн лет. Итогом этой работы явился атлас<sup>1</sup>, который состоит из 34 палеобиогеографических карт, охватывающих все эпохи и века фанерозоя — от кембрия по неоген. Карты дополнены пояснительными записками и корреляционными таблицами-индексами, характеризующими расчленение систем, отделов и ярусов. В основу карт положены результаты многолетних палеонтологостратиграфических исследований в Дальнем Востоке и Северо-Востоке нашей страны, а также новейшие материалы американских, австралийских, вьетнамских и канадских специалистов, включая данные глубоководного бурения в Тихом океане с судна «Гломар Челленджер».

Карты содержат весьма разнообразную информацию: о распределении в пространстве и во времени важнейших групп беспозвоночных, имеющих биостратиграфическое значение, о динамике палеогеографической ситуации в смене геологических времен, о площадях терригенного и вулканогенного осадконакопления, о провинциях и областях палеозойских, мезозойских и кайнозойских биот.

Благодаря атласу теперь можно более уверенно проследить направления экспансии древних организмов, движение береговой линии окранных морей, распределение осадков, а это, в свою очередь, позволит более строго контролировать наши глобальные палеотектонические построения.

Правда, сами авторы атласа остаются при этом неизменно фиксизмами, так как все карты построены на современной географической основе. И хотя во введении сказано, что авторы признают роль горизонтальных движений земной коры (раздвигов), в их представлениях доминирует приоритет вертикальной глыбовой тектоники.

Достижением следует считать детальный сравнительный анализ распространения фаун по эпохам и векам фанерозойской истории. Это открывает новые возможности для совершенствования региональных и межконтинентальных корреляций одновозрастных отложений Тихоокеанского региона и детализации существующих стратиграфических схем.

Несколько непоследовательно отношение авторов к климатической зональности древних эпох. Во введении говорится, что уже в девоне установилась зональность, близкая к современной, а несколькими абзацами ниже авторы приходят к заключению, что даже в палеогене и неогене экватор был «сдвинут» по отношению к современному. Заметны и другие мелкие погрешности (в легенде к картам, например, двусторчатые моллюски названы бивальвиями, а цефалоподы — головоногими моллюсками). К сожалению, в атласе нет сведений о древних флорах Тихоокеанского бассейна. Тем не менее это не умаляет достоинств атласа в целом. Он, несомненно, полезен и своевременен для геологов, ищущих ответы на фундаментальные вопросы исторического прошлого Тихого океана и его континентального обрамления.

**Е. В. Краснов,**  
доктор геолого-минералогических наук  
Владивосток

<sup>1</sup> Палеобиогеографический атлас Тихоокеанского подвижного пояса и Тихого океана. М 1:60 000 000. Ред. К. М. Худолей, М. А. Ржонсницкая. М., 1979.

**Борис Николаевич Делоне**

17 июля 1980 г. скончался известный советский математик, член-корреспондент АН СССР Борис Николаевич Делоне.

Борис Николаевич прожил долгую, богатую творческими достижениями жизнь. Он родился 15 марта 1890 г. в С.-Петербурге. Его отец, профессор механики Н. Б. Делоне, был известен как пропагандист и популяризатор авиационных знаний, один из пионеров русского планеризма.

В 1913 г. Борис Николаевич успешно окончил физико-математический факультет Киевского университета и был оставлен при университете для подготовки к профессорскому званию. В этом же году началась трудовая деятельность Бориса Николаевича: он преподавал математику в гимназии. Затем он работал в Киевском политехническом институте, в Ленинградском и Московском университетах, а с 1945 г. до последних дней — в Матема-

тическом институте им. В. А. Стеклова АН СССР, где заведовал сначала отделом алгебры, а затем, с 1960 г., — отделом геометрии.

В 1915 г. была опубликована первая статья Бориса Николаевича по теории чисел, которая открыла цикл его работ, посвященных неопределенным уравнениям 3-й степени с двумя неизвестными. Полученные им в этой области результаты стоят в одном ряду с достижениями таких классиков, как Ферма, Эйлер, Лагранж и Гаусс. Этот цикл работ Б. Н. Делоне является исключительным в математике XX столетия с её часто громоздким аппаратом и абстрактными построениями; его отличает конкретность анализа, простота и ясность. Эти достоинства присущи большинству работ Бориса Николаевича, он всегда стремился к выявлению простой геометрической сущности вывода и результата. Поэтому не случайно ему принадлежит геометрическое изложение теории Галуа, которое внесло ясность в эту весьма абстрактную математическую теорию. Геометрическое изложение теории Галуа — выдающийся результат работы Б. Н. Делоне в алгебре. Но наиболее фундаментальные результаты были получены им в геометрии. Здесь им были разработаны теория правильного разбиения пространства, теория приведения квадратичных форм, теория решётчатых покрытий пространства сферами, теория стереоэдров. Борис Николаевич по-новому осмыслил и систематизировал основы геометрической кристаллографии, разработал алгоритм для правильной установки кристалла.

Заслуги Б. Н. Делоне в развитии математики широко признаны и в нашей стране, и за рубежом. В 1929 г. он был избран членом-корреспондентом АН СССР, в 1959 г. стал лауреатом премии им. Е. С. Федорова, а в 1977 г. лауреатом премии им. Н. И. Лобачевского АН СССР. В 1962 г. был избран членом Германской академии естествоиспытателей «Леопольдина». В 1928 г. Б. Н. Делоне был командирован Наркомпросом в Германию и в Италию для чтения лекций. С тех пор он неод-

нократно представлял советских математиков на различных международных встречах, конгрессах, конференциях.

Педагогическая деятельность Бориса Николаевича была велика и плодотворна. Работая в университетах, он читал самые разнообразные специальные и общие курсы: математический анализ для физиков, аналитическую геометрию, неевклидову геометрию, теорию Галуа, математическую кристаллографию, теорию вычислительных машин и приборов и ряд других. Все его курсы лекций были тщательно продуманы и подготовлены, в каждом из них он шёл новыми, им самим проложенными путями. Оригинальность научных идей, ясность мысли, блестящий талант лектора и рассказчика неизменно привлекали молодёжь к Б. Н. Делоне. Борис Николаевич воспитал многочисленных учеников, среди которых — математики с мировым именем.

Мы запомним Бориса Николаевича человеком исключительно обаятельным, увлекающимся и умевшим других увлекать в круг своих интересов. Сюда, кроме математики, входили и живопись, и музыка, и техника, и спорт. Более 70 лет назад Борис Николаевич сконструировал и сделал несколько планеров, на которых совершил пробные полеты. В 1937 г. он получил звание мастера альпинизма.

С 1960 г. Борис Николаевич входил в редколлегия «Природы». К работе в журнале он относился с большим энтузиазмом, и его инициативе читатели обязаны многими интересными публикациями по математике. Не однажды и сам Борис Николаевич писал для «Природы». Многим запомнились такие его статьи, как «Геометрия Лобачевского и развитие современного естествознания» (1956, № 2), «Что такое топология?» (1968, № 3), «Великий русский математик П. Л. Чебышев» (1971, № 5), «Академик Леонард Эйлер» (1974, № 1) и другие.

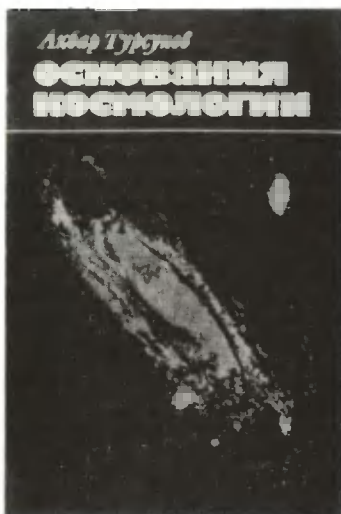
Память о Борисе Николаевиче Делоне навсегда сохранится в сердцах всех, кто знал этого крупного ученого, замечательного человека, кто имел удовольствие вместе с ним работать.

**Редакционная коллегия**



## Космология — узел методологических проблем

Н. Ф. Овчинников,  
доктор философских наук  
Москва



Акбар Турсунов. ОСНОВАНИЯ КОСМОЛОГИИ. М., «Мысль», 1979, 238 с.

Заключая свою «Критику практического разума», Иммануил Кант писал: «Две вещи наполняют душу навсегда новым и все более сильным удивлением и благоговением, чем чаще и продолжительнее мы размышляем о них, — это звездное небо надо мной и моральный закон во мне». Непосредственное и порою мимолетное восприятие звезд-

ного неба продолжается нашим размышлением, и наша мысль идет в необозримую даль и расширяет нашу связь с небесными мирами и системами систем.

Начало изучения Вселенной восходит к истокам человеческого знания. Уже первые искры человеческого интеллекта были обращены к звездам. «С тех пор с неослабевающим напряжением, — замечает автор рецензируемой книги, — продолжается единоборство» человека и Вселенной» (с. 3).

Современная наука о Вселенной — космология — переживает поистине небывалые изменения, связанные с разработкой и плодотворным применением новых астрономических и астрофизических методов исследования. В результате этих изменений все отчетливее осознается органическая связь космологии с теоретической физикой. Стремление к теоретизации современных космологических знаний породило множество моделей, претендующих на объяснение структуры Вселенной и закономерностей ее развития. Все эти, равно как и другие особенности современной космологии, имеют прямое отношение к большому числу заявленных в крепкий узел методологических проблем.

Размышления о всей познавательной ситуации в космологии перерастают в особую область исследования, призванную осмыслить не только содержание современных космологических знаний, но и те основания, которые позволяют нам относиться к этим знаниям с определенной мерой доверия. Эту область исследований можно было бы назвать метакоsmологией, по аналогии с метаматематикой. Но принято говорить проще, хотя и несколько длиннее: методологические проблемы космологии. Среди этих проблем вопрос об основаниях космологического знания занимает центральное место.

Книга А. Турсунова привлекает внимание именно тем, что в ней широко и содержательно представлены методологические проблемы современного космологического знания.

На что опирается научное знание вообще? Конечно, на наблюдения и эксперимент. Однако в современной методологии науки с полной убедительностью выявлена недостаточность одного лишь опыта. Необходимы еще и другие основания, в особенности философские, которые, быть может, с наибольшей очевидностью проявляют себя в космологическом знании. Анализ этих оснований читатель найдет в первом и втором разделах книги, которые посвящены рассмотрению принципов уникальности и космологической экстраполируемости. К этим принципам автор возвращается на протяжении всей книги, они являются для автора одновременно предметом и итогом методологического исследования.

К середине 30-х годов XX в., — отмечает автор, — произошла резкая поляризация философских оснований космологии. Различные направления космологических исследований, связанных с принятием тех или иных философских оснований, автор называет «проплатоновским» и «проаристотелевским» направлениями. Английский астроном Э. Милн (1896—1950) построил модель Вселенной, используя кинематическое описание разбегания галактик. Это типичный пример «проплатоновского» подхода. Милн исходил из идеи, что Вселенная — уникальный объект и методы ее изучения должны быть специфичны. Опираясь на образы мира, выработанные в процессе исторического развития философской мысли, Милн строит модель Вселенной, в которой монады-наблюдатели связаны друг с другом посредством световых сигналов. Вселенная



в силу своей уникальности, по мнению Милна, требует особого концептуального базиса, очищенного от «предшествующего физического знания».

Для «проаристотелевского» подхода характерна иная философская установка. Не существует особого мира идей, ибо нет смысла удваивать сущности. Соответственно, знания, полученные при изучении физического мира на Земле, могут быть использованы и при изучении Вселенной. Этот подход образно выразил известный американский физик Р. Фейнман: «Вышивая свой узор, природа пользуется лишь самыми длинными нитями». И, следовательно, «всякий даже самый маленький образец его может открыть нам глаза на строение целого». Философским основанием этого подхода является идея единства мира, хотя эта идея и не всегда явно формулируется.

В современных научных исследованиях, в том числе и космологических, философские основания соответствующих теорий подобны невидимой под водой огромной части айсберга. Они глубоко скрыты от непосредственного видения и могут быть выявлены лишь в результате историко-методологического анализа. Можно сказать и так — философские основания сложившейся научной теории уже сыграли свою методологическую роль и передали свои функции явно формулируемым методологическим принципам, работающим в специальной теоретической системе. Конкретная научная теория в этом смысле подобна видимой части айсберга.

Необходимо различать философские и методологические основания. Философские основания, несомненно, выполняют свою глубинную методологическую роль. Но они действуют на научную теорию опосредованно, через систему методологических принципов, которые в свою очередь формируются под непосредственным влиянием философских оснований. При всей их связи друг с другом философские и собственно методологические основания различны в своих проявлениях и функционировании в процессе познания

природы. Осознание этого различия помогает более детально анализировать развитие научной мысли.

Наряду с упомянутыми опытными основаниями космологического знания и его философскими основаниями в книге А. Турсунова дается подробный анализ собственно методологических оснований современной науки о Вселенной. Этот третий тип оснований сводится к системе методологических принципов, среди которых автор особенно выделяет принцип Бруно и принцип Маха. Этим принципам специально посвящены два раздела рецензируемой книги.

Принцип Бруно в качестве общей идеи единства и однородности Вселенной в своих исторических истоках восходит к философским основаниям. Более того, как отмечает автор книги, уже в мифологической космологии наблюдается наивная еще вера в идентичность освоенной части Земли и всей остальной Вселенной. В последующем «необъятная, преисполненная добра, прекраснейшая, совершеннейшая, единственная и единосущая Вселенная» (Платон) была разделена на две неравноправные части. Однако в эпоху формирования классической науки идея единства Вселенной вновь стала убеждением многих мыслителей того времени. Особенно страстно защищал эту идею Джордано Бруно. Можно сказать, что он погиб именно за свое убеждение в общей законосообразности мира.

Современная космология принимает идею единства Вселенной и придает ей форму методологического принципа. В процессе построения теоретической модели Вселенной современный космолог опирается на три основания — физическое знание, данные астрономических наблюдений и, что особенно важно подчеркнуть, на так называемый постулат однородности Вселенной. Советские космологи Я. Б. Зельдович и И. Д. Новиков предложили называть этот постулат принципом Бруно. В специальной космологической литературе принцип Бруно означает утверждение о пространственной однородности Вселенной. Утвержде-

ние об однородности в своей первоначальной форме в современной космологии было сформулировано А. Эйнштейном и А. А. Фридманом.

Существенно подчеркнуть, что принцип Бруно применяется в процессе выработки необходимых теоретических идеализаций. Реальная Вселенная как объект изучения крайне неоднородна — в этом нет сомнения. Необходимо, однако, различать объект изучения и предмет теоретического знания. В данном случае все дело в масштабах рассмотрения. Для достаточно больших масштабов наблюдаемые неоднородности Вселенной пренебрежимо малы. Введение масштабного подхода выявляет структуру действия принципа Бруно в построении предмета теоретического исследования Вселенной.

В теоретическом описании звездного мира как целого существенно найти оптимальные способы упрощения научной задачи. Обсуждаемый принцип может принимать абстрактно-геометрическую форму или форму утверждения относительно распределения масс и энергии во Вселенной. В той и другой форме этот принцип представляет собою логическое средство упрощения теоретического описания данных наблюдения.

Таким образом, применение принципа Бруно существенно связано с процессом теоретизации космологического знания. Можно сказать, что этот принцип служит средством теоретического «усвоения» эмпирического материала. Автор книги справедливо указывает на внутреннюю логическую связь принципа Бруно с такими известными общенаучными категориями, как сохранение, инвариантность, симметрия. Он подчеркивает, что с современной точки зрения было бы глубоко ошибочным рассматривать принцип Бруно как онтологическую доктрину. Этот принцип — методологическое основоположение современного космологического знания. Диалектика научного познания такова, что неисчерпаемое многообразие мира постигается посредством принятия противоположного свойства — единообразия —

в качестве принципа теоретического знания о мире.

Детально анализируя еще один методологический принцип, а именно принцип Маха, автор отмечает, что первоначальная идея, послужившая толчком к формулировке принципа, состоит в попытке свести инерцию к взаимодействию физических тел. Физическое содержание принципа Маха, — подчеркивает автор книги, — независимо от философских субъективистских установок автора этого принципа: «Отвергая исходную мировоззренческую позицию Маха-философа, было бы неправильным отвергать собственно физические идеи Маха — естествоиспытателя» (с. 175).

Эйнштейн расширил концептуальные рамки первоначальной идеи Маха об относительности инерции и переформулировал эти идеи в принцип относительности геометрии пространства — времени. Однако в последующем развитии общей теории относительности выяснилось, что результаты новой теории гравитации полностью противоречат «духу и букве» принципа Маха. И тем не менее специально теоретические дискуссии вокруг методологической роли принципа Маха продолжаются. Под именем обсуждаемого принципа выступает множество физических и философ-

ских идей, которые можно разбить на три группы. К первой группе относятся изначальные идеи австрийского философа Эрнста Маха (физическая интерпретация понятий массы, инерции, ускорения). Ко второй группе относятся первые обобщения идеи Э. Маха, осуществленные А. Эйнштейном, Дж. Уилером и другими авторами. Наконец, третья группа включает те физические гипотезы, которые не имеют прямого отношения к принципу Маха, но приобрели новое содержание под влиянием этого принципа. К последним относится весьма плодотворная, на наш взгляд, идея взаимосвязи закономерностей элементарных частиц и Вселенной.

Обсуждая историческую значимость той совокупности идей, которые получили название «принцип Маха», необходимо оперировать прежде всего методологическими категориями, такими как плодотворность, эвристичность, информативность. Иначе мы можем потерять возможность найти решение волнующих нас проблем и остаться на уровне давно известных, но мало плодотворных истин. Историческая практика научного развития демонстрирует нам стимулирующую роль не только несомненных истин, но порою ложных идей и мнимых проблем. Не составляя золотого фонда науки, они, по-

добно катализаторам в химических реакциях, могут при определенных условиях способствовать выработке нового знания о мире.

Современная космология вынуждает нас к размышлению о необъятном мире природы, в котором мы живем, о месте человека в этом мире, о смысле его бытия. Космологические исследования последнего времени приводят к заключению, что расширяющаяся Вселенная явно благоприятствует возникновению жизни. Можно сказать, что человек как закономерный результат органической эволюции необходимо включен в грандиозный процесс развития космического мира. Удивление перед «звездным небом» дополняется теперь удивлением перед феноменом человеческого существования, полное понимание которого невозможно без обращения к удивительным открытиям современной науки о Вселенной.

Книга А. Турсунова ценна прежде всего тем, что она обращает нашу мысль к исходному и вечному. Автор уверенно ведет читателя через перипетии научной мысли, постигающей необозримые космические дали. Своим детальным анализом он высвечивает нам тугой узел методологической проблематики, связанной с историей космологии и ее современными достижениями.

## НОВЫЕ КНИГИ

### Геология

ТЕКТОНИКА В ИССЛЕДОВАНИЯХ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО ИНСТИТУТА АН СССР. Отв. ред. А. В. Пейве. М., «Наука», 1980, 252 с., ц. 4 р.

Книга написана в связи с 50-летием Геологического института АН СССР. В ней освещены наиболее крупные проблемы общей и теоретической тектоники, которые разрабатывались и разрабатываются в институте: строение докембрийского фундамента древних

платформ, закономерности развития складчатых областей, тектоника океанов и общие проблемы геодинамики. Особое внимание уделено выяснению роли горизонтальных движений в развитии основных тектонических процессов в верхних оболочках Земли. С новых позиций освещается учение о глубинных разломах, развивается новое учение о преобразовании океанической коры в континентальную.

Эта книга — не формальный обзор законченных и вневременных в науку и практику ис-

следований института, в ней высказываются новые мысли и идеи, которые в настоящее время интенсивно разрабатываются их авторами.

### Геология

А. А. Никонов. СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. М., «Наука», сер. «Планета Земля и Вселенная», 1979, 184 с., ц. 35 к.

Как ни парадоксально, но о современных движениях земной коры в большинстве

районов нашей планеты известно гораздо меньше, чем о движениях, происходивших сотни миллионов лет назад.

Современные движения земной коры, происходящие обычно со скоростью 1—2 мм/год, могут существенно влиять на хозяйственную деятельность людей. Достаточно вспомнить затопление прибрежных участков суши в Голландии, или, напротив, отодвигание береговой линии Скандинавии.

В книге на примерах из разных частей света показано, как данные различных наук позволяют следить за продолжающейся жизнью земной коры. Количественные оценки скорости движений разных типов в разных геологических областях подтверждают, что по своей интенсивности движения земной коры неравномерны в различных участках суши и в разное время. Автор вводит читателя в курс основных проблем этого научного направления, в частности, проблемы соотношения вертикальных и горизонтальных движений, связи медленных движений с подготовкой землетрясений и вулканических извержений, происхождения крупномасштабных движений равномерно-платформенных областей.

#### Геология

**ДРАГОЦЕННЫЕ И ЦВЕТНЫЕ КАМНИ.** Сб. статей. Отв. ред. В. П. Петров. М., «Наука», 1980, 292 с., ц. 1 р. 30 к.

Большие успехи в производстве ювелирных синтетических камней отнюдь не снизили интереса к природному цветному камню. Драгоценные и ювелирно-поделочные камни, в особенности алмаз, рубин, сапфир, изумруд, благородный опал, оставаясь предметом оживленной международной торговли, сохраняют важную роль в экономике многих стран. Потребитель предпочитает иметь пусть не столь совершенный, зато естественный камень, который, в отличие от искусственного, в каждом образце possesses своему уникален.

Сборник знакомит читателя с научной и практической работой, которая ведется у нас

в стране с целью поиска и добычи самоцветов.

В книге содержится краткий обзор сырьевой базы СССР, уточнена генетическая классификация цветных камней, описаны новые методы определения цвета камня. Рассказано о декоративных камнях и перспективе их применения в архитектуре и прикладном искусстве. Читатель получит сведения о новых камнях, таких как эффективный зеленый камень хромдиопсид и фиолетовый чароит, ставших в последние годы весьма популярными среди любителей.

#### География

**В. М. Пасечный. ПЕРВООТКРЫВАТЕЛИ НОВОЙ ЗЕМЛИ.** Отв. ред. А. П. Окладников. М., «Наука», сер. «История науки и техники», 1980, 192 с., ц. 30 к.

Это историческое повествование об исследовании одного из самых обширных архипелагов Арктики. Описанные в книге новоземельские изыскания охватывают почти тысячелетие — от первых походов поморов в XI—XII вв. до плаваний в 1910—1911 гг. вокруг северного и южного островов Новой Земли выдающегося полярного исследователя В. А. Русанова.

Значительная часть книги посвящена описанию первых русских государственных экспедиций на Новую Землю и плаванию помора Саввы Лошкина, впервые обошедшего все ее берега. Много места уделено путешествиям В. Баренца, плаваниям Г. В. Пospelова, Ф. П. Литке, П. К. Пахтусова, А. К. Цивольки, усилиями которых были достоверно картированы почти все западные и восточные берега Новой Земли. Рассказывается о первой академической экспедиции на Новую Землю, возглавляемой К. М. Бэрм; описаны исследования, проведенные русскими на Новой Земле во время Первого международного полярного года (1882—1883) и научные предприятия Академии наук в XIX в., в том числе плавания акад. А. Ф. Миддендорфа, геологические изыскания акад.

Ф. Н. Чернышева, наблюдения во время солнечного затмения 1896 г. акад. Б. Б. Голицына.

В заключительной части автор рассказывает о путешествиях В. А. Русанова, а также об экспедиции Г. Я. Седова, зимовавшей у берегов северного о-ва Новой Земли.



Охрана природы

**К. Уорн, С. Уорнер. ЗАГРЯЗНЕНИЕ ВОЗДУХА. ИСТОЧНИКИ И КОНТРОЛЬ.** Пер. с англ. А. В. Лысака, А. Г. Рябошапки и Е. Д. Стукина под ред. Е. Н. Тевяковского. М., «Мир», 1980, 539 с., ц. 5 р. 60 к.

В книге, написанной сотрудниками Университета Пердью (США), содержится инженерная оценка путей борьбы с загрязнением атмосферы промышленными выбросами; дается научное обоснование требований к чистоте атмосферного воздуха; описываются протекающие в воздухе физико-химические процессы, которые способствуют рассеянию примесей; приводятся рекомендации по методам очистки газов и улавливания из них вредных примесей.

Каждая глава сопровождается вопросами к читателю по изложенным в ней темам, а также задачами, помогающими усвоить материал и обрести практические навыки. Подобного учебного руководства, взаимосоотноянно освещающего самые различные аспекты проблемы загрязнения атмосферы, нет ни в иностранной, ни в отечественной литературе.

#### Философия естествознания

**А. Х. Герфункель. ФИЛОСОФИЯ ЭПОХИ ВОЗРОЖДЕНИЯ.** М., «Высшая школа», 1980, 368 с., ц. 95 к.

В книге анализируются философские и социальные взгляды Данте, Петрарки, Николая Кузанского, Леонардо да Винчи, Коперника, Монтеня, Джордано Бруно, Томасо Кампанеллы, Галилея и др. Анализ этот тем более важен, что эпоха Возрождения наметила ос-

новые пути, по которым стала двигаться научная мысль Нового времени.

Автор рассматривает процессы перехода от геоцентризма к антропоцентризму, от монотеизма к пантеизму. При этом он отмечает, что появление в теории понятия бесконечности открыло путь к критическому рассмотрению птолемеевой космологии, а ренессансное естествознание, послужившее одной из предпосылок возникновения классической механики, было неразрывно связано с пересмотром методологических и философских основ тогдашней науки, основанной на схоластическом умозрении, и переходом к экспериментальным исследованиям.

Работа основана на многочисленных источниках, большей частью не переводившихся на русский язык. Она рассчитана на научные читательские круги, учащихся высших учебных заведений и всех интересующихся историей развития мысли.

#### Методология науки

**Ю. Н. Семенов. СОЦИАЛЬНАЯ ФИЛОСОФИЯ А. ТОЙНБИ.** Критический очерк. Отв. ред. Б. Т. Григорьян. М., «Наука», 1980, 200 с., ц. 1 р. 20 к.

В книге анализируются философские и социально-политические взгляды английского историка и философа А. Дж. Тойнби (1889—1975). Автор рассматривает проблему исторической закономерности, понимаемой Тойнби как божественный закон, проявляющийся через свободный выбор и осуществляемый элитой общества. Подробно анализируются в кни-

ге «основная единица исторического бытия и исследования, монада», которую Тойнби называет «локальной цивилизацией», его циклическая теория, по которой не существует единой истории человечества, а есть лишь история замкнутых цивилизаций, переживающих стадии возникновения, роста, надлома и разложения. Автор критикует религиозную концепцию прогресса у Тойнби (особенно одиозную в свете развития современного естествознания, в условиях экологического кризиса и угрозы ядерной катастрофы), по которой прогресс человечества усматривается в духовном совершенствовании, в создании единой религии будущего. Позиция Тойнби характеризуется как «феномен сознания целого слоя современной западной буржуазно-либеральной интеллигенции».

#### История науки

**Р. А. Симонов. КИРИК НОВГОРОДЕЦ — УЧЕНЫЙ XII ВЕКА.** Отв. ред. Я. Н. Шапов. М., «Наука», сер. «Научные биографии», 1980, 112 с., ц. 20 к.

В 1136 г. 26-летний новгородец Кирик написал научный трактат о единицах счета времени, об основных понятиях календаря и использовании этих сведений в хронологии. Его работы, однако, до сих пор не были изучены. Предлагаемая книга восполняет этот пробел.

Автор дает расшифровку предлагаемой Кириком числовой символики, в основе которой лежали знаки греческого алфавита, выявляет необходимость понятий «лунного и солнечного круга» для вычисления

существовавших в то время подвижных церковных праздников. Автор отмечает, что заслуга Кирика состоит не просто в изложении основ календаря, но в теоретическом обобщении древней практики расчетов времени. Кирик к тому же продемонстрировал высокое умение счета, производя точные выкладки с числами порядка десятка миллионов.

Книга написана ясно, снабжена иллюстрациями и предназначена всем интересующимся культурой Древней Руси.

#### История науки

**А. Ш. Шакиров, Е. В. Лузина. ВОПРОСЫ ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ В ТРУДАХ АБУ АЛИ ИБН СИНЫ (АВИЦЕННЫ).** Ташкент, Издательство «Медицина» УзССР, 1980, 32 с., ц. 10 к.

«Я занялся врачеванием, и врата исцеления и опыта распахнулись передо мной», — писал Ибн Сина. Знакомство с его трудами, особенно с «Каноном врачебной науки», долгое время считавшимся медицинской энциклопедией, дает все основания считать его основоположником таких областей медицины, как ортопедия и травматология. Он прекрасно диагностировал повреждения мягких тканей, суставов и костей, точно описал их клиническую картину и выработал методику лечения. Ибн Сина дал стройную классификацию повреждений опорно-двигательного аппарата, а его методы вправления и фиксации костей, передаваясь из поколения в поколение, сохранились в народной медицине до настоящего времени.

Художник П. Г. АБЕЛИН  
Художественные редакторы:  
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции:  
117049 Москва, В-49,  
Мароховский пер., 26.  
Тел. 238-26-33, 238-24-56

Сдано в набор 30.06.80  
Подписано к печати 8.08.80  
Т-09898  
Формат бумаги 70×100 1/16  
Офсет  
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 14,6  
Бум. л. 4  
Тираж 85 000 экз. Зак. 1664

Чеховский полиграфический  
комбинат Союзполиграфпрома  
Государственного комитета СССР  
по делам издательства,  
полиграфии и книжной торговли.  
г. Чехов, Московской области



Храм Сергия Радонежского (ныне — филиал Тульского областного краеведческого музея), сооруженный в 1913—1918 гг. по проекту А. В. Щусева, — часть мемориала в честь Куликовской битвы. См. в номере: Курнаев С. Ф. «Куликово поле в прошлом и настоящем».

Фото В. Н. Машатина.



