

З

1978

ПРИРОДА



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР



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
А. И. БЕРГ

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

Член-корреспондент АН СССР
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

Основан в 1912 году

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

Доктор географических наук
Л. А. ЧУБУКОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ

На первой странице обложки. Электронная фотография трансформированных фибробластов мыши после обработки лантаном. См. статью Т. В. Потаповой и М. Б. Беркинблит «Высокопроницаемые межклеточные контакты».

Фото Т. В. Потаповой.

На четвертой странице обложки. На закате солнца грифы Рюппелля рассаживаются на ночлег по ветвям деревьев (Национальный парк Серенгети, окрестности лагеря Серонера). См. статью Н. Н. Дроздова «Пернатые санитары африканских саванн».

Фото Н. Н. Дроздова.

Редакция рукописей не возвращает.
© Издательство «Наука»,
«Природа», 1978 г.

Март 1978 года

В НОМЕРЕ

В. С. Багаев, Я. Е. Покровский Электронно-дырочные капли в полупроводниках	3
В. С. Соловьева Еще раз об акцелерации	14
Ю. Г. Абов Жизнь как один день	24
Ю. М. Пушаровский, В. В. Козлов, Е. Д. Сулиди-Кондратьев Тектоническая асимметрия Земли и других планет	32
В. А. Волков Девиз «Диолефин». История получения синтетического каучука	42
П. М. Полян География и вдохновляющие ресурсы природы	51
Т. В. Потапова, М. Б. Беркинблит Высокопроницаемые межклеточные контакты	64
В. С. Летохов, В. П. Чеботаев Нелинейные узкие резонансы в оптике и их применение	78
М. И. Львович Размышления о перебросках речного стока	95
Р. В. Хохлов Лазерная физика — наиболее близкая мне область	104
Н. Ф. Овчинников Методология науки: проблемы теоретизации знания	109
Р. Л. Потапов Кавказский тетерев — эндемик Кавказских гор	118
«Вертикаль-6» (124) — Спутник «НЕАО-1» (124) — Оптический двойник рентгеновского источника Орел X-1 (125) — Ключ к эволюции цефеид (125) — Вспышка эмиссионной звезды в созвездии Стрелы (127) — Истинный облик марсианской Эллады (129) — Новые астероиды группы Аполлона (130) — Исчезающая сверхпроводимость (130) — Электропроводность выше, чем у серебра и меди (131) — «Прыгающие атомы» (131) — Роль полиаденилатной последовательности в молекулах иРНК (131) — Корни бобовых «приманивают» клубеньковые бактерии (132) — Раковые клетки превращаются в нормальные (133) — Половое влечение у приматов (133) — Предбиологический синтез аминокислот (133) — Лангусты маршируют колонной (134) — 51-рейс «Гломара Челленджера» (135) — Уроки Кызылкумских землетрясений	124

НОВОСТИ НАУКИ

(137) — Следы древних землетрясений на Курильских островах (137) — Гидродинамические предвестники землетрясений на Курильских островах (138) — Галька, окатанная рудообразующими растворами (139) — Золото в породах мантии (139) — Птицы, отравленные дробью (140) — Диатомит очищает водную поверхность от нефти (140) — Мاستодонт, раненный человеком (140) — Порядок в расположении археологических памятников (141) — Уникальный экземпляр книги Коперника (141).

ЗАМЕТКИ, НАБЛЮДЕНИЯ

Ю. И. Орлов
Камчатский краб — новый житель Баренцева моря 143

Н. Н. Дроздов
Пернатые санитары африканских саванн 144

РЕЦЕНЗИИ

И. Л. Акчурин
От элементарной геометрии — до современной топологии 145

М. И. Рейдерман
Медицина сквозь призму популяционной генетики 147

О. Е. Агаханянц
Разгадка географического парадокса 149

НОВЫЕ КНИГИ

В. В. Верещетин. Международное сотрудничество в космосе (151) — Пионеры ракетной техники (151) — Макс Борн. Размышления и воспоминания физика (151) — В. Вайскопф. Физика в двадцатом столетии (152) — Атом служит социализму (152) — В. Красногоров. Подражающие молниям (152) — Г. Рингель. Теорема о раскраске карт (152) — К. Манолов, Д. Лазаров, И. Лилов. У химии свои законы (153) — Животные и растения залива Петра Великого (153) — Дж. Финеан, Р. Колмэн, Р. Митчелл. Мембраны и их функции в клетке (153) — Г. Ф. Бромлей, Н. Г. Васильев, С. С. Харкевич, В. А. Нечаев. Растительный и животный мир Уссурийского заповедника (154) — А. К. Скворцов. Гербарий (154) — А. А. Никонов. Голоценовые и современные движения земной коры (154) — В. С. Моложавенко. Гремучий Маныч (154) — Б. Н. Комиссаров. Первая пусская экспедиция в Бразилию (155) — Л. В. Левшин. Сергей Иванович Вавилов (155) — Б. М. Кедров. Д. И. Менделеев. Прогнозы в атомистике (155) — Г. К. Цверева. Георг Вильгельм Рихман (1711—1753) (156) — В. С. Тюхтин. Теория автоматического опознавания и гносеология (156) — Фрэнсис Бэкон. Сочинения в двух томах (156).

В КОНЦЕ НОМЕРА

С. Д. Политыко
«Кто сам себе быть может господином...» 157

Электронно-дырочные капли в полупроводниках

В. С. Багаев, Я. Е. Покровский



Виктор Сергеевич Багаев, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР. Занимается изучением электрофизических и оптических свойств полупроводников при высоких концентрациях неравновесных носителей. За работы по конденсации экситонов в 1975 г. ему присуждена премия Европейского физического общества (совместно с Л. В. Келдышем, Я. Е. Покровским и французским физиком М. Воосом).



Ярослав Евгеньевич Покровский, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института радиотехники и электроники АН СССР. Основные научные интересы лежат в области физики полупроводников и их применения для научных исследований и практики. Автор ряда работ в этой области. Лауреат премии Европейского физического общества за работу по конденсации экситонов.

Многие свойства полупроводников связаны с существованием в них подвижных носителей заряда двух знаков: отрицательных — электронов и положительных — дырок, причем одновременное существование электронов и дырок в однородном полупроводнике возможно лишь при его возбуждении. После снятия возбуждения в течение некоторого времени (так называемого времени жизни носителей) происходит рекомбинация электронов и дырок и полупроводник возвращается в равновесное состояние. Если время жизни достаточно велико, то даже при небольшом уровне возбуждения, например, при воздействии на полупроводник светом, длина волны которого

лежит в области собственного поглощения полупроводника, концентрация неравновесных электронов и дырок может оказаться достаточной для того, чтобы проявились эффекты взаимодействия между носителями заряда двух знаков. Это взаимодействие особенно существенно при низких температурах, когда тепловая скорость электронов и дырок мала. Тогда электростатическое притяжение приводит к связыванию электронов и дырок в экситоны — элементарные электрически нейтральные возбужденные состояния, аналогичные атомам водорода¹. Однако

¹ Об экситонах см.: Осипьян Ю. А. Физика твердого тела выходит на передовые позиции. — «Природа», 1975, № 10.

в отличие от атомов водорода экситоны образуются из двух легких частиц — электрона и дырки, масса которых в полупроводниках обычно в несколько раз меньше массы свободного электрона.

В первом приближении электроны и дырки можно рассматривать как свободные частицы, а их движение в кристалле характеризовать импульсом P и энергией E , связь между которыми дается известным соотношением

$$E = P^2 / 2m^*,$$

где m^* — «эффективная масса» электрона или дырки. Влияние периодического поля кристаллической решетки учитывается тем, что эффективная масса m^* может очень сильно отличаться от массы свободного электрона и зависеть как от величины, так и от направления импульса P . Кроме того, в полупроводниковом кристалле электростатическое взаимодействие между электроном и дыркой сильно ослаблено из-за большой величины диэлектрической постоянной. Таким образом, размеры экситонов, а точнее их бо-

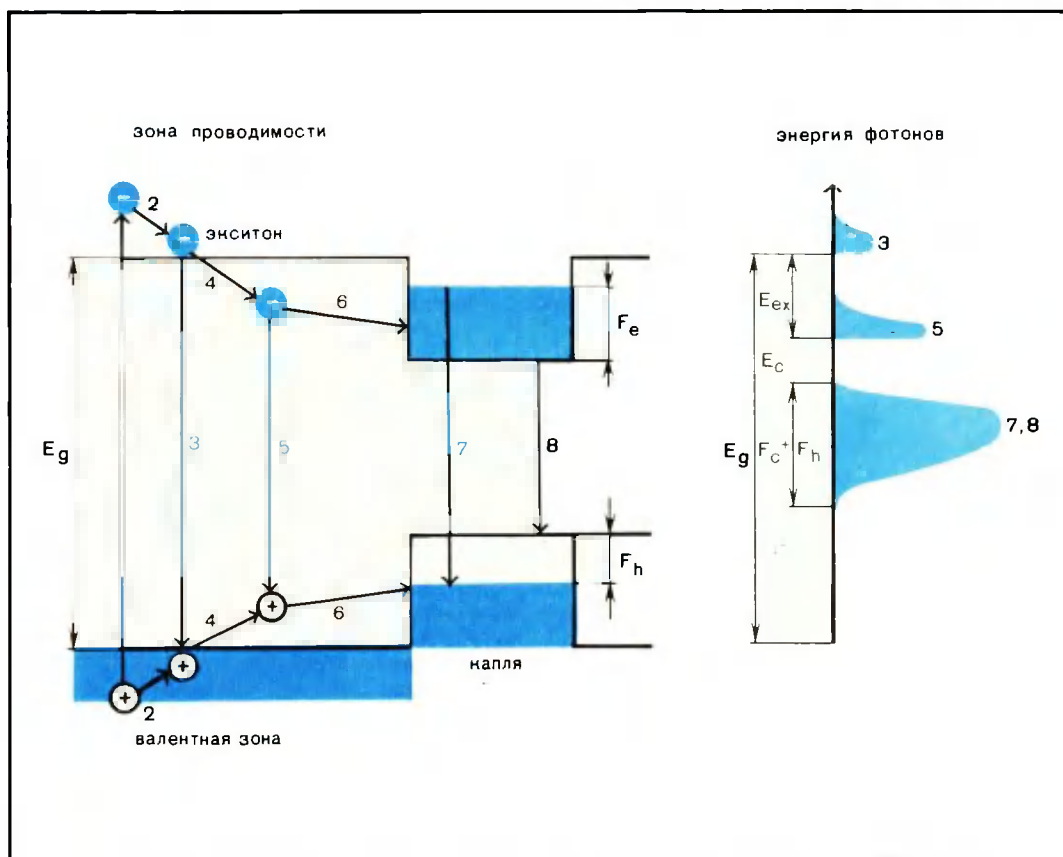


Схема неравновесных энергетических состояний [электроны, дырки, экситоны, электронно-дырочные капли] в полупроводнике. При поглощении полупроводником фотона с энергией, большей ширины запрещенной зоны E_g электрон из заполненной валентной зоны переходит в свободную зону проводимости. В результате возникают свободные электрон и положительно заряженная дырка [1]. При взаимодействии с кристаллической решеткой электрон и дырка теряют избыточную энергию [2] и локализуются вблизи «дна» зоны проводимости и «потолка» валентной зоны. При рекомбинации неравновесных электрона и дырки испускается фотон [3]. Однако до рекомбинации электрон и дырка мо-

гут связаться в экситон [4]. При рекомбинации электрона и дырки в экситоне может испускаться фотон [5] с энергией, меньшей на энергию связи экситона E_{ex} . При взаимодействии экситонов они могут образовать электронно-дырочную каплю [6]. При рекомбинации электронов и дырок в каплях [7, 8] могут испускаться фотоны в широкой полосе энергий. Справа показан вид спектра рекомбинационного излучения, состоящего из узких полос, возникающих при рекомбинации свободных электронов и дырок [3] и экситонов [5], и широкой полосы излучения каплей [7, 8]. F_e — энергия Ферми электрона, F_h — энергия Ферми дырки, E_c — энергия связи электронно-дырочной жидкости.

ровский радиус, в 10—100 раз больше размеров атомов водорода (радиус атома водорода $5 \cdot 10^{-9}$ см), а их энергия связи в 100—1000 раз меньше. При перемещении по кристаллу экситоны переносят энергию возбуждения и не переносят электрический заряд (в силу их электронейтральности).

Размеры экситонов достаточно большие, поэтому взаимодействие между ними должно проявляться даже при сравнительно небольших концентрациях, что может привести к образованию экситонных молекул — биекситонов, аналогичных молекулам водорода, но обладающих очень малой энергией связи. В настоящее время имеются экспериментальные данные, указывающие на существование таких молекул.

Однако возможно образование и других коллективных состояний неравновесных электронов и дырок, на что впервые указал Л. В. Келдыш². Развивая дальше сравнение с атомом водорода, можно ожидать, что экситоны в полупроводниках образуют своеобразный «атомный газ». Следовательно, при увеличении концентрации они должны вести себя, как и любой другой газ при повышении давления: при некоторой концентрации, зависящей от температуры, переходить в «жидкое» связанное состояние с расстоянием между частицами порядка радиуса экситона (т. е. конденсироваться). Поскольку масса экситонов мала, при конденсации они должны вести себя уже не как водород, образующий молекулярную жидкость, а напоминать атомы щелочных металлов, т. е. образовывать жидкость металлического типа, в которой электрон не связан жестко со своей дыркой и может перемещаться, оставаясь в пределах «жидкой» фазы.

Эта идея нашла полное экспериментальное подтверждение в последующих исследованиях советских, а затем и зарубежных ученых. В настоящее время такое направление выделилось в самостоятельную, интенсивно развивающуюся область физики твердого тела.

РЕКОМБИНАЦИОННОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ КОНДЕНСИРОВАННОЙ ФАЗЫ

Образование жидкой фазы возможно лишь при относительно высоких концентрациях экситонов. Такие concentra-

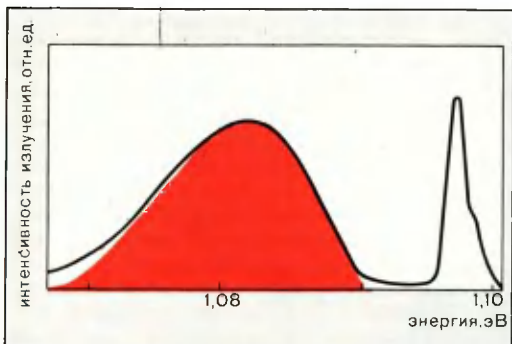
ции, не перегревая кристалл, можно создать лишь при достаточно большом времени жизни электронов, дырок и их комплексов — экситонов, что выполняется в полупроводниках, содержащих ничтожные количества примесей. «Собственное» время жизни экситонов, т. е. время жизни в кристалле, не содержащем примесей и дефектов, должно быть значительным. Эти условия выполняются для двух наиболее распространенных полупроводников — германия и кремния. Содержание примесей в наиболее чистых кристаллах этих материалов может быть снижено до 10^{10} — 10^{11} атомов в 1 см^{-3} . Скорость собственной рекомбинации оказывается не очень большой; в процессе рекомбинации помимо электрона и дырки участвуют кванты колебаний кристаллической решетки — фононы. Вот почему время жизни экситонов в германии и кремнии при низких (гелиевых) температурах оказывается довольно значительным 10^{-5} — 10^{-6} с. Концентрация экситонов при помощи фотовозбуждения 1 Вт/см^3 достигает 10^{13} — 10^{14} в 1 см^3 , что вполне достаточно для их конденсации. Поэтому явление конденсации экситонов впервые было обнаружено именно в германии и кремнии, и эти полупроводники до сих пор служат излюбленным материалом при исследовании конденсации экситонов.

Обычно для изучения неравновесных состояний в полупроводниках используются спектры рекомбинационного излучения. Анализ спектров и интенсивности рекомбинационного излучения дает непосредственное представление о распределении неравновесных электронов и дырок по энергетическим уровням кристалла, а интенсивность излучения зависит от концентрации неравновесных носителей заряда.

При рекомбинации свободных электронов и дырок испускаются фотоны с наибольшей энергией, при этом ширина спектра излучения определяется тепловым движением свободных носителей заряда и оказывается порядка средней тепловой энергии. Обычно при низких температурах интенсивность этого излучения чрезвычайно мала, так как большинство электронов и дырок оказываются связанными в экситоны. Полоса излучения экситонов сдвинута в область меньших энергий на величину энергии связи экситонов $E_{\text{эк}}$ и также имеет спектральную ширину порядка тепловой энергии (при гелиевых температурах не превы-

² Келдыш Л. В. — «Труды IX Международной конференции по физике полупроводников. Москва, 1968». Л., 1969, с. 1307.

шает 1 МэВ). При конденсации экситонов образуется плотная электронно-дырочная жидкость, состоящая из «вырожденной» плазмы³. В этом случае электроны и дырки занимают уровни в пределах некоторых энергетических полос, ширина которых соответствует энергиям Ферми электронов и дырок и зависит от концентрации носителей заряда в конденсированной фазе. В жидкой фазе возможна рекомбинация электронов и дырок с любыми энергиями в пределах энергии Ферми. Поэтому рекомбинационное излу-



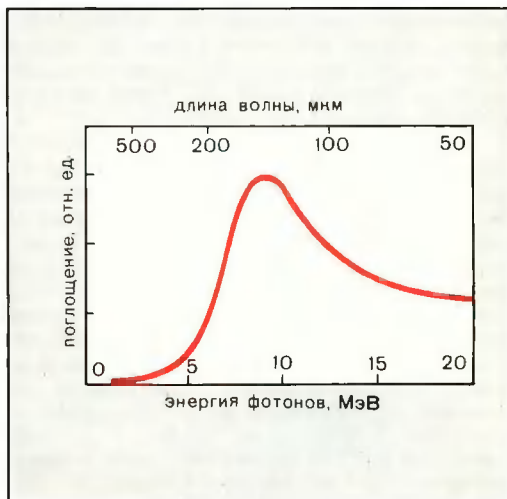
Спектр рекомбинационного излучения чистого кремния при температуре 4,2 К. Узкий пик справа возникает в результате рекомбинации свободных экситонов с испусканием продольного и поперечного оптических фононов. Широкая полоса слева — излучение капель. Цветом показана теоретическая кривая спектра излучения капель для концентрации электронов и дырок в плазме $n_0 = 3,7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$.

чение электронно-дырочной жидкости также должно иметь вид полосы, спектральная ширина которой соответствует сумме энергий Ферми электронов и дырок. Поскольку плотность жидкой фазы постоянна, ширина этой полосы слабо за-

³ При температурах, близких к нулю, электроны («вырожденный» электронный газ) будут распределены по различным квантовым состояниям таким образом, чтобы полная энергия электронного газа имела наименьшее значение. Тогда все электроны заполнят квантовые состояния от 0 до некоторой энергии, называемой энергией Ферми, величина которой зависит от числа электронов в металле или в полупроводнике. Такой электронный газ будет вести себя как идеальный газ, а чем больше его плотность, тем ближе он к идеальному.

висит от температуры и не зависит от уровня возбуждения. Кроме того, полоса излучения сдвинута в область меньших энергий относительно пика экситонного излучения на величину энергии связи жидкой фазы E_c .

Обнаружение таких широких полос в спектрах низкотемпературной люминесценции германия и кремния⁴ стало важным этапом в исследовании конденсации экситонов. Детальный анализ формы и положения этих новых полос излучения позволил определить концентрации n_0



Спектр поглощения инфракрасного (длина волны от 50 до 500 мм) излучения электронно-дырочными каплями в германии при температуре 1,8 К. Максимум на кривой поглощения соответствует частоте собственных плазменных колебаний капель.

и энергии связи E_c конденсированной фазы в германии и кремнии. Оказалось, что для германия $n_0 = 2,4 \cdot 10^{17} \text{ см}^{-3}$, $E_c = 2,02 \text{ МэВ}$, а для кремния $n_0 = 3,7 \cdot 10^{18} \text{ см}^{-3}$, $E_c = 8,2 \text{ МэВ}$, эти значения хорошо согласуются с теоретическими расчетами. Таким образом, концентрация носителей заряда в конденсированной фазе может на много порядков превосходить концентрацию свободных экситонов, поскольку при низких температурах ($T \sim 1 \text{ К}$) кон-

⁴ Покровский Я. Е., Свистунова К. И. — «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 9, с. 438; Покровский Я., Каминский А., Свистунова К. — «Труды X Международной конференции по физике полупроводников. Бостон, 1970»; Кембридж, Массачусетс, 1970, с. 504.

денсация экситонов в германии начинается при концентрации 10^{11} см^{-3} , а в кремнии — при 10^{13} см^{-3} .

Существует еще один характерный эффект, позволяющий достаточно точно определить концентрацию электронов и дырок в конденсированной фазе. Конденсированная экситонная фаза состоит из мелких капель, и переменное электрическое поле (например, поле электромагнитной волны) будет возбуждать дипольные плазменные колебания капель. Когда частота собственных колебаний капель, зависящая от концентрации носителей заряда, совпадает с частотой падающей электромагнитной волны, возникает резонансное поглощение. Такое поглощение было обнаружено⁵. И значение концентрации в конденсированной фазе германия, определенное в этих экспериментах, совпало с концентрацией, полученной из спектральных измерений.

ДИАГРАММА ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА ЭКСИТОННЫЙ ГАЗ — ЭЛЕКТРОННО- ДЫРОЧНАЯ ЖИДКОСТЬ

Для описания перехода из газообразного состояния обычно пользуются фазовыми диаграммами; если число частиц в системе задано, диаграмма строится как функция давления, объема и температуры системы. В случае неравновесных электронов и дырок изменение уровня возбуждения в полупроводнике приводит к изменению их концентрации, что эквивалентно изменению давления. Поэтому «петля» фазовой диаграммы строится в виде зависимости средней по объему образца концентрации неравновесных носителей заряда от температуры. При температуре ниже критической происходит расслоение электронно-дырочной системы на две фазы: жидкость и газ. Критическая температура для электронно-дырочной жидкости оказалась равной 6,5 К для германия и 28 К для кремния. Таким образом, в этих полупроводниках электронно-дырочная жидкость может существовать лишь при низких температурах.

Приведенные рассуждения справедливы, строго говоря, лишь для случая равновесия между жидкой и газообразной фазами. В действительности такого равновесия в системе электронов и дырок нет, поскольку помимо процесса конденсации и испарения экситонов существует

рекомбинация неравновесных электронов и дырок внутри жидкой фазы. Это приводит к тому, что даже при очень низких температурах, когда роль испарения невелика, для конденсации необходима достаточно высокая концентрация экситонов.

КИНЕТИКА КОНДЕНСАЦИИ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ

Еще на первом этапе исследований конденсации экситонов было обнаружено, что атомы примеси в кристаллах германия участвуют в образовании центров конденсации⁶. При этом число таких центров резко увеличивается при пересыщении экситонного газа. Для изучения кинетики конденсации экситонов необходимо проводить измерения радиуса капель и одновременно наблюдать за их числом или их концентрацией в образце, что достигается одновременным измерением рассеяния и поглощения света каплями и наблюдением рекомбинационного излучения.

Рассеяние света каплями электронно-дырочной жидкости в кристаллах германия было обнаружено в 1971 г.⁷

Как было сказано выше, конденсация экситонов в германии приводит к образованию отдельных капель, состоящих из электронов и дырок, равновесная плотность которых на несколько порядков больше плотности окружающего их экситонного газа. Вследствие этого изменяется величина показателя преломления и коэффициента поглощения в областях, занятых конденсированной фазой, и такое нарушение оптической однородности полупроводника приводит к рассеянию проходящих через кристалл электромагнитных волн.

В результате опытов по измерению рассеяния света было установлено, что радиусы капель в образцах германия при постоянном возбуждении могут меняться от 2 до 15 мкм (в зависимости от условий опыта), а концентрация капель — от 10^4 см^{-3} до 10^7 см^{-3} . При исследовании кинетики конденсации экситонов этим методом было обнаружено, что радиусы капель увеличиваются с ростом температуры, а их концентрация умень-

⁵ Вавилов В. С., Заяц В. А., Мурзин В. Н. — «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 10, с. 304.

⁶ Багаев В. С., Галкина Т. И., Гоголин О. В. — «Труды X Международной конференции по физике полупроводников», с. 500.

⁷ Покровский Я. Е., Свистунова К. И. — «Письма в ЖЭТФ», 1971, т. 13, с. 297.

шается, при этом увеличение радиуса почти прекращается при приближении к критической температуре конденсации для данной плотности экситонного газа. Кроме того, и радиус, и концентрация каплей сильно зависят от крутизны фронта импульса фотовозбуждения, т. е. от того, насколько быстро растет интенсивность света, а значит, и число электронно-дырочных пар в образце при включении источника возбуждения⁸. Оказывается, что радиус образовавшихся каплей тем меньше, чем быстрее нарастает интенсив-

но-дырочной жидкости; он оказался равным $1,8 \cdot 10^{-4}$ дин/см². Величина поверхностного натяжения сильно влияет на процесс образования зародышей жидкой фазы, так как поверхностная энергия может заметно уменьшить энергию связи частиц в жидкости у каплей малого радиуса и увеличить испарение из таких каплей.

Для рассмотрений кинетики образования конденсированной фазы необходимо уяснить, как возникают зародыши электронно-дырочных каплей и как растет каждая отдельная капля до установления ее равновесия с окружающим экситонным газом.

Из стационарного уравнения диффузии видно, что образование и рост отдельной капли происходят следующим образом: при определенной средней концентрации экситонного газа в результате флуктуации плотности экситонов вблизи центра конденсации образуется зародыш капли, радиус которого больше некоторого критического значения. После этого капля начинает расти. Стационарный размер капли будет определяться плотностью экситонного газа при данной температуре. В этом случае приток экситонов к такой капле должен уравниваться с числом электронно-дырочных пар, исчезающих внутри капли за счет рекомбинации.

Приведенное рассмотрение справедливо для отдельной капли. Если же каплей в образце много, то стационарное значение радиуса каплей будет определяться также концентрацией самих каплей. При этом радиус каплей будет тем меньше, чем больше каплей образовалось в кристалле.

Рассмотрим теперь полную картину кинетики конденсации экситонного газа в кристаллах германия, начиная с образования зародышей жидкой фазы и кончая установлением стационарных размеров электронно-дырочных каплей.

По мере увеличения интенсивности света, падающего на образец германия, концентрация экситонов в образце начинает возрастать. Когда число экситонов заметно превысит пороговое значение, начинается образование зародышей электронно-дырочных каплей, однако сначала число уходящих в капли экситонов относительно мало, так как мало и число зародышей и радиус каждого из них. Поэтому еще некоторое время концентрация экситонов продолжает расти. Но с увеличением степени пересыщения экс-

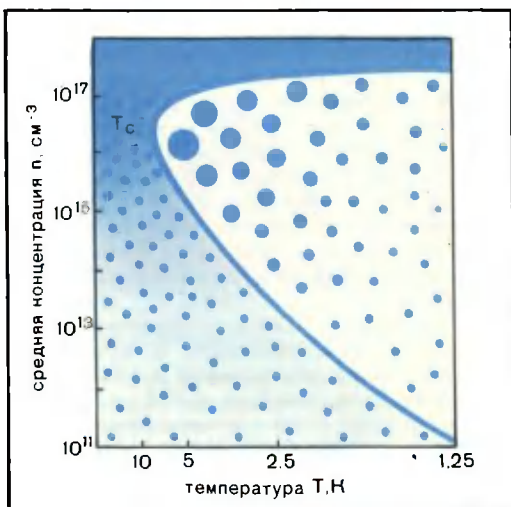


Диаграмма фазового перехода экситонный газ — электронно-дырочная жидкость в германии. Область под нижней ветвью петли фазовой диаграммы соответствует экситонному газу. Верхняя ветвь соответствует концентрации электронов и дырок в жидкой фазе. Область между ветвями соответствует расслоению системы на две фазы — жидкую и газообразную. T_c — критическая температура. Из рисунка видно, что приведенная фазовая диаграмма напоминает фазовую диаграмму для системы жидкость — газ.

ность возбуждающего света (до некоторого стационарного значения при определенной температуре), но число каплей в образце германия в этом случае больше.

В этих же экспериментах из измерений температурной зависимости концентрации каплей был определен коэффициент поверхностного натяжения электрон-

⁸ Багаев В. С., Замковец Н. В., Келдыш Л. В., Сибельдин Н. Н., Цветков В. А. — «ЖЭТФ», 1976, т. 70, вып. 4, с. 1505.

тонного газа возрастает число вновь образующихся зародышей, а также радиусы ранее образовавшихся капель. В некоторый момент число уходящих в капли экситонов становится равным числу экситонов, образующихся в результате генерации электронно-дырочных пар внешним источником возбуждения, а затем и превышает его. С этого момента, несмотря на увеличение интенсивности возбуждения, концентрация экситонов в кристалле начинает падать, так как почти все создаваемые экситоны используются

ситонов при заданном числе электронно-дырочных капель.

Рассмотренная физическая модель конденсации качественно, а во многих случаях и количественно, подтверждается во многих экспериментах. Однако она не дает объяснения, почему радиусы капель в германии (по данным различных экспериментов) не превышают 10—15 мкм. Поиски механизма, ограничивающего рост электронно-дырочных капель, привели к предсказанию и обнаружению ряда интересных эффектов.

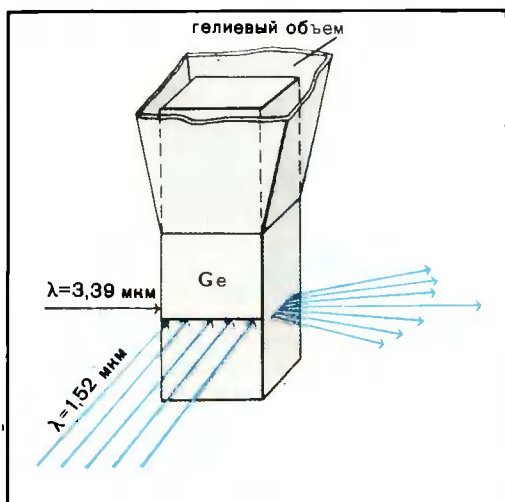


Схема расположения световых пучков при измерении рассеяния света электронно-дырочными каплями в германии. Образец германия впаивается в дно гелиевого криостата и таким образом охлаждается до температуры 1,8—4,2 К. Свет от лазерного источника с длиной волны $\lambda = 1,52$ мкм, сформированный в виде узкой полоски, рождает электронно-дырочные капли в объеме образца. Плотные капли электронно-дырочной жидкости рассеивают получаемый от другого лазера свет ($\lambda = 3,39$ мкм), проходящий через образец. По измерению углового распределения света, рассеянного каплями, определяется средний радиус капель.

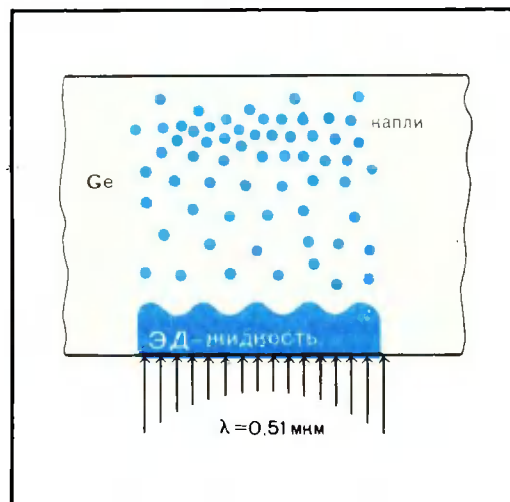


Схема распада большого объема электронно-дырочной жидкости на отдельные капли и разлета образовавшихся электронно-дырочных капель под действием фононного ветра. Образец облучается лазером на парах меди с продолжительностью импульса 10^{-8} с. Поток неравновесных фононов, рождающихся в жидкости, вызывает капиллярные колебания [рябь на поверхности жидкой фазы], в результате которых первоначальный объем электронно-дырочной (ЭД) жидкости распадается на отдельные капли. Образовавшиеся капли под действием фононного ветра разлетаются по образцу с достаточно большими начальными скоростями.

для поддержания существования уже образовавшихся капель. Образование же новых зародышей вскоре почти прекращается, поскольку концентрация экситонов падает до уровня, при котором вероятность возникновения зародышей новых капель очень мала. Образовавшиеся капли еще некоторое время продолжают расти, пока не достигнут размеров, определяемых равновесной концентрацией эк-

ВЛИЯНИЕ ФОНОННОГО ВЕТРА НА ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ КАПЛИ

В процессе исследования свойств конденсированной фазы экситонов в кристаллах германия неоднократно измерялся квантовый выход излучения из электронно-дырочных капель. Было показано, что при рекомбинации носителей внутри капель только 25% электронно-дырочных пар рекомбинирует с испусканием кван-

та света. Остальные 75% гибнут безызлучательно, отдавая свою энергию решетке кристалла, т. е. рождая фононы. Поскольку при каждом акте безызлучательной рекомбинации кристаллической решетке передается около 0,7 эВ, электронно-дырочные капли служат мощным источником фононов. Теоретическое исследование влияния потока фононов на электронно-дырочную жидкость показало, что фононы, поглощаясь и рассеиваясь в жидкости, частично передают ей свой квазиимпульс. Это приводит к возникновению объемных сил в электронно-дырочной жидкости, подобных силам, существующим в однородно заряженной жидкости. В результате возникают силы отталкивания и достаточно большие объемы жидкости оказываются неустойчивыми, т. е. большие капли будут распадаться на более мелкие⁹.

Поверхностное натяжение обеспечивает стабильность сферических электронно-дырочных капель с радиусом $R < R_{кр}^{max}$. $R_{кр}^{max}$ — некоторый максимальный критический радиус, начиная с которого развивается неустойчивость, приводящая к делению капли. Таким образом, потоки неравновесных фононов — фононный ветер, рождающийся в каплях, могут служить той причиной, которая ограничивает размеры капель в образцах германия.

Если в результате очень кратковременной, но весьма интенсивной генерации электронно-дырочных пар в части образца сразу создается большой объем электронно-дырочной жидкости, значительно превышающий критический, последующий распад жидкости подобен взрыву. Образовавшиеся отдельные капли должны разлетаться с начальными скоростями, близкими к скорости звука в кристалле. Действие фононного ветра, возникающего в каплях, не сводится лишь к ограничению стационарных размеров капель и распаду объемов жидкости больших критических. Как только в какой-то части образца под действием света возникает достаточно плотное облако, состоящее из отдельных капель, фононный ветер, дующий из каждой капли, подействует на все остальные. Фононы частично поглощаются при взаимодействии с электронами и дырками и передадут каплям свой импульс. В результате произойдет «расталкивание» капель и облако, первоначально локализо-

ванное в месте возбуждения, разлетится по кристаллу. Этот эффект наблюдался в целом ряде экспериментов.

Опыты, в которых создавались различные конфигурации облака электронно-дырочных капель, показали, что под действием фононного ветра капли могут пролетать расстояние в несколько миллиметров. При этом зависимость длины полета и скорости движения капель от величины начального объема жидкости хорошо согласуется с теоретическими расчетами, полученными для такого движения.

В экспериментах было установлено, что, несмотря на почти одинаковые сечения поглощения неравновесных фононов свободными экситонами, электронами и дырками, составляющими капли, возникающие фононные потоки не изменяют сколько-нибудь заметно пространственное распределение экситонов в образце.

Это одно из наиболее удивительных свойств электронно-дырочных капель — легко проходить большие расстояния в кристалле под действием внешних сил — было обнаружено еще в ранних экспериментах при изучении влияния одноосной деформации на свойства конденсированной фазы в германии (см. сноску 6). Такое поведение электронно-дырочных капель возможно, если приложенная к кристаллу одноосная деформация неоднородна. Так, при сжатии образца германия, имеющего форму усеченной пирамиды или конуса, вдоль одного из главных кристаллографических направлений (например, по направлению $\langle 111 \rangle$) запрещенная зона германия плавно уменьшается, достигая наименьшей ширины в области максимального давления. При этом энергия электронно-дырочных пар будет также меняться, плавно уменьшаясь при приближении к месту максимальной деформации образца. Появляется сила, действующая на неравновесные носители заряда.

Несмотря на то что возникающая сила действует на отдельные электроны, дырки и свободные экситоны так же, как на электроны и дырки в капле, экспериментально не удалось обнаружить их дрейфовое движение. Движение же капель в кристалле германия при этих условиях было обнаружено в многочисленных экспериментах. Очевидно, различие заключается в том, что электронно-дырочный газ в каплях вырожден, т. е. электроны и дырки заполняют все состояния зоны проводимости вплоть до энергии Ферми. Большая часть их не может взаимодей-

⁹ Келдыш Л. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1976, т. 23, с. 100.

вовать с колебаниями решетки, поскольку взаимодействие сопряжено с изменением энергии электрона. В процессе рассеяния на фононах участвуют лишь электроны и дырки, энергия которых близка к энергии Ферми. Поэтому «трение» капель о решетку будет мало, и, следовательно, в неоднородных полях капли могут разгоняться до значительных скоростей. Так, полем неоднородной деформации было экспериментально осуществлено направленное

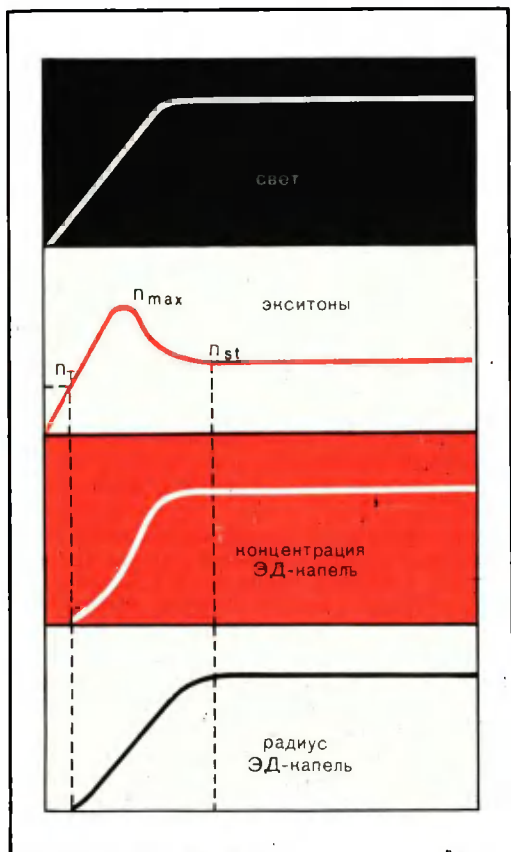
перемещение капель на расстояния порядка одного сантиметра со скоростью $3 \cdot 10^5$ см/с.

БОЛЬШИЕ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫЕ КАПЛИ

Как уже отмечалось, большая подвижность и наличие фононного ветра приводят к разлету электронно-дырочных капель из области возбуждения. Поэтому даже при очень высоких уровнях локального возбуждения размеры капель не превышают десятка микрон. Однако за счет той же подвижности в поле неоднородной деформации можно создать каплю макроскопических размеров. Действительно, если соответствующим образом деформировать кристалл полупроводника, можно получить потенциальную яму для мелких капель. Локализуясь в яме, эти мелкие капли должны слиться в одну большую каплю. Такая возможность была реализована в результате подбора определенной неоднородной деформации образца германия, при которой вблизи поверхности кристалла возникла область максимальной деформации. В этой области образовалась единственная электронно-дырочная капля размером около 1 мм, которую удалось сфотографировать с помощью телевизионной передающей трубки в ее собственном рекомбинационном излучении¹⁰. Исчезновение рассеяния инфракрасного излучения электронно-дырочной жидкостью подтвердило, что в этом случае действительно создается большая капля, а не облако мелких капель, локализованных в потенциальной яме.

ЭЛЕКТРОПРОВОДНОСТЬ И МАГНЕТИЗМ ЭЛЕКТРОННО-ДЫРОЧНЫХ КАПЕЛЬ

Обнаружению конденсации экситонов предшествовало экспериментальное исследование электропроводности кристаллов чистого германия при гелиевых температурах и сильном фотовозбуждении¹¹. Было обнаружено, что при концентрации экситонов $n \sim 10^{16}$ см⁻³, проводимость резко возрастает. Это в дальнейшем было объяснено сквозной проводимостью по цепочке соприкасающихся электронно-дырочных капель. Такая проводимость должна возникать, если капли равномерно за-



Зависимость концентрации экситонов, электронно-дырочных капель и их радиуса от времени при нарастании интенсивности в возбуждающем световом импульсе; n_{st} — стационарная концентрация экситонов, находящаяся в равновесии с электронно-дырочной жидкостью; n_T — пороговая концентрация экситонов, зависящая от температуры.

¹⁰ Jeffris C. D. — «Science», 1976, v. 189, p. 955.

полняют приблизительно одну десятую часть всего объема кристалла. Однако эти и последующие эксперименты не позволили определить электропроводность капель, поскольку до появления сквозной проводимости электрическое сопротивление кристалла определяется газообразной средой между каплями, а для заполнения всего кристалла электронно-дырочной жидкостью необходима большая мощность возбуждения, приводящая к перегреву кристалла.

Более благоприятная ситуация возникает при взаимодействии электронно-дырочных капель с высокочастотным магнитным полем, возбуждающем в каплях вихревые индукционные токи (токи Фуко). Если образец, содержащий электронно-дырочные капли, поместить в катушку индуктивности колебательного контура, то поглощение энергии магнитного поля, приводящее к уменьшению амплитуды электрических колебаний, может быть измерено. При этом поглощение пропорционально частоте магнитного поля, электропроводности капель и сильно зависит от радиуса капель. В свою очередь, электропроводность капель, содержащих равное число электронов и дырок, должна сильно изменяться в постоянном магнитном поле. Таким образом, исследуя зависимость высокочастотного поглощения каплями, удастся непосредственно измерить подвижность электронов и дырок в каплях и рассчитать электропроводность капель¹². Измерения показали, что подвижность внутри мелких капель в германии при 1,8 К равна $2 \cdot 10^6$ см²/В·с, а электропроводность порядка $1,6 \cdot 10^5$ Ом⁻¹ см⁻¹, т. е. по порядку величины это типичная металлическая проводимость.

С рекомбинацией электронов и дырок связаны необычные магнитные свойства капель. Если капля находится в постоянном магнитном поле, то на электроны и дырки, движущиеся в результате рекомбинации внутри капли от поверхности к центру, действует сила Лоренца, вызывающая вращение электронной и дырочной компонент в противоположные стороны. Механический момент капли при этом остается близким к нулю, однако возникает магнитный момент, направленный вдоль внешнего магнитного поля. Та-



Фотография «большой» электронно-дырочной капли, полученная в ее собственном рекомбинационном излучении. Капля видна в верхней части рисунка в виде яркого пятна внутри цилиндрического образца германия (на рисунке виден как темный круг); более светлая область — нейлоновое кольцо, в котором закреплен образец. Вверху виден винт, создающий неоднородную деформацию.

ким образом, внутри капель возрастает напряженность магнитного поля, и капли становятся парамагнитными. Намагничивание вызывает сильное сплющивание больших электронно-дырочных капель в магнитных полях, напряженностью $H_0 = 5-10$ кЭ. Это явление связано с возрастанием магнитного момента при сплющивании капель, что энергетически выгодно. Если бы магнитные свойства капель определялись обычным диа- или парамагнетизмом плазмы, наблюдалось бы не сплющивание, а вытягивание капель вдоль магнитного поля.

В сильных магнитных полях происходит перестройка энергетического спектра электронно-дырочных капель. Магнитное поле H_0 вызывает сдвиг и расщепление зоны проводимости и валентной зоны на систему близко расположенных зон (зоны Ландау), энергетическое расстояние между которыми определяется выражением

$$\Delta E = \frac{e\hbar H_0}{m^*c},$$

¹¹ Аснин В. М., Рогачев А. А. — «Письма в ЖЭТФ», 1968, т. 7, с. 464.

¹² Каминский А. С., Покровский Я. Е., Жидков А. Е. — «ЖЭТФ», 1977, т. 72.

где m^* — эффективная масса электрона или дырки, $\hbar$ — постоянная Планка, e — заряд электрона, c — скорость света. В том случае, когда уровень Ферми электронов или дырок пересекает одну из зон Ландау, в энергетическом спектре вырожденной плазмы возникают особенности, влияющие на концентрацию и время жизни неравновесной плазмы, что приводит к изменению интенсивности рекомбинационного излучения капель. Таким образом, при возрастании напряженности магнитного поля возникают регулярные колебания интенсивности излучения капель, которые наблюдаются как в германии, так и в кремнии¹³.

В очень сильных магнитных полях ($H_0 \sim 100$ кЭ) происходит полная перестройка энергетического спектра электронно-дырочной жидкости: концентрация электронов и дырок в каплях возрастает в несколько раз, возникает сильная поляризация рекомбинационного излучения, а его спектр радикально изменяется. Проведенные эксперименты показывают, что электронно-дырочные капли служат очень интересным объектом для исследования влияния больших магнитных полей на свойства «металлической» жидкости. Для выявления соответствующих свойств обычных металлов потребовались бы магнитные поля на много порядков больше, не достижимые в земных условиях.

Большой интерес к электронно-дырочным каплям вызван прежде всего необычностью такого возбужденного состояния полупроводника, поскольку ранее исследовались лишь «точечные» неравновесные состояния (электроны и дырки, экситоны, их комплексы, образующиеся при взаимодействии с примесями и дефектами). Электронно-дырочные капли — это коллективные возбужденные состояния кристалла, охватывающие макроскопическую область. Исследование такой системы дает уникальную возможность моделирования свойств вещества в широком диапазоне плотностей от идеального газообразного состояния до состояния сильно сжатой металлической плазмы. Небольшие внешние воздействия на электронно-дырочные капли приводят к

радикальным изменениям их свойств; в обычных веществах подобные изменения пока недоступны для эксперимента. Наконец, электронно-дырочная жидкость — наиболее простой пример конденсированной среды, существующей за счет внутренних взаимодействий образующих ее частиц. Использование новых методов расчета, применимых в теории металлов, оказывается особенно эффективным для конденсированной фазы электронов и дырок.

Основные экспериментальные исследования конденсации экситонов были выполнены на германии и кремнии, однако в последнее время получены достаточно убедительные доказательства существования электронно-дырочной жидкости в таких полупроводниках, как арсенид галлия и сульфид кадмия. Вероятность излучательной рекомбинации в арсениде галлия, например, на несколько порядков выше, чем в кремнии и германии. Благодаря высокой концентрации электронов и дырок в этих полупроводниках в жидкой фазе возникают сильные эффекты усиления и генерации рекомбинационного излучения.

Можно надеяться, что дальнейшие исследования электронно-дырочных капель в полупроводниках приведут не только к обнаружению новых физических эффектов, но и к практическому их использованию.

¹³ Багаев В. С., Галкина Т. И., Пенин Н. А., Стопачинский В. Б., Чураева М. Н. — «Письма в ЖЭТФ», 1972, т. 16, с. 120; Дите А. Ф., Лысенко В. Г., Тимофеев Я. Б., Лохныгин В. Д. — «Письма в ЖЭТФ», 1973, т. 18, с. 114.

Еще раз об акцелерации

В. С. Соловьева



Валерия Семеновна Соловьева, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник Научно-исследовательского института и Музея антропологии Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Биолог-антрополог, изучает процесс роста и соматического развития детей и подростков, относящихся к различным этно-территориальным группам.

Проблема акцелерации продолжает оставаться актуальной и все еще далекой от решения, поэтому ей по-прежнему уделяют внимание и в научной, и в популярной печати. Термин акцелерация (от лат. *accēlērāre*) означает ускорять. Первоначально под акцелерацией имели в виду ускорение соматического развития детей и подростков, наблюдаемое за последние 100—150 лет. Но затем был выявлен сложный комплекс взаимосвязанных явлений, относящийся ко всем возрастам. Теперь изучено не только ускорение соматического развития в процессе роста (акцелерация в собственном смысле слова), но и увеличение размеров тела взрослых, более позднее наступление климакса, возрастание продолжительности жизни, ускорение развития психики, а некоторые иностранные исследователи связывают с акцелерацией и преобразование психического склада у современной молодежи¹. Поэтому термину акцелерация следовало бы предпочесть широко применяемый в зарубежной литературе термин — секулярный тренд (вековая тенденция), хотя он тоже не всеобъем-

лющий. В нем отражена лишь продолжительность названной тенденции, но не ее содержание.

Для выявления акцелерации современные данные сравнивают со старыми (при этом необходимо соблюдение условий методической сравнимости). Промежутки времени, для которых изучена вековая тенденция изменения тех или иных показателей, различны. Например, наука располагает данными о начале менструирования у женщин (очень важный признак соматического развития) начиная с периода античности: в Древней Греции этот возраст составлял 12 лет, в средние века и в последующие столетия менструирование начиналось значительно позже; в 1800 г. — в среднем в 16,5—17,5 лет². В настоящее время в крупных промышленных городах менструирование начинается в среднем в 12,5—13 лет. А изменения такого показателя для характеристики соматического развития признака, как сроки окостене-

¹ Nold F. Körpergröße und Akzeleration.— Wehrdienst und Gesundheit, 1963, B. 8. Wehr und Wissen Verlagsgesellschaft MBH. Darmstadt.

² Данные об изменении возраста начала менструирования от античности до 1800 г. взяты из работы: Backman G. Die beschleunigte Entwicklung der Jugend. Verfrühte Menarche, verspätete Menopause, verlängerte Lebensdauer.— «Acta Anatomica», 1948, v. IV, № 4.

ния скелета, изучены лишь для последних 50 лет, т. е. после открытия рентгеновских лучей. Сравнительно недавно начали применяться и тесты умственного развития. Лучше же всего изучены антропометрические признаки (особенно длина и вес тела). Именно с них и началось изучение акселерации.

ПРОЯВЛЕНИЯ АКЦЕЛЕРАЦИИ

К настоящему времени в разных странах мира опубликованы тысячи работ по акселерации (в основном это статьи в научных журналах и сборниках). Содержащиеся в них сведения относятся к различным странам, областям, городам (и даже городским районам), сельской местности, к людям разных возрастов, национальностей, социальных слоев, профессий и т. д. Из этого обширнейшего объема данных выведены средние показатели для экономически развитых стран мира, включая нашу страну. Мы приведем для нескольких возрастных периодов человека средние показатели, характеризующие акселерацию за последние 100 с лишним лет (использованы лишь методически сравнимые материалы).

Вес детей при рождении стал больше на 100—300 г³. У грудных младенцев вес при рождении теперь удваивается к четырем месяцам (вместо шести)! Годовалые дети стали длиннее на 5 см и тяжелее на 1,5—2 кг.

Для оценки физического развития грудных младенцев важно соотношение окружности груди и окружности головы. Как известно, окружность головы у новорожденных больше, чем груди, но затем грудная клетка растет быстрее и обгоняет рост головы. Отмечено более раннее схождение этих двух величин. В начале XX в. оно наблюдалось в конце первого года жизни, в 1937 г. — на шестом месяце, в 1949 г. — на пятом; теперь же окружность груди сравнивается с окружностью головы и обгоняет ее между двумя и тремя месяцами жизни. Раньше прорезываются молочные зубы.

У детей дошкольного возраста длина тела увеличилась за последние 100 лет на 10—12 см. Раньше прорезываются по-

стоянные зубы (например, первые моляры и средние резцы — примерно на год раньше).

Такие сдвиги в соматическом развитии лучше всего изучены у школьников. У них отмечено значительное увеличение размеров тела. Дж. Таннер подсчитал, что увеличение длины и веса тела у школьников происходило со скоростью четыре месяца в каждое десятилетие, т. е. 30 лет назад 10-летние дети имели размеры тела теперешних 9-летних.

Особенно сильно (на 15—20 см) увеличилась длина тела работающих подростков. (Это объясняется тем, что в прошлом уровень физического развития работающих подростков был очень низок; существовала большая разница в физическом развитии по социальным слоям, работающие подростки в прошлом были из плохо обеспеченных семей.)

Следует отметить, что у школьников преобладает ускорение сроков роста, а его итоговое абсолютное увеличение (длина тела взрослых) выражено в меньшей степени. Сократился ростовой период, и происходящие в нем процессы идут более интенсивно, чем раньше, особенно в дошкольном возрасте. Это относится и к переходному (пубертатному) возрасту, который теперь доставляет родителям и педагогам еще большие трудности, чем раньше.

Сроки полового созревания подростков сместились за 100 с лишним лет в более раннюю сторону, примерно на 2 года. Об этом свидетельствует не только изменение темпов роста размеров тела (в пубертатный период они возрастают), но и данные о развитии вторичных половых признаков — грудных желез у девочек, степени выраженности волос на лобке и в подмышечных впадинах у обоих полов, ломке голоса, развитии кадыка, усов, бороды, волос на груди у мальчиков. Особенно хорошо изучено изменение сроков первой менструации у девочек; по этому признаку сдвиг за 100 с лишним лет больше, чем по другим.

Мы изучали некоторые проявления акселерации полового созревания школьников за 40 лет, сравнивая собственные данные с аналогичными старыми материалами, собранными по такой же методике другими авторами. Наши данные о менструировании девочек г. Саратова в 1959 и 1969 г. (в каждом из этих двух обследований изучено половое созревание тысячи с лишним школьниц в возрасте от 8 до 17 лет, на каждую годичную возрастную

³ Более подробные данные о секулярном изменении антропометрических признаков от рождения до смерти смотри в статье: Соловьева В. С. Об ускорении полового созревания подростков. — «Вопросы антропологии», 1966, вып. 24.

группу приходилось более 100 человек) мы сопоставили с материалами 1929 г., собранными судебными медиками (возрастной состав и численность обследованных такие же).

В 1929 г. средний возраст начала менструирования школьников составлял 14 лет 7 мес, в 1959 г. — 13 лет 8 мес, в 1969 г. — 12 лет 11 мес.

Для характеристики сдвигов в половом созревании мальчиков мы сравнили наши данные о развитии волос на лобке у 2500 школьников, собранные в 1961—1962 гг. в Москве, с данными Л. Н. Заглухинской, относящимися к 1926 г.⁴ Средний возраст наличия волос на лобке (независимо от стадии их развития) у мальчиков в 1926 г. составил 14 лет, в 1961—1962 гг. — 13 лет 1 мес.

Акцелерация проявляется не только в соматическом развитии, но и в двигательной функции. Например, 15-летние московские подростки сейчас прыгают в длину с места на 19,8 см дальше, чем их сверстники в 1927 г., а подтягиваются в 1,5 раза больше, чем их ровесники в 1948 г.; результаты в прыжках в длину с места у 13-летних мальчиков в 1966—1967 гг. соответствуют результату 15—16-летних мальчиков в 1927 г.⁵ (Правда, эти сдвиги, по-видимому, связаны не только с акцелерацией, но частично и с повышением уровня школьной физкультуры, а также с усовершенствованием техники прыжка.) За последние десятилетия наблюдаются также сдвиги в силе сжатия кисти и в других показателях.

В результате акцелерации увеличилась и длина тела взрослых, например у молодых мужчин — в среднем на 10 см (отметим, что материалы по изменению размеров тела лиц мужского пола гораздо обширнее, чем женского, в связи с тем, что мужчин издавна обследовали при призыве на военную службу).

Вследствие сокращения ростового периода, окончательная длина тела теперь достигается в более молодом возрасте, чем раньше. В прошлом веке мужчины росли примерно до 26 лет, перед второй

мировой войной — до 21 года. А теперь девушки в среднем почти достигают окончательной длины тела в 16—17 лет, а юноши — в 18—19. Отсюда первоначально возникло опасение — не связано ли раннее созревание организма с ранним увяданием и с сокращением продолжительности жизни?

Начиная с Аристотеля и вплоть до начала XX в. считалось, что ускоренное половое созревание и раннее окончание роста влекут за собой преждевременную старость и укороченную жизнь. Но обратимся к статистике. Средние величины, полученные на основе массовых обследований населения в разных странах, показали, что, наряду с более ранним развитием организма детей и подростков, у взрослых позже наступает старость, дольше сохраняется работоспособность, выше фактическая продолжительность жизни, чем в прошлом веке. Например, климакс у женщин в конце прошлого — начале нашего века отмечался в среднем в 43—45 лет, а теперь он наступает в 48—50 лет. И продолжительность жизни женщины после наступления климакса сейчас на несколько лет больше, чем в прошлом веке.

Акцелерация проявляется в разных странах независимо от географического положения, климата, расы. Акцелерация охватывает население городов и сельской местности разного социального положения. Причем у представителей менее обеспеченных слоев акцелерация выражена сильнее, чем у более обеспеченных (это объясняется тем, что в капиталистических странах представители состоятельных слоев всегда были хорошо обеспечены, и в их жизни изменения к лучшему были не столь заметны, как у рабочего класса, жизненный уровень которого в прошлом веке был крайне низок).

ГИПОТЕЗЫ О ПРИЧИНАХ АКЦЕЛЕРАЦИИ

Существует много гипотез о причинах акцелерации. Предполагаемые причины можно разбить на две группы: внешнесредовые, действующие на каждое новое поколение в течение индивидуальной жизни человека, и эндогенные, связанные с изменением наследственности⁶.

⁴ Заглухинская Л. Н. Развитие наружных половых органов и вторичных половых признаков у мальчиков школьного возраста. — «Русский антропологический журнал», 1928, т. 16, вып. 3—4.

⁵ Арестов Ю. М. Акцелерация полового созревания и двигательная деятельность подростков. — «Теория и практика физической культуры», 1968, № 8.

⁶ Подробнее см.: Соловьева В. С. Обзор некоторых гипотез о причинах акцелерации. — «Вопросы антропологии», 1967, вып. 26.

Многие авторы, в том числе большинство советских, объясняют акселерацию общим коренным улучшением жизненных условий: повышением материального и культурного уровня жизни, включая улучшение питания; успехами медицины, в том числе борьбой с болезнями, широким распространением санитарно-гигиенических мероприятий, профилактических прививок и т. д. Все это, безусловно, отражается не только на ускоренном росте и развитии детей, но и на более позднем наступлении старости у взрослых и на других проявлениях вековой тенденции. Однако дело не только в улучшении условий жизни. Ведь у представителей хорошо обеспеченных слоев населения капиталистических стран изменения к лучшему не были очень значительными, поскольку был высок исходный уровень, но и у них наблюдается акселерация.

Остановимся на гипотезе, отводящей основную роль в акселерации питанию. Питание, несомненно, оказывает большое влияние на рассматриваемые процессы. В середине XX в. оно существенно отличается от того, какое было 100 лет назад. Это относится и к качеству, и к количеству пищи. В частности, в наше время сильно возросло потребление мяса, жиров, сахара. Питание изменилось и в связи с рациональным употреблением витаминов.

Однако имеется немало⁷ возражений против точки зрения, согласно которой изменение питания служит главной и единственной причиной акселерации. В разных странах акселерация продолжается и в последние 10 лет, несмотря на остающееся постоянным потребление животных белков. В Аргентине акселерация началась лишь в XX в., хотя и до этого (в связи с развитием скотоводства) потребление здесь мяса было довольно высоким. В Японии акселерация началась до того, как там коренным образом улучшилось питание. Состоятельные люди всегда обильно питались мясом, но и у них на протяжении десятилетий наблюдается увеличение средних размеров тела.

Увеличение размеров взрослых в первую очередь связано с ускоренным ростом детей дошкольного возраста; но теперешние взрослые, детство которых совпало с суровыми условиями военных лет и с недостаточным белковым питанием, тем не менее обнаруживают акселерацию. Есть сведения, что у нормальных грудных детей богатое белком питание ведет лишь к более сильному увеличению веса, но не длины тела. А что касается влияния ви-

таминов, то акселерация началась еще до «витаминовой эры». Во время второй мировой войны не наблюдалось выравнивания в физическом развитии городских и сельских детей, хотя в деревне питание было значительно лучше. Некоторые считают питание и жизненный уровень в целом не причиной, а лишь условием, способствующим проявлению генетически обусловленного потенциала роста. Этот потенциал проявляется при благоприятных внешних условиях.

Е. Кох — автор «гелиогенной» гипотезы — придает решающее значение влиянию витамина D, который дают детям в качестве противорахитического средства. Имеется в виду не только витамин D, содержащийся в рыбьем жире, но главным образом витамин, образующийся в организме под влиянием солнечного излучения, которое Кох считает стимулятором роста. Кох придает большое значение изменившемуся за последние несколько десятиков лет образу жизни, массовому развитию спорта и т. д.

Можно выдвинуть следующие возражения против указанной гипотезы. Сельские подростки созревают позже городских, хотя в деревне дети получают значительно большие дозы ультрафиолетовых лучей. К тому же акселерация в больших городах началась задолго до массового развития спорта. У народов горных стран испытывающих обильное ультрафиолетовое излучение, не отмечено более быстрого созревания, чем у народов, живущих на равнине. Наблюдения показывают, что избыточное количество ультрафиолетовых лучей даже тормозит созревание. Кох пытался доказать правильность своей гипотезы утверждением, что женщины южных стран созревают быстрее, чем на севере, где мало солнца. Но в последние десятилетия это ошибочное мнение опровергнуто. Большое количество научных данных из разных стран мира, из разных географических широт свидетельствует о том, что климат не оказывает значительно-го влияния на возраст полового созревания и при одинаковом жизненном уровне созревают в одни и те же сроки, например, эскимоски Аляски и девочки Нигерии⁷.

⁷ Соловьева В. С., Фетисов Г. В. Сравнительные данные по половому созреванию русских школьников Москвы и долган Таймыра. — «Вопросы антропологии», 1968, вып. 29.

Акцелерацию объясняют также комплексной травмой, наносимой организму через нервную систему современным городом (темп жизни, потоки света, скорость транспорта, шум, повседневное влияние радио, телевидения и т. д.). «Наэлектризованная» этими возбуждающими факторами нервная система вызывает более раннее соматическое развитие школьников. Однако эта гипотеза не объясняет увеличение веса новорожденных или различия в акцелерации по социальным слоям. Ведь влияние города одинаково на обеспеченных и на необеспеченных, а у последних акцелерация выражена гораздо значительнее.

Существуют еще многие другие гипотезы о причинах акцелерации, в том числе ее безуспешно пытались объяснить изменением климатических условий, влиянием радиоволн (хотя акцелерация наблюдалась задолго до строительства первых радиостанций и телецентров); влиянием радиации (а акцелерация началась намного раньше открытия атомной энергии) и т. д. и т. п.

Помимо изменения условий внешней среды, некоторые пытаются найти основную причину акцелерации в факторах наследственности. В эндогенных гипотезах акцентуируется внимание на увеличении числа браков между людьми, происходящими из отдаленных друг от друга мест. В таких случаях может наблюдаться явление, сходное с гетерозисом у растений и животных.

Известно, что при скрещивании особей (растений и животных), выращенных в различных условиях, у потомства нередко отмечаются более мощные рост и развитие, повышение плодовитости и т. п. Для человека это подтверждено на призывниках и детях. Так, согласно исследованию Ф. Нолда⁹, средняя длина тела призывников, родители которых происходили из одного и того же места, была 171,6 см. Если же родители происходили из мест, отдаленных на 50 км, призывники имели среднюю длину тела 173,9 см. Среди потомков от близких браков наблюдался меньший процент акцелерированных, чем у происходящих от отдаленных браков.

Смещение населения в XIX и особенно в XX в. происходит в мировом масштабе. В связи с индустриализацией возросла транспортная сеть, увеличилось

число переселений из одних пунктов в другие. Особенно интенсивно происходило смешение во время двух мировых войн. Исчезают расовые и религиозные препятствия при заключении браков. А смешение населения благоприятствует изменению наследственности. И все же это не единственная причина акцелерации, так как увеличение размеров тела у потомков от смешанных браков составляет лишь часть тех больших изменений, которые характеризуют акцелерацию в целом.

Подводя итог, подчеркнем, что пока ни одна гипотеза не может разрешить проблемы акцелерации в целом. На человека действует большой комплекс различных причин, биологических и социальных в их сложном взаимодействии. Больше других автору импонирует точка зрения ленинградского философа Т. В. Карсаевской⁹, которая предполагает, что причины акцелерации лежат в самом образе жизни, менявшемся в связи с развитием промышленности. Новые формы организации труда влекут за собой изменения в быте и культуре. Развитие индустриализации за последние полтора-два века привело в ряде стран к значительной перестройке образа жизни, нарушив устойчивый в течение сотен тысяч лет ритм жизни, связанный с временем суток и сезонами. Постепенно распространяется сидячий образ жизни, повышается интенсификация труда, растут эмоциональные напряжения, широко распространяется образование, прогрессирует наука, улучшается питание. Неизмеримо возрастает уровень смешения населения. Многие из этих перемен, вероятно, и привели к более раннему созреванию организма у подрастающего поколения, к более позднему старению лиц пожилого возраста, к большей продолжительности жизни.

О ВОЗМОЖНЫХ ПРЕДЕЛАХ АКЦЕЛЕРАЦИИ

Вопреки прогнозам о прекращении акцелерации в высокоразвитых странах, высказанным 10 и более лет назад, в большинстве стран она продолжается. Так, проиллюстрируем это данными по СССР. У русских мальчиков-школьников Караганды с 1964 по 1971 г. длина тела в разных возрастах увеличилась на 1,1—3,6 см, вес

⁸ Nold F. Körpergröße und Akzeleration.—*Wehrdienst und Gesundheit*, 1963, В. 8.

⁹ Карсаевская Т. В. Социальная и биологическая обусловленность изменений в физическом развитии человека. Л., 1970.

тела — на 0,3—3,5 кг, окружность груди — на 0,1—2,04 см, ширина плеч — на 0,5—1,5 см¹⁰. По данным В. Г. Властовского и Ю. А. Ямпольской¹¹, 8-летние московские дети в 1971 г. опередили своих ровесников 1960 г. на 5—6 мес по многим антропометрическим признакам. У московских школьников в середине 60-х годов средний возраст начала менструирования составлял 13 лет, а в середине 70-х годов — 12 лет 7 мес. Но с другой стороны, Ю. А. Ямпольская подсчитала, что темпы снижения среднего возраста начала менструирования составляют сейчас всего 0,7 мес в год, тогда как в середине 60-х годов этот показатель был равен 1,2 мес в год (в довоенные же годы он составлял 0,5 мес в год).

Наши собственные данные, полученные при обследовании школьников-грузинок Тбилиси в 1962 и 1975—1976 гг., тоже выявили продолжение акселерации в последние 10—15 лет. Развитие признаков полового созревания, в том числе начало менструирования, характеризуется теперь более ранними показателями. Средний возраст первой менструации сместился с 13 лет 1,5 мес в 1962 г. до 12 лет 5 мес в 1975—1976 гг. (средним мы считали возраст, в котором 50% обследованных девочек уже менструировали, а остальные 50% еще не имели менструаций).

Наряду со сведениями о продолжении акселерации в последние 10 лет, есть данные и о стабилизации этого процесса в экономически развитых странах.

Дж. М. Таннер¹² анализировал данные о возрасте начала менструирования в Европе за последние 20 лет (включая более дробные периоды). В ряде городов и стран этот показатель либо стабилизировался, либо продолжал снижаться.

Конечно, акселерация не может продолжаться беспрерывно. Это было отмечено, в частности, в тех странах (например в Скандинавских), где средняя длина тела взрослых мужчин приближается к 175 см;

здесь акселерация резко снизила свои темпы. По-видимому, интенсивность акселерации снижается со стабилизацией условий жизни, хотя эта интенсивность не всегда пропорциональна улучшению жизненного уровня. Но вряд ли дальнейшее увеличение средней длины тела мужчин превзойдет 178—180 см. Это верхняя граница установившейся на протяжении многих веков физиологической структурной нормы, совместимой с гармоническим (с точки зрения биомеханики) развитием частей тела¹³. Размеры тела человека, помимо всего прочего, рассчитаны на сопротивление силе тяжести Земли, поэтому их увеличению есть биологический предел. Такого же рода граница (в данном случае нижняя) есть и для средних сроков полового созревания.

АКСЕЛЕРАЦИЯ С ЭВОЛЮЦИОННОЙ ТОЧКИ ЗРЕНИЯ

Разбираемые в настоящей статье увеличение размеров тела человека и ускорение соматического развития не имеют отношения к его видовой биологической эволюции. В жизни современных людей прямое воздействие естественной среды на организм незначительно, поскольку развитие культуры образует постоянно крепнущий барьер между человеком и природой. Поэтому в человеческом обществе значение естественного отбора как фактора эволюции вида почти сведено к нулю. Но это затухание действия естественного отбора не означает, что люди совершенно перестали изменяться как биологические существа. Наш организм испытывает воздействие всего комплекса среды обитания в широком смысле слова, охватывающей не только природные условия, но главным образом социальную сферу с ее особыми закономерностями.

У человека современного типа наблюдались колеблющиеся микроэволюционные этапы, например, при переходах от брахицефалии к долихоцефалии¹⁴ и, на-

¹⁰ Зубов В. А. Материалы по акселерации школьников Караганды. — «Вопросы антропологии», 1974, вып. 46.

¹¹ Властовский В. Г., Ямпольская Ю. А. Об ускорении физического развития детей Москвы за последние 10 лет. — «Гигиена и санитария», 1974, № 2.

¹² Tanner J. M. Trend towards earlier menarche in London, Oslo, Copenhagen, the Netherlands and Hungary. — «Nature», 1973, v. 243, № 5402.

¹³ Бунак В. В. Об увеличении роста и ускорении полового созревания современной молодежи в свете советских соматологических исследований. — «Вопросы антропологии», 1968, вып. 28.

¹⁴ Брахицефалия — короткоголовость (форма головы, при которой процентное отношение наибольшей ширины головы к ее наибольшей длине составляет 81,0 и выше), долихоцефалия — длинноголовость (это отношение не превышает 75,9).

оборот, на протяжении нескольких последних столетий. Были и периоды увеличения размеров тела человека, но оно не было столь быстрым и интенсивным, как в последние 100—150 лет, т. е. в эпоху акцелерации.

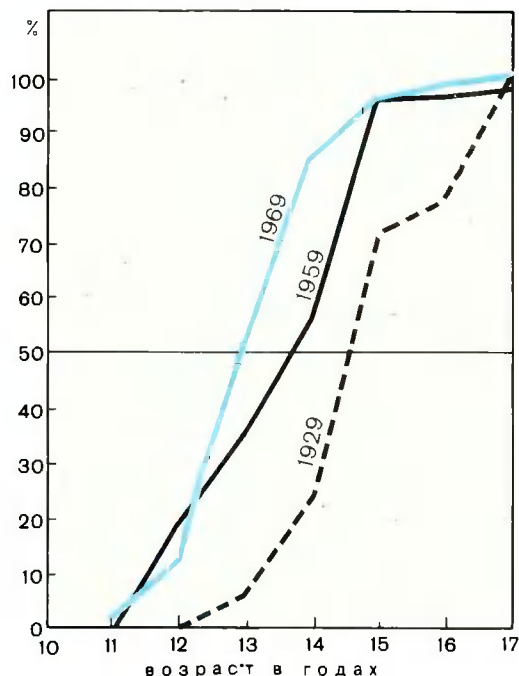
В некоторых случаях можно отметить параллельность хода изменений морфологических признаков человека и других млекопитающих, которая была изучена для голоцена¹⁵. У древнего мужского населения Украины в первой половине голоцена, в мезолите, была тенденция к увеличению массивности скелета, сопровождавшаяся увеличением длины тела. Процесс продолжался до IV тыс. до н. э.; достигнув максимума в неолите. В неолите же (5,5—6 тыс. лет назад) начался процесс постепенного уменьшения массивности скелета человека. Уменьшение шло вплоть до 1 тыс. н. э. Уменьшение массивности достигло максимума в начале средних веков, а со средних веков и до настоящего времени имеет место некоторое увеличение длины тела, прерываемое периодами стабильности. В последние же 100—150 лет идет интенсивная акцелерация размеров тела человека.

Аналогичные эпохальные изменения размеров скелета выявлены для животных. Так, проследили изменения размеров костей лося за последние 8 тыс. лет. Было по крайней мере два перелома векового хода изменений размеров лося: в IV тыс. до н. э. (максимальные размеры) и в средние века (минимальные размеры). Такие же изменения претерпели кабан, косуля, бобр, но у бурого медведя и лесной куницы динамика изменений была иной. Размеры тела одомашненного в Европе крупного рогатого скота уменьшались вплоть до средневековья, затем стали увеличиваться. Объем черепа домашней кошки был минимальным в средневековье. Таким образом, выявлена параллельность векового хода изменений морфологических признаков человека и некоторых животных в голоцене. Поэтому можно предположить, что на человека, а также на диких и домашних животных могут влиять какие-либо общие факторы,

П. В. Василик предполагает, что таким общим фактором является изменение интенсивности геомагнитного поля.

При сопоставлении кривых изменений размеров тела человека и животных на протяжении тысячелетий и кривой интенсивности геомагнитного поля обнаруживается, что когда эта интенсивность уменьшалась, рост и развитие организма ускорялись, увеличивались общие размеры тела, изменялись его пропорции.

Для подтверждения этой гипотезы нужно продолжить сбор материала, распространив его как на другие виды животных, так и на находки скелета человека из других географических областей.



Процент обследованных школьниц г. Саратова, уже имеющих менструации, по годичным возрастным группам. Графические линии, построенные по нашим данным 1959 и 1969 г., значительно сдвинуты в сторону более раннего возраста, по сравнению с линией 1929 г. В 1959 и 1969 г. первые случаи начала менструирования наблюдались уже с 11 лет, а в 1929 г. — лишь с 12 лет.

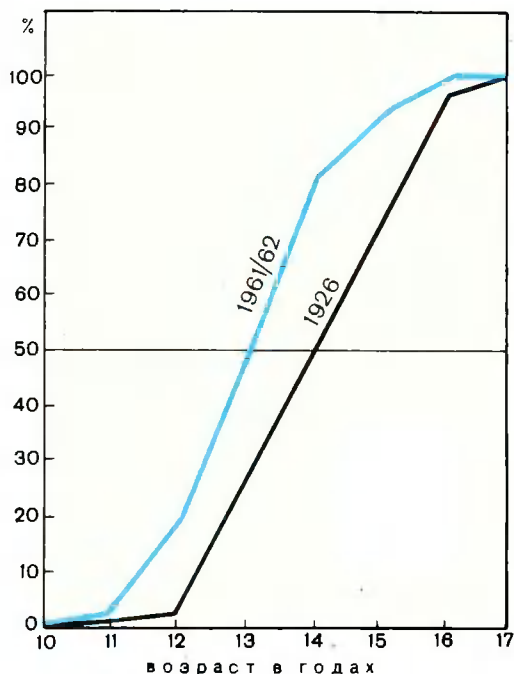
Изложенный аспект изучения вековых изменений размеров тела пока является скорее теоретическим. Иное положение в последние 100—150 лет. Ведь в течение коротких промежутков времени у человека социально-экономические причины резко тормозили акцелерацию. Так, в

¹⁵ Василик П. В. Параллельность векового хода изменений морфологических признаков человека и некоторых других млекопитающих в голоцене. — В сб.: Медицинская кибернетика. Киев, 1975.

годы мировых войн, а у детей безработных во время экономических кризисов, наблюдалась ретардация соматического развития (уменьшение средних размеров тела, запаздывание полового созревания и т. д.). Причем в странах, не затронутых войной, в это же самое время продолжалась акселерация.

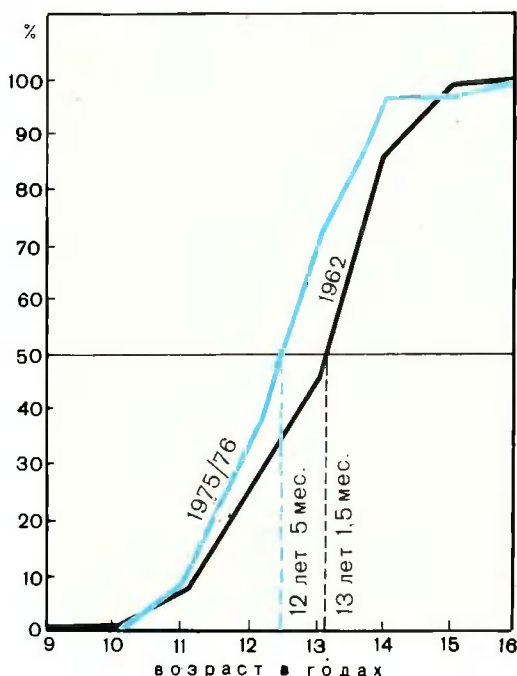
СЛЕДСТВИЯ АКЦЕЛЕРАЦИИ

В практической жизни все чаще возникают проблемы, являющиеся либо след-



Процент обследованных мальчиков г. Москвы, уже имеющих волосы на лобке, по годичным возрастным группам. Графическая линия, построенная по нашим данным 1961—1962 гг., для возрастов 12—15 лет смещена в более раннюю сторону примерно на год.

ность детей и молодежи усваивать очень большой объем информации), но оба эти процесса находятся в известном противоречии с духовным созреванием, с уровнем социальной зрелости современной молодежи, в чем не только не наблюдается акселерация, но имеет место даже ретардация, по сравнению с прошлыми периодами времени¹⁶. Хотя это признается как специалистами, так и многими родителями, изменения в умственном развитии и духовной зрелости пока не подтверждены цифрами в таком объеме, как



Процент обследованных школьниц-грузинок г. Тбилиси, уже имеющих менструации, по годичным возрастным группам. Графическая линия уже менструирующих девочек в 1975—1976 гг. сместилась в сторону более раннего возраста, по сравнению с показателями 1962 г. Средний возраст начала менструирования стал более ранним на 8,5 мес. [в 1975—1976 гг. — 12 лет 5 мес и в 1962 г. — 13 лет 1,5 мес.].

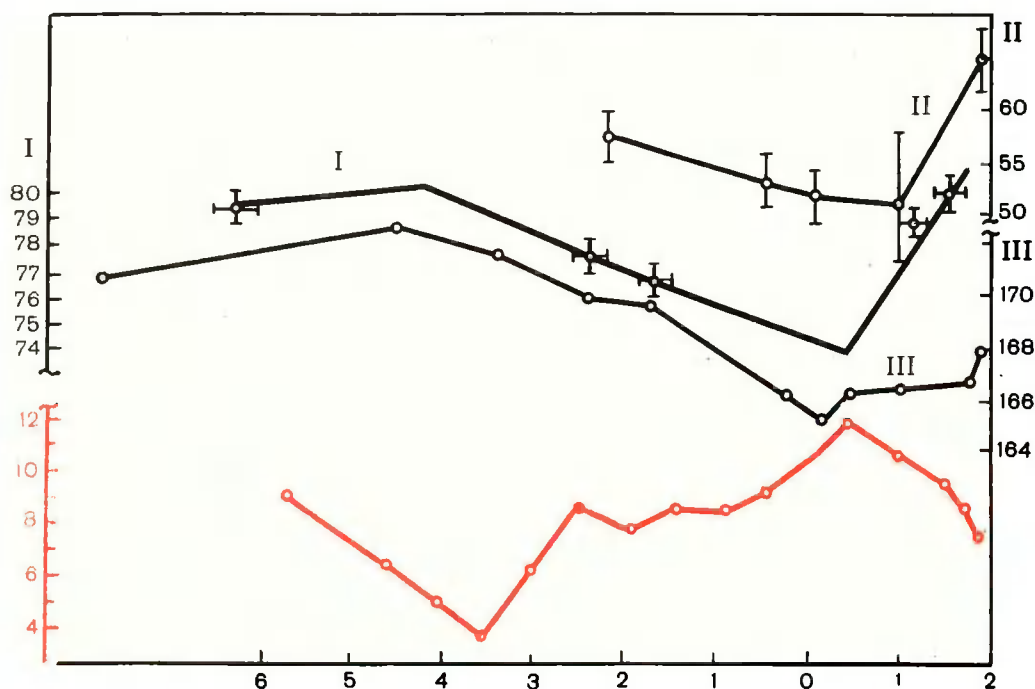
ствием акселерации, либо тесно с ней связанные и настойчиво требующие своего разрешения. Упомянем некоторые из них.

Параллельно акселерации соматического развития не наблюдается ускорение умственного развития (например, способ-

¹⁶ Костяшкин Э. Г. Актуальные проблемы воспитания подростков в современных условиях. Материалы симпозиумов (I. Особенности подросткового возраста. II. Формирование системных актов в онтогенезе). IX научная конференция по возрастной морфологии, физиологии и биохимии. М., 1969.

ускорение соматического развития. Разработанные психологами тесты не всегда совершенны и начали применяться сравнительно недавно. Но практика показывает, что в последние 20 лет наши подростки и молодежь нередко не обнаруживают того более зрелого отношения к жизни, к людям, к самостоятельному труду, какое было у их ровесников в прошлом. Причина этого — в бытовой, материальной обеспеченности, которую создают родители, поощряющие у детей, вследствие неправильного воспитания

(например, чрезмерной опеки), потребительское отношение к жизни. Так возникает трудовая и духовная инфантильность части подростков и молодежи. К этой проблеме близка и другая: углубление разрыва между наступлением половой зрелости и достижением необходимой самостоятельности для начала половой жизни. Недостаток жизненного опыта затрудняет у подростков и молодежи контроль за инстинктивным влечением, ослабляет критическую оценку обстановки, повышает возбудимость. Поэто-



Вековой ход изменения морфологических признаков человека и некоторых видов млекопитающих [по П. В. Василику]. III — изменение длины тела древнего и современного мужского населения Украины [см]; I — изменение наибольшей длины таранной кости лося [мм]; II — изменение дистальной ширины метакарпов домашней коровы [мм]. Цветом показано изменение магнитного момента Земли [магнитный момент Земли $\times 10^{25}$ ед. CGS].

В периоды повышения интенсивности магнитного поля Земли уменьшились общие размеры тела человека и некоторых других млекопитающих, при снижении же интенсивности магнитного поля размеры тела увеличивались.

му нередко конфликты между детьми и родителями, между учениками и педагогами. Работа воспитателей стала намного сложнее.

Разрыв между соматическим и духовным созреванием порождает, в частности, юридические следствия. В период между этими двумя границами нередко наблюдаются случаи преступности и антисоциального поведения. Так как задержать ускоренное соматическое развитие невозможно (негуманно было бы, например, лишать детей полноценного питания или заставлять их заниматься непосильной физической работой), то, в первую очередь, педагоги и родители должны изменить методы воспитания. К юри-

дическим следствиям относится и проблема изменения брачного возраста. Несмотря на более раннее соматическое развитие молодежи, целесообразно было бы не только не снижать установленный законом брачный возраст, но может быть, наоборот, повысить его, учитывая некоторое отставание в социальном и духовном созревании современных юношей и девушек. К этому следует добавить, что при внешнем физическом развитии может наблюдаться отставание в формировании тех или иных органов, систем, функций. Так, у 16—18-летних рожениц, не говоря уже о 14—15-летних, отмечен высокий процент различных осложнений беременности и пороков развития плода¹⁷.

О такого рода дисгармониях нельзя забывать и тогда, когда мы перечисляем положительные следствия акселерации: например, улучшение физического развития населения в результате повышения материального и культурного благосостояния, развития науки, широкого распространения научной пропаганды. Повышенные спортивные успехи можно отчасти объяснить акселерацией. Считают также, что такие опасные детские болезни, как скарлатина и дифтерия, стали теперь излечимыми и более легкими не только из-за достижений медицины, но и благодаря лучшей сопротивляемости организма.

Вернемся к отрицательным сторонам акселерации. У акселерированного подростка темпы роста окружности груди и поперечных размеров тела отстают от длины тела. По сравнению с интенсивным ростом длины тела, медленнее увеличиваются размеры сердца, мышцы и некоторые другие органы и ткани. Такая временная дисгармония всегда была свойственна организму подростков, но в связи с акселерацией она несколько углубляется. Это должны иметь в виду врачи, педагоги, спортивные тренеры.

Считают также, что акселерация внесла изменения не только в нормальную биологию человека, но и в патологию. Правда, эти изменения, может быть, и не связаны непосредственно с акселерацией, но идут параллельно с ней. Некоторые заболевания животных стали сейчас патогенными для людей (напри-

мер, орнитозы, туляремия, бруцеллез). Усилилась частота заболеваний центральной нервной системы (энцефалиты, менингиты), а также вегетативных неврозов и детских параличей. Широко распространился зубной кариес, нередко случаи слабости осанки, в более раннем возрасте появляются близорукость, ревматизм, малая хорея, диабет. Так что сейчас пока трудно вывести общую оценку акселерации, учитывая ее многообразные положительные и отрицательные стороны. Окончательный ответ даст будущее.

Следствия акселерации вторгаются в повседневную жизнь на каждом шагу. Например, увеличение длины тела необходимо учитывать при проектировании высоты потолков в жилых и производственных помещениях. Размерам тела современных людей должны соответствовать мебель и расположение пультов управления и даже размер ступеней лестниц, иначе окружающая человека обстановка может повлечь ухудшение субъективного самочувствия и снижение работоспособности.

Новые задачи встали также перед швейной и обувной промышленностью. Необходимо периодический пересмотр стандартов изделий массового пошива. Проблема акселерации во всех ее многообразных проявлениях, включая не выясненную до конца этиологию, ждет своего разрешения. Эта проблема может быть решена в результате совместных усилий специалистов различных областей знаний, в результате кропотливого анализа множества факторов, в том числе и характерных для современного общества.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Властовский В. Г. АКСЕЛЕРАЦИЯ РОСТА И РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ. МГУ, 1976.

Зельцлер А. ПРИЧИНЫ И ФОРМЫ ПРОЯВЛЕНИЯ УСКОРЕННОГО РОСТА ДЕТЕЙ (пер. с нем.). М., 1968.

Криворучко Т. С. ОСОБЕННОСТИ ФИЗИЧЕСКОГО РАЗВИТИЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ. Кишинев, 1976.

Соловьева В. С. ЗАКОНОМЕРНОСТИ РОСТА И ПОЛОВОГО СОЗРЕВАНИЯ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ.— В кн.: Морфология человека и животных. Антропология (итоги науки и техники ВИНТИ АН СССР), т. 6, М., 1974.

¹⁷ Самойличенко А. Н. Материалы к судебно-медицинскому определению половой зрелости лиц женского пола (анатомо-антропологическое исследование). Автореф. канд. дисс. Одесса, 1966.

Жизнь как один день

Ю. Г. Абов



Юрий Георгиевич Абов, доктор физико-математических наук, заведующий лабораторией Института теоретической и экспериментальной физики. Основные научные интересы лежат в области ядерной физики малых энергий. Автор монографии (совместно с А. Д. Гулько, П. А. Крупчицким): Поляризованные медленные нейтроны М., 1966. Лауреат Ленинской премии 1974 г.

Настоящие ученые составляют, как всегда, ничтожное меньшинство, однако внушительные успехи техники поставили этих людей на ключевые позиции в обществе...

Прогресс данной цивилизации осуществляется меньшинством человеческого коллектива, а именно теми, кто более одарен, любознателен, смел и кого не удовлетворяет существующее положение вещей.

Макс Борн. Моя жизнь и взгляды

Можно ли словами воссоздать образ человека, да еще так, чтобы читатель видел, ощущал его, чтобы этот человек вновь предстал перед нами? В памяти возникают картины минувшего, и эти картины — часть нашей собственной жизни, неотъемлемая часть нас самих. Но как рассказать об этом? Я не писатель, а только физик. Удастся ли?

Я познакомился с Абрамом Исааковичем Алихановым в 1947 г., когда студентом был направлен к нему на дипломную работу. Ему было тогда всего 43 года. Плотный, коренастый, властный... Сейчас мы часто удивляемся тому, что раньше во главе научно-исследовательских центров стояли молодые люди. А в этом, вероятно,

секрет успеха: энергичные, полные сил, талантливые ученые, они только и могут творить новое. Коллектив, возглавляемый тогда А. И. Алихановым, решал огромной сложности задачу: требовалось впервые в стране разработать и построить тяжеловодный реактор. Использовать чужой опыт было невозможно, поскольку все зарубежные сведения тщательно засекречивались.

Если бы у меня спросили, что я считаю самым крупным достижением Абрама Исааковича, я, не задумываясь, ответил бы: воспитание коллектива, который потом стали называть Институтом теоретической и экспериментальной физики, коллектива, за несколько лет разработавшего



А. И. Алиханов в своем рабочем кабинете. 1966 г.
Фото А. Я. Быкова.

и пустившего реактор, вслед за ним — циклотрон, а после циклотрона — протонный синхротрон. Сравнительно небольшой институт собрал специалистов самого разного профиля: по ядерной физике и физике элементарных частиц, масс-спектрометрии и физике твердого тела, физике и технике реакторов, а кроме того, химиков, математиков, высококвалифицированных инженеров, великолепных механиков и т. д. Все они жили одним коллекти-

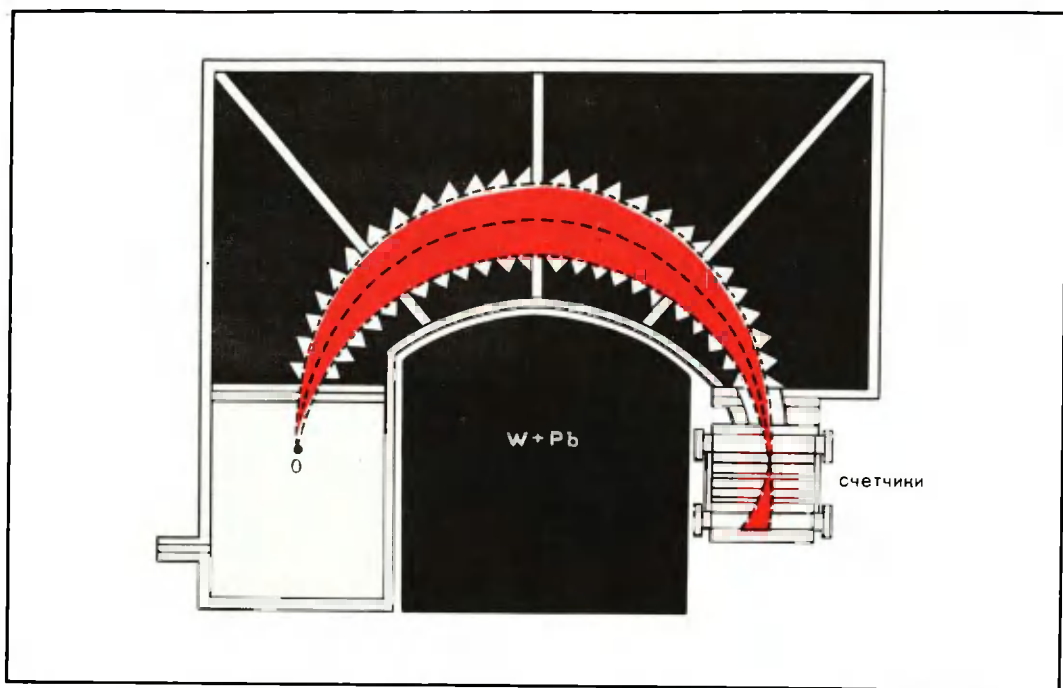
вом, их всех объединял широкий круг интересов самого директора. Обычно в больших институтах разные отделы или лаборатории фактически являются «государствами в государстве». Они не только не связаны, но часто мешают друг другу. Универсальность института, наоборот, позволяла А. И. Алиханову оперативно решать сложные задачи, быстро откликаться на любые новые идеи.

А. И. Алиханов родился в 1904 г. в Карсе¹. В 1928 г. он окончил физико-механический факультет Ленинградского политехнического института. Через один-

¹ Город Карс по Карсскому договору 1921 г. вошел в состав Турции.

надцать лет его избрали членом-корреспондентом АН СССР, а спустя четыре года он стал академиком. Уже первые научные работы Абрама Исааковича, выполненные в Ленинградском физико-техническом институте, отличались изяществом и выдумкой. Здесь нет возможности останавливаться на перечислении всего того, что сделал А. И. Алиханов. Настоящего признания он добился после открытия парной конверсии γ -квантов, завершения цикла работ по исследованию рассеяния релятивистских электронов и систематическому изучению

гии γ -квантов рождение пар становится основным процессом, определяющим поглощение γ -квантов веществом. Процесс рождения пар был тогда недавно открыт, что являлось безусловным триумфом релятивистской квантовой теории Дирака. А. И. Алиханов хотел исследовать энергетические спектры позитронов, возникавших в процессе параобразования или, как его тогда часто называли, процессе «материализации» γ -квантов. Исследование энергетических спектров позитронов и электронов А. И. Алиханов проводил на постро-



Магнитный спектрометр β -частиц А. И. Алиханова. В точке О помещен радиоактивный источник. Магнитное поле направлено нормально к рисунку. Зубцы в свинце служили ловушками рассеянного излучения. В них, кроме того, размещались алюминиевые диафрагмы, определявшие расходимость пучка. Окна в счетчиках и конструкция самих счетчиков были сделаны с тем расчетом, чтобы свести к минимуму число совпадений, вызванных вторичными электронами.

β -спектров ядер. Эти работы были начаты в 1933 г. и закончены перед войной.

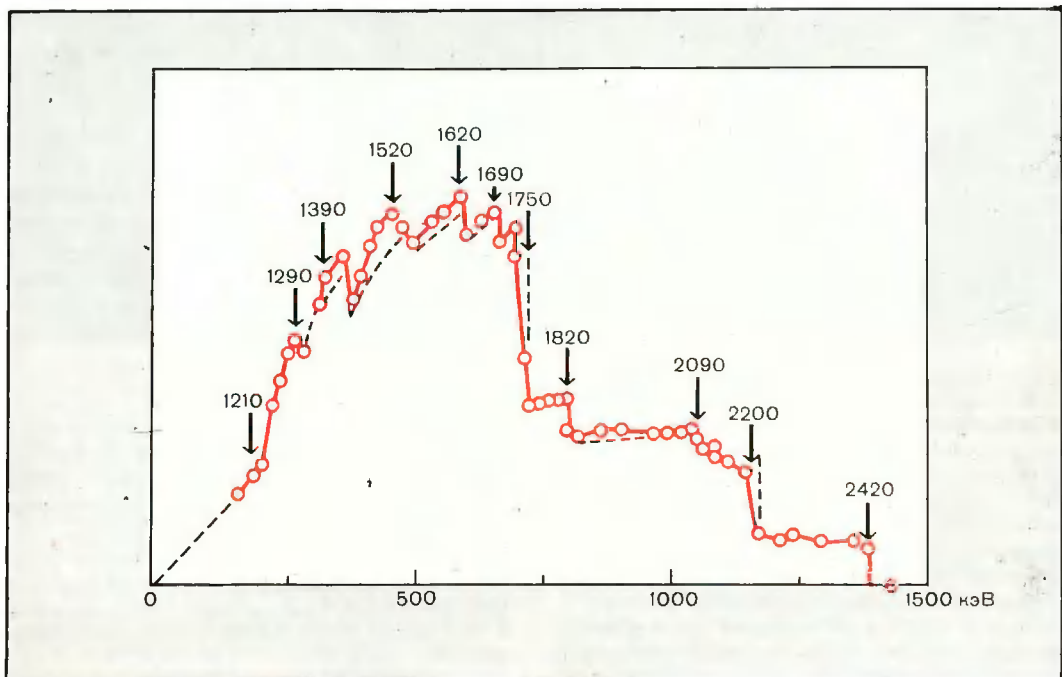
На открытии парной конверсии γ -квантов стоит остановиться подробнее. Было известно, что в кулоновском поле ядер γ -кванты могут рождать электрон-позитронные пары. С увеличением энер-

ею и усовершенствованном им самим магнитном спектрометре типа Даниша. Вместе с М. С. Козодаевым он разработал новый способ регистрации позитронов с помощью телескопа, состоявшего из двух счетчиков Гейгера — Мюллера. Раньше для регистрации электронов в магнитных спектрометрах использовали фотопластинки или один счетчик. Телескоп из двух счетчиков, включенных на совпадения и расположенных на некотором расстоянии друг от друга, позволил выделить определенное направление движения позитронов, соответствующее расчетной траектории движения позитронов в спектрометре. Направление это проходило в горизонтальной плоскости, что снижало фон космического излучения. Известная схема совпа-

дений России была усовершенствована М. С. Козодаевым. Новая схема совпадения вместе с оригинальной конструкцией телескопа сделала возможной регистрацию скорости счета до 10^4 имп/с, что было рекордом. Это позволило использовать высокоактивные источники и в короткое время получать достаточную точность измерений. В процессе работы установка подвергалась непрерывной модернизации.

Работа была начата с исследования спектра позитронов, рождаемых в конверторе, в качестве которого использова-

ли пластинки свинца разной толщины. Но вскоре выяснилось, что часть позитронов рождается и без конвертора, т. е. выходит прямо из источника. Тщательные исследования, выполненные А. И. Алихановым с учениками, показали, что наблюдается новое явление: возбужденное ядро, вместо того чтобы испустить γ -квант, рождает электрон-позитронную пару. Ранее было известно, что энергия возбуждения ядра, без испускания γ -кванта, может передаваться электрону, находящемуся на атомной оболочке вблизи ядра. Это явление



Спектр позитронов RaC. По оси абсцисс отложена энергия позитронов, по оси ординат — числа отсчетов. Цветная кривая проведена по экспериментальным точкам. Пунктирная кривая — расчетная, построенная на основании теории Егера и Холма. Каждый обрыв на кривой соответствует γ -линии источника, энергия которой обозначена цифрой и вычислена по формуле $E_\gamma = E_{\text{пр}} + 2mc^2$.

Видно, что теория внутренней конверсии с образованием пар полностью согласуется с экспериментом. (Алиханов А. И. Избр. труды. М., 1975, с. 111).

называется внутренней конверсией γ -квантов. Релятивистская теория Дирака хорошо описывала явление внутренней конверсии γ -квантов. Электрон, принимающий на себя энергию возбуждения ядра — конверсионный электрон, вылетает из атома. Его кинетическая энергия оказывается равной разности энергии возбуждения ядра и энергии связи электрона в атоме. Передача энергии от ядра к электрону осуществляется посредством не реального, а виртуального, т. е. ненаблюдаемого γ -кванта. У виртуальных γ -квантов нарушено соотношение между энергией и импульсом, неизбежное для реальных γ -квантов: $E_\gamma = pc$, где E_γ — энергия, p — импульс γ -кванта, c — скорость света. Виртуальные γ -кванты существуют очень ко-



В. П. Джелепов, А. И. Алиханян, А. И. Алиханов, С. Я. Никитин, М. С. Козодаев, П. Е. Спивак [слева направо]. 1941 г.

Фото В. Т. Осипенкова.

роткое время и не могут уйти далеко от ядра. За это короткое время им разрешено нарушить законы сохранения энергии и импульса. Их существование допускается квантово-механическим соотношением неопределенности: $\Delta E \Delta t \geq \hbar$, где ΔE — неопределенность энергии γ -кванта, Δt — время его существования, $\hbar$ — постоянная Планка, деленная на 2π . Если Δt очень мало, то отсюда следует, что ΔE может быть очень большим. Существование конверсионных электронов было хорошо известно. Но в данном случае требовалось предположить, что имеет место внутренняя конверсия γ -квантов с рождением электрон-позитронной пары. Иными словами, энергия возбуждения ядра непосредственно превращается в пару электрон-позитрон. Процесс этот, как и вышеописанный процесс образования конверсионных электронов, требует испускания ядром виртуального γ -кванта. Такой квант в кулоновском поле «материнского» ядра, аналогично процессу обычного образования пары с участием реальных γ -квантов,

рождает электрон-позитронную пару. Электрон и позитрон при этом являются реальными и могут быть зарегистрированы приборами. Поскольку на рождение электрон-позитронной пары нужно затратить энергию, соответствующую удвоенной массе покоя электрона, т. е. $2mc^2$, где m — масса электрона, постольку максимально возможная кинетическая энергия позитрона будет равна $E - 2mc^2$, где E — энергия возбуждения ядра. Поскольку атомное ядро обладает дискретным спектром возбужденных состояний E_i ($i=1, 2, \dots, N$), в спектре позитронов должны и развиваться нерегулярности, соответствующие этим энергиям. А. И. Алиханов и его сотрудники детально изучили это явление. В спектре позитронов были обнаружены скачки при значениях энергий $E - 2mc^2$, где E_i — энергии, соответствующие различным энергетическим уровням γ -активного ядра. Величина скачка определяется выходом позитронов. Экспериментальные данные оказались в полном соответствии с расчетом, выполненным на основании теории, развитой Егером и Холмом (1935). Следовательно, можно было утверждать, что действительно открыто явление парной конверсии γ -квантов. Парная конверсия является сейчас эффективным средством ядерной спектроскопии. Успех работы был обусловлен разработ-

кой новой методики, оказавшей большое влияние на развитие отечественной ядерной спектроскопии и электроники, используемой в ядерной физике.

Война прервала интересное исследование А. И. Алиханова. Он пытался обнаружить отдачу ядра ${}^7\text{Li}$ за счет испускания ядром ${}^7\text{Be}$ нейтрино при захвате орбитальных электронов.

В 1943 г. в СССР начались работы по овладению атомной энергией. С самого начала А. И. Алиханов принимал в них участие. В декабре 1945 г. был подписан приказ об образовании научного центра, который теперь называется Институтом теоретической и экспериментальной физики (ИТЭФ). Я уже говорил о том, для чего он был создан. Фактически институт как научный центр начал работать в 1946 г., а в 1949 г. состоялся пуск первого в стране тяжеловодного реактора! Вот где оказался яркий талант А. И. Алиханова как крупного ученого-организатора. Он не только умело подбирал людей, но и создал в институте удивительную творческую атмосферу. Для решения задачи нужны были не только талантливые и смелые экспериментаторы, но и сильные, действительно крупные теоретики. Теоретическую лабораторию возглавил тогда еще молодой И. Я. Померанчук. С самого начала к работе в институте в качестве сотрудника был привлечен близкий друг А. И. Алиханова Л. Д. Ландау. Вокруг этих двух крупнейших физиков-теоретиков быстро образовалась группа талантливейшей молодежи. Так в ИТЭФ была создана одна из самых сильных не только в стране, но и в мире теоретических лабораторий. Мы и сейчас можем гордиться своими теоретиками.

Хотелось бы несколько слов сказать об атмосфере, царившей в институте в первые годы его существования. Прежде всего нужно подчеркнуть, что самому старшему сотруднику — директору А. И. Алиханову не было пятидесяти лет. Это был молодой, задорный и дружный коллектив. Утро начиналось с директорского обхода. А. И. Алиханов заходил во все лаборатории и на местах выяснял, что сделано за минувший день. Каждую среду в 11 часов в кабинете директора проводился семинар, где обсуждались все актуальные проблемы ядерной физики и физики элементарных частиц (тогда — космических лучей). Пропускать семинары не разрешалось. Директор строго следил за посещаемостью. На семинаре докладчика перебивали (традиция сохранилась) и разрешались любые высказывания.

В библиотеке можно было взять с полки любую книгу или журнал, оставив на полке деревянную закладку со своим шифром, по которому вас могли найти в случае надобности. В библиотечном зале стояло пианино, которое иногда звучало по вечерам: кто-то устраивал «музыкальный антракт». Всех теоретиков независимо от возраста называли по имени и отчеству. Этот стиль, заведенный И. Я. Померанчуком, сохранился до сих пор. Молодых экспериментаторов старшие называли просто по имени. Эта традиция также жива. Работали допоздна. По вечерам директор заходил «на огонек». Тут часто возникали беседы на самые разнообразные темы. Чтобы подбодрить сотрудников, отвлечь их немного, Абрам Исаакович рассказывал всякие истории из своей жизни. Мне долго не удавалось запустить немецкий мультифлекс. Правда, от этого гальванометра мне досталась только разбитая деревянная коробочка и стекла от бывших зеркал. А. И. Алиханов рассказывал, как будучи студентом, а я тогда тоже был студентом-дипломником, он подрабатывал, вставляя нити в зеркальные гальванометры. Я до сих пор помню эти вечера.

Для души, кроме аппаратуры по управлению реактором, сотрудники института делали установки для работы на Алагезе², где находилась экспедиция по исследованию космических лучей. Не хватало приборов, не было радиодеталей. Нам выручали друзья из Института физических проблем АН СССР. У них еще оставались детали, вывезенные Петром Леонидовичем Капицей из Англии. Мы их получали, само собою разумеется, без ведома директоров. Директора дружили, дружили и их сотрудники. Сильно уважали. Но без смеха и шуток не обходилось. Первое апреля зря не пропадало. Кое-кто уж очень здорово копировал по телефону голос директора, а директора не только уважали, но и боялись!

Институт был небольшим. Но до сих пор вызывает удивление, каким образом один человек работал и за канцелярию, и за военно-учетный стол, и за кассира, да еще доставлял железнодорожные билеты для командированных. Фамилию этого уникального человека нужно отметить: Колеватов (к сожалению я не помню его имени). Главный бухгалтер был один на два института: наш и институт П. Л. Ка-

² Гора Алагез (Арагац) расположена на северо-западе от Еревана.



На даче у А. И. Алиханова. Справа налево: Л. Д. Ландау, А. И. Алиханов, А. И. Алиханян, С. Я. Никитин. 1959 г.

Фото В. С. Кафтanova.

пицы. А отдел снабжения! Ведь П. Б. Хейфиц воспринимал как личное оскорбление разговор о том, что он что-то не может достать.

После пуска реактора, а вслед за тем и циклотрона началась пора измерения констант, необходимых для реакторостроения. Раскрыв сборник избранных трудов А. И. Алиханова, можно получить некоторое представление об этой работе. А. И. Алиханов до конца своих дней оставался главою и убежденным сторонником тяжеловодного реакторостроения в СССР. Тяжеловодный реактор ИТЭФ — подлинное детище А. И. Алиханова — долгое время оставался одним из лучших исследовательских реакторов в мире. Жизнь заставила А. И. Алиханова посвятить лучшие свои годы решению сложных научно-технических проблем. Его вклад в развитие нашей атомной промышленности и ядерной энергетики трудно переоценить. Два близких друга А. И. Алиханов и И. В. Курчатов, выбрав несколько различные пути,

дополняли друг друга, как это и полагается настоящим друзьям.

Решение сложных научно-технических проблем отнимало у Абрама Исааковича много времени и сил. Однако в душе он всегда оставался «чистым» ученым, так как по-настоящему его интересовали фундаментальные исследования: его увлекала философская глубина физики элементарных частиц. Ему было мало высокогорной экспедиции (ведь интенсивность космических лучей не может сравниться с интенсивностью пучков частиц, получаемых на ускорителях). Вот почему в ИТЭФ был построен первый в стране протонный синхротрон с жесткой фокусировкой на энергию 7 Гэв — модель Серпуховского ускорителя на 70 Гэв, проект которого также был разработан в ИТЭФе. На ускорителе начались исследования, программа которых была составлена под руководством А. И. Алиханова.

Огромное внимание А. И. Алиханов уделял новым методическим разработкам, характерным примером которых являются пузырьковые камеры. Стоило лишь появиться первому сообщению Д. Глезера о вскипании перегретой жидкости при прохождении через нее заряженных частиц, как А. И. Алиханов дает задание разрабатывать новый прибор для регистрации ионизирующих частиц, осно-

ванный на этом принципе. Пузырьковые камеры ИТЭФа были одними из первых таких приборов в мире.

В лаборатории А. И. Алиханова в 1953 г. был разработан многонитный пропорциональный счетчик, позволивший выполнять измерения ионизирующей способности заряженных частиц с высокой точностью, достаточной для идентификации частиц. Счетчик содержал 1000 рабочих нитей, сигналы с которых поступали на ламповые усилители и дискриминаторы. Этот счетчик является прообразом современных пропорциональных камер, содержащих десятки тысяч нитей. Но теперь существует микроэлектроника и электронно-вычислительные машины, работающие в линию с экспериментальными установками. Изобретателем таких камер считают Шерпака. Но Шерпак ссылается на работу ИТЭФа как основополагающую.

Обо всем рассказать невозможно. Но разве можно забыть, с каким энтузиазмом А. И. Алиханов откликнулся на открытие несохранения четности в β -распаде! Немедленно в ИТЭФе были осуществлены тончайшие измерения. Среди них — эксперименты группы А. И. Алиханова по измерению продольной поляризации электронов в β -распаде, а также работа по исследованию временной инвариантности при β -распаде RaE. Точность, с которой А. И. Алиханов и его коллеги установили инвариантность процесса β -распада относительно обращения времени (независимость процесса от направления времени), была превзойдена лишь сравнительно недавно.

А. И. Алиханов жил в науке и для науки. Его интересовала природа вещей, сущность мироздания, а поэтому его научное любопытство не ограничивалось только физикой. Его занимало все человеческое знание. Он понимал, что лишь так можно получить правильное представление об окружающем мире. Абрам Исаакович увлекался биологией, историей, археологией, любил, понимал и ценил искусство: литературу, живопись, музыку. Среди его друзей были не только Л. Д. Ландау, П. Л. Капица, Л. А. Арцимович и другие физики, но и Мартинос Сарьян и армянский поэт Аветик Исаакян. Абрам Исаакович был очень эмоционален и не умел скрывать своих чувств. Он не мог думать одно, а говорить другое. Это была цельная натура, у которой не возникало разлада с собственной совестью. В его доме были приняты лишь те люди, которых он глубоко уважал.

А. И. Алиханов хорошо понимал роль науки в современном обществе. Он писал об индустриализации современных физических лабораторий: они требуют сейчас огромных капиталовложений. В самом деле, современная экспериментальная установка, предназначенная для исследования взаимодействий элементарных частиц, представляет собой крупное инженерное сооружение, включающее мощные электромагниты, системы искровых камер, многонитных пропорциональных счетчиков, сцинтилляционных счетчиков, счетчиков Черенкова и т. д. «В линию» с такой установкой работает электронно-вычислительная машина. Все это «хозяйство» стоит огромных средств, потребляет большие мощности электроэнергии, требует многочисленного обслуживающего персонала. В свою очередь, А. И. Алиханов как ученый, как руководитель крупного научно-исследовательского центра сознавал свою ответственность перед государством и не ограничивался ролью кабинетного ученого. Его все интересовало — и наука, и общественная жизнь. Он являлся депутатом Моссовета и принимал всех, кто обращался к нему за помощью, а если обещал помочь, то помогал. Его выступления на собраниях всегда были деловыми, содержательными.

Глубоко понимая неразрывную связь, единство всей человеческой культуры, он выступал в период известной дискуссии о «физиках и лириках» с заявлениями о бесплодности попыток оторвать науку от искусства. Будучи настоящим ученым он, как никто другой, понимал, что наука никогда не была и не может быть сухой и бездушной. Искусство более всего близко и дорого тем, кто творит, создает, мыслит.

Заслуги А. И. Алиханова получили высокую оценку. Он был удостоен высшей награды — звания Героя Социалистического Труда, кроме того, награжден двумя орденами Ленина, орденом Трудового Красного Знамени, медалями и трижды удостоивался звания лауреата Государственной премии (1941, 1948, 1953).

Абрам Исаакович обладал незаурядным здоровьем. Но болезнь его не пощадила. Первый удар случился в 1964 г. В декабре 1970 г. его не стало.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

А. И. Алиханов. ИЗБР. ТРУДЫ. М., 1975.

Тектоническая асимметрия Земли и других планет

Ю. М. Пушаровский, В. В. Козлов,

Е. Д. Сулиди-Кондратьев

В самых различных отраслях естествознания сейчас широко используется учение о симметрии как метод познания фундаментальных закономерностей в строении и эволюции материи на всех уровнях ее организации — от физических полей и элементарных частиц до Вселенной в целом. Развитие учения о симметрии, асимметрии и диссимметрии (расстроенная симметрия) связано прежде всего с именами Е. С. Федорова, П. Кюри, В. И. Вернадского, А. В. Шубникова. Нас будет интересовать приложение этого учения к решению глобальных тектонических проблем. В той или иной мере этим уже занимались Н. С. Шатский, Н. П. Херасков, Ю. М. Пушаровский и другие авторы.

В структуре верхних оболочек Земли отчетливо проявлены признаки симметрии и асимметрии, которые требуют своего объяснения при обосновании тех или иных геодинамических моделей. Поэтому можно говорить о тектонической симметрии и асимметрии как о важных свойствах внешних геосфер, подверженных тектоническим деформациям. Характерные примеры тектонической симметрии — срединно-океанические хребты (или их фрагменты), рифтовые структуры, некоторые геосинклинально-складчатые зоны. Но в глобальном аспекте Земля тектонически асимметрична. Эту асимметрию придает ей Тихий океан, занимающий на планете огромную площадь. Соответственно, оправдано выделять на Земле два сегмента: Тихоокеанский и противоположный ему Атлантический, названный так Н. С. Шатским. Возникает естественный вопрос: в чем же причина глобальной тектонической асимметрии Земли и как эта главнейшая особенность в строении земного шара увязывается с существующими геотектоническими концепциями и с новейшими данными о строении других планет земной группы и Луны?

Ответить на этот вопрос, как и на

любой другой, касающийся кардинальных проблем тектоники, очень сложно. Все же мы попытаемся предложить некоторую гипотезу, которая, как нам кажется, опирается на надежные факты. Однако прежде следует рассмотреть основные черты глобальной тектоники планет земной группы и Луны с позиций учения о симметрии.

ТЕКТОНИЧЕСКАЯ АСИММЕТРИЯ ЗЕМЛИ И ЛУНЫ

Глобальная асимметрия Земли обнаруживается при рассмотрении ее в географическом, океанографическом и тектоническом аспектах. На поверхности Земли отчетливо обособляется Тихоокеанская планетарная депрессия со средней глубиной около 4 км, занимающая примерно 1/3 ее общей площади. Она обрамлена гирляндами островных дуг и горными складчатыми системами окраин континентов. Далее в глубь континентов располагаются платформенные области с древнейшим (докембрийским) гранитно-метаморфическим фундаментом. С океанографических позиций могут быть вполне отчетливо выделены материковое и океаническое полушария. При этом площадь акватории Тихого океана составляет около 180 млн км², или половину площади всего Мирового океана. В тектоническом аспекте дно Тихого океана — это прежде всего огромная часть планеты, лишенная так называемого «гранитного» слоя. Под дном Индийского океана и Атлантики также нет «гранитного» слоя (за исключением сравнительно небольших участков — микроконтинентов), но площадь безгранитной коры здесь, даже суммарно, значительно меньше.

Важная особенность Тихоокеанской области — отсутствие признаков раздвигания (дрейфа) окружающих ее материков, как это имеет место, например, на юге Атлантики или в случае Австралии и Антар-



Юрий Михайлович Пушаровский, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией тектоники приокеанических зон в Геологическом институте АН СССР. Специалист в области региональной геологии и тектоники. Автор ряда тектонических карт крупных регионов земного шара, нескольких монографий, в том числе: Введение в тектонику Тихоокеанского сегмента Земли (М., 1972), а также многих статей в журнале «Природа». Лауреат Государственной премии СССР. Заместитель главного редактора журнала «Природа».



Владимир Викторович Козлов, кандидат геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией Государственного центра «Природа» Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР. Занимается региональной геологией, тектоникой, сравнительной планетологией. Автор многих статей в журнале «Природа».

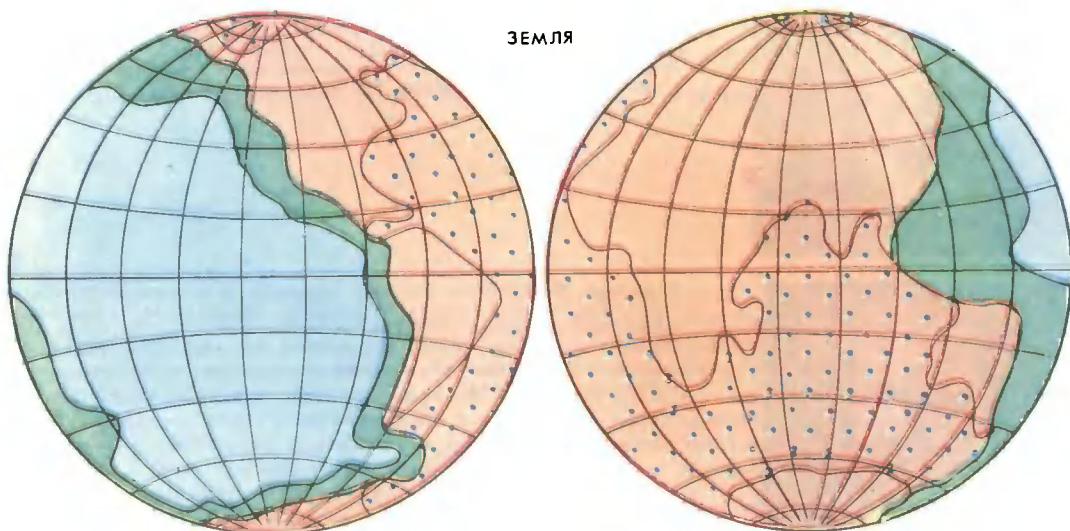


Евгений Дмитриевич Сулиди-Кондратьев, кандидат геолого-минералогических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательской лаборатории геологии зарубежных стран Министерства геологии СССР. Занимается тектоникой, региональной геологией, сравнительной планетологией. Неоднократно печатался в «Природе».

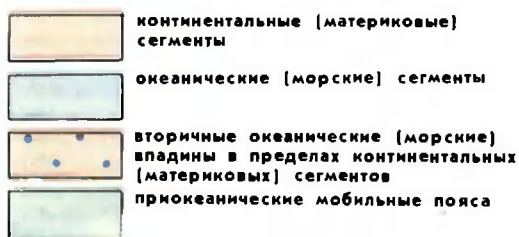
китиды. Восточная и западная окраины Тихого океана построены по-разному, что ясно видно на любом глобусе. Поэтому никогда и не делалось попыток сблизить и объединять в одно целое материи этих окраин. В центральных частях Тихого океана нет микроконтинентов и вообще никаких признаков существования здесь в геологическом прошлом континентальных структур. Хотя необходимо отметить, что земная кора в этих районах сильно изменчива как по характеру и полноте разреза, так и по толщине. Последняя колеблется от нескольких километров до первых десятков километров и по своим значениям может сопоставляться с толщиной земной коры континентов. Этот факт иногда вызы-

вает у геологов чувство «замешательства», но в свете новейших идей о тектоническом скупивании пластин океанической коры в результате их горизонтальных движений он не столь удивителен. Процесс структурного развития коры океанического типа оказывается значительно более сложным, чем он представлялся еще совсем недавно, и выражается как в созидании структурных форм, так и в их разрушении (деструкции). Участки океанической коры могут испытывать сжатие и растяжение и при этом возникают различные тектонические деформации. В совокупности все эти явления составляют сущность тектонического саморазвития океанической коры. Поскольку срывы и движения в тектоносфере про-

ЗЕМЛЯ



Глобальные тектонические элементы Земли. Схемы планетных тел на других рисунках составлены в той же картографической проекции.



исходят на разных уровнях, то и размеры движущихся пластин и блоков существенно различны.

Отсюда читатель может видеть отличие наших представлений от динамической модели «тектоники плит», разработанной американскими геофизиками, согласно которой гигантские литосферные плиты, а их по этой концепции всего шесть на Земле, движутся по нижележащему слою пониженной вязкости, называемому астеносферой. Вообще развиваемые ниже взгляды не согласуются с упомянутой концепцией.

Теперь несколько слов об обрамлении Тихоокеанской впадины. Это обрамление давно уже понимается как Тихоокеан-

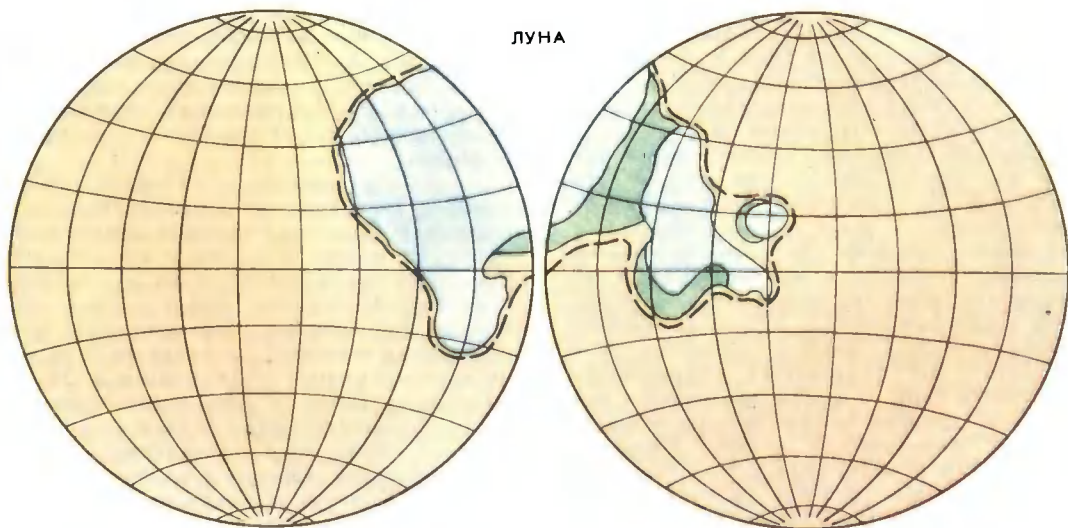
ский круговой тектонический пояс. В американской литературе он называется Circum-Pacific belt. Характерную особенность пояса составляет естественная структурная связь его крупных элементов друг с другом. Получается тектоническое кольцо, смыкающее Азию и Северную Америку, с одной стороны, и Австралию, Антарктиду и Южную Америку — с другой.

Интересно, что многие континентальные окраины Тихоокеанской области были приокеаническими зонами уже по крайней мере миллиард лет тому назад. Это относится к Кордильерам Северной Америки, Восточной Австралии, Юго-Восточному Китаю. Сихотэ-Алинь был хорошо развитой зоной островных дуг и краевых морей в среднем палеозое. Геосинклинальная приокеаническая зона в пределах Анд Южной Америки устанавливается для мезозоя. Любопытен и другой факт. Оказывается, что в геосинклинально-складчатых областях Тихоокеанского пояса происходит омоложение времени тектогенеза от внутренних его частей к краю океана.

Все это вместе создает впечатление об устойчивости во времени и в пространстве Тихоокеанского подвижного пояса. Но вопрос оказывается более сложным.

Действительно, на периферии ог-

ЛУНА



Глобальные тектонические элементы Луны. У Луны «морской» сегмент выражен группой сближенных морских впадин, а «периморский» пояс проявлен фрагментарно. Эти тектонические элементы оконтурены пунктирной линией.

ромной океанической впадины естественно ожидать постоянного проявления высокоактивных тектонических, магматических, сейсмических и седиментационных процессов, подобных современным. Они, конечно, и происходили. Но расшифровать их для геологического прошлого удается не всегда. Основная причина — дрейф континентов. Ныне существует много данных о дрейфе Австралии и Южной Америки на большое расстояние. Вероятно, происходило и движение Северной Америки в сторону Тихого океана. Время этих перемещений несколько различно, однако в основном оно укладывается в рамки мезозойской эры, захватывая, возможно, даже ранний кайнозой. Соответственно, современный структурный план Тихоокеанского кругового пояса скомпоновался в это время. Все же для полукольца, расположенного в Северном полушарии, палеотектонические реконструкции возможны, пожалуй, вплоть до позднего докембрия. Тем самым выявляется древняя история полукольца и дополнительно подчеркивается

главная тектоническая асимметрия нашей планеты.

Итак, Земле свойственна глобальная структурная неоднородность. В ее пределах обособляется сегмент, включающий Тихий океан и обрамляющий его Тихоокеанский тектонический пояс, характеризующийся высокой степенью подвижности и проницаемости тектоносферы. И другой сегмент — где сосредоточены все древние платформы, геосинклинально-складчатые пояса, их разделяющие, и вторичные океаны. Из такого противопоставления следует, что обе эти части должны были развиваться различными путями чрезвычайно длительное время. Неожиданное подтверждение такому взгляду пришло в результате изучения Луны.

До того, как Луна была исследована с помощью автоматических межпланетных станций (АМС), существовала гипотеза о том, что на ее обратной стороне имеется Океан Антиподов — по аналогии с Океаном Бурь видимой стороны, а в целом Луна обладает билатеральной симметрией. Первые же снимки обратной стороны Луны показали, что естественный спутник Земли также асимметричен и разделяется на два различных по структуре сегмента. Полушарие, обращенное к Земле, характеризуется распространением лунных морей, тогда как на обратной стороне морей поч-

ти нет и там распространены лунные материи, поверхность которых усеяна кратерами с поперечником в десятки и сотни километров, на которые, в свою очередь, наложены более мелкие кратеры.

Впадины Океана Бурь и лунных морей сконцентрированы в северной части видимого полушария. Они образуют крупные депрессии, опущенные на 2—4 км относительно среднего уровня материков. Так же, как на Земле, они сложены базальтами. По периферии впадин развиты кордильеры в виде горных сооружений блокового строения. По гравиметрическим данным, основанным на траекторных измерениях искусственных спутников Луны, над впадинами лунных морей отмечаются высокие положительные аномалии силы тяжести, что объясняется сокращением мощности коры. В целом проявляется аналогия в строении впадин лунных морей и земных океанических впадин. Примечательно, что область впадин на Луне занимает примерно $\frac{1}{3}$ часть ее поверхности, что близко к соотношению Тихоокеанской области и Атлантического сегмента Земли. Сведения о радиологическом возрасте базальтов, выполняющих впадины Луны, показывают, что эти породы образовались примерно в интервале 4—3 млрд лет назад. Они, таким образом, моложе лунного «континентального» комплекса пород, сформированного около 4,6—4 млрд лет. Следовательно, на Луне глобальная тектоническая асимметрия возникла еще на ранних стадиях ее эволюции.

После получения первых фотографий обратной стороны Луны с помощью АМС «Луна-3» в 1959 г. были высказаны разные соображения о причинах асимметрии видимого и обратного полушарий естественного спутника Земли. Известный советский астроном А. А. Михайлов выступил с критикой ряда гипотез, объясняющих асимметрию Луны воздействием Земли. Суть тут в следующем.

В некоторых случаях Земля могла воздействовать своим притяжением на поток метеоритов, меняя его траекторию и как бы фокусируя такой поток в направлении видимого полушария Луны. С другой стороны, Земля должна была служить своего рода экраном, защищавшим Луну от метеоритной бомбардировки. В этом варианте преобразование видимой стороны Луны в результате ударов метеоритов было бы даже уменьшено. Однако расчеты показали, что подобное фокусирующее или экранирующее влияние Земли должно было проявляться при

очень редких вариантах траекторий метеоритов. Поэтому оно не могло быть определяющим фактором в создании глобальной асимметрии. К тому же эти два гравитационных эффекта противоположны по своему воздействию на поверхность Луны, так как при одном из них возрастает, а при другом несколько сокращается интенсивность метеоритной бомбардировки.

Эффект солнечных затмений, проявляющихся на видимой стороне Луны, несмотря на большие перепады температур, также не может быть причиной асимметрии. Наконец, в случае связи асимметрии с развитием системы Земля—Луна следовало бы ожидать симметричного расположения морского сегмента на Луне относительно центра обращенного к Земле полушария Луны. В действительности же здесь располагается так называемый Центральный перешеек с материковым строением, тогда как морские впадины смещены к северу. Поэтому асимметрию Луны нужно объяснять в первую очередь внутренними (эндогенными) причинами.

С другой стороны, в свое время пользовалась популярностью гипотеза В. Пиккеринга, которая объясняла происхождение Тихоокеанской впадины отрывом Луны. Позднейшие расчеты показали несостоятельность «гипотезы отрыва». Как будет рассказано ниже, глобальная асимметрия свойственна и другим планетам земной группы — Марсу и Меркурию, не имеющим крупных спутников типа Луны, что также свидетельствует против представлений о возможной связи асимметрии с развитием системы планеты и ее спутника.

Необходимо остановиться на приливном воздействии Земли. В прошлом, когда Земля и Луна могли быть сближены, приливное воздействие Земли должно было быть более значительным. Так, расчеты, выполненные Дж. Хартунгом (1976), показали, что при расстоянии Луны от Земли, составлявшем $\frac{1}{3}$ от современного, гравитационное воздействие на видимой стороне могло быть в 100 раз больше, чем на обратном полушарии Луны, а при сокращении расстояния до одной десятой эти различия возрастали в 10 тыс. раз. Таким образом, гравитационное воздействие Земли должно было способствовать созданию глобальной тектонической асимметрии с формированием морского сегмента именно на видимой стороне. Известно, что центр масс Луны смещен в сторону Земли примерно на

2 км относительно геометрического центра спутника.

Гравитационные и сейсмические данные показали латеральную неоднородность в строении коры и мантии Луны. Эта закономерность представляется весьма важной, поскольку для Луны с наибольшей определенностью устанавливается древность и, как полагают авторы, первичность возникновения глобальной тектонической асимметрии. В пределах морского сегмента в целом мощность коры сокращена до величины порядка 60 км, тогда как для обратной стороны Луны с материковым строением допускается толщина коры в 100—150 км. При этом мощность базальтового заполнения лунных морей оценивается величиной всего в несколько километров, что приближается к мощности слоя океанической коры на Земле, сложенного базальтами. В пределах морского сегмента Луны отмечены аномально высокие скорости продольных сейсмических волн, что следует объяснять, на наш взгляд, воздыманием кровли мантии, как это имеет место на Земле под океаническими впадинами. Такая модель для Луны не является пока строго доказанной, но заслуживает не меньшего внимания, чем представления о связи аномалий силы тяжести (масконов) лунных морей с подповерхностными дисковидными телами относительно плотного материала.

Для обоснования неоднородности в структуре Луны с выделением сегментов или блоков глобального масштаба важное значение имеют сведения о сейсмичности. Сейсмометры, установленные на поверхности Луны, зафиксировали большое число лунотрясений, вызванных разными причинами, в том числе приливных с очагами глубиной преимущественно 500—700 км, и тектонических, очаги которых располагаются на глубинах около 300 км¹. Показательна концентрация эпицентров лунотрясений в зонах сочленения материкового и морского сегментов. При этом континентальный блок в юго-восточной части видимой стороны Луны практически асейсмичен. Намечаемая аналогия с распределением глубокофокусных землетрясений на Земле, которые сконцентрированы в Тихоокеанском периокеаническом поясе, представляется вполне закономерной.

АСИММЕТРИЯ В СТРУКТУРЕ МАРСА И МЕРКУРИЯ

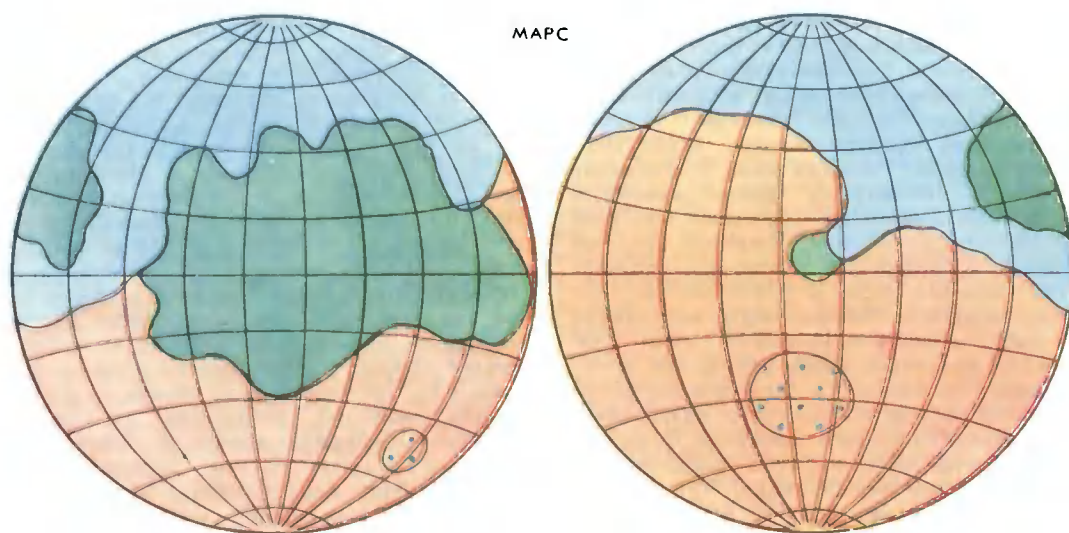
Телевизионные снимки Марса, полученные с помощью АМС, показали, что в его северном полушарии развита депрессия планетарного масштаба, тогда как южное полушарие образовано в основном материковыми областями. Следовательно, и на Марсе устанавливается глобальная тектоническая асимметрия с обособлением Бореального и Аустрального сегментов (по названиям на картах Марса Ваститас Бореалис и Толус Аустралис). «Морские» области отличаются выровненной поверхностью, расположенной в основном на 1—2 км ниже среднего уровня Марса, и малым количеством хорошо сохранившихся кратеров сравнительно небольшого размера, что позволяет относить их к наиболее молодой возрастной генерации. Местами в пределах впадин на сравнительно крупномасштабных телевизионных изображениях прослеживаются извилистые уступы, напоминающие ограничения лавовых покровов на лунных морях. В пределах морских областей Марса преобладают положительные аномалии гравитационного поля, свидетельствующие о сокращенной мощности коры. Время образования марсианских впадин в их современном виде не выяснено. Некоторыми авторами оно оценивается в 2—1 млрд лет.

Представления о возрасте океанических равнин Марса основываются на степени переработки их поверхности в результате метеоритной бомбардировки. Поэтому приходится говорить только о возрасте рельефа и времени формирования наиболее молодых вулканических покровов, заполняющих эти впадины. Сами впадины, отличающиеся от континентальных областей по строению коры, несомненно, заложились гораздо раньше на древних этапах становления коры.

Некоторые исследователи подвергают сомнению имеющиеся датировки возраста поверхности Марса на основе распределения кратеров. Например, в работе Г. Ньюкума и Д. У. Виса (1976) возраст вулканов Марса определяется в 3,8—3,4 млрд лет и только для самого молодого вулкана Олимп допускается возраст в 2,5 млрд лет. При таких расчетах, которые также далеко не бесспорны, время образования океанических впадин Марса оказывается близким к этапу формирования базальтового заполнения лунных морей.

Пока о составе горных пород Марса можно говорить только предположительно.

¹ Галкин И. Н. Природа лунотрясений.— «Природа», 1977, № 2.



Глобальные тектонические элементы Марса. У Марса «периокеанический» пояс проявлен в виде крупных фрагментов.

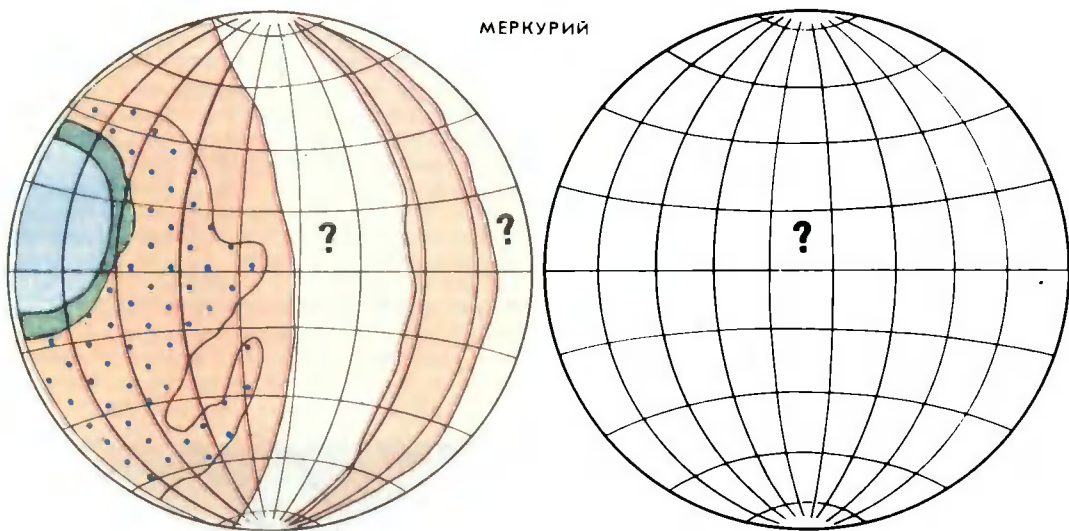
но. На снимках поверхности, полученных со спускаемых аппаратов станций «Викинг», видна каменистая пустыня с отдельными глыбами и песчаными наносами. Некоторые глыбы обнаруживают пузырчатое строение, напоминая земные вулканические лавы. В целом поверхность имеет красноватый оттенок. Состав пород определялся с помощью рентгенофлуоресцентных спектрометров. На основе полученных данных выполнено математическое и лабораторное моделирование. Предполагается, что реголит Марса в месте посадки состоит из железистых глин, возникших при разрушении изверженных пород типа базальта. Вместе с тем большая масса Марса, занимающего промежуточное положение между Луной и Меркурием, с одной стороны, и Землей — с другой в сочетании с длительностью и сложностью его тектоно-магматической эволюции, дают некоторые основания допускать для этой планеты более высокую степень дифференциации вещества, чем у Луны, с образованием в материковых областях

изверженных пород среднего состава, хотя бы и в небольших объемах.

Характерная особенность тектоники Марса — обособление экваториального пояса, занимающего промежуточное положение между Бореальным и Аустральным сегментами. В пределах этого пояса располагаются краевые вулканические плато, обширные сводовые поднятия с гигантскими щитовыми вулканами и рифтовая система Копрат. Краевые плато имеют неправильную форму, сглаженный рельеф, количество кратеров на них меньше, чем на континентах, и больше, чем на океанических равнинах, на фотографиях у них обычно очень темный тон. Приурочены краевые плато к различным гипсометрическим уровням, образуя своего рода ступени на краю «материков». Предполагается, что эти плато сложены вулканическими покровами, залегающими на «материковом» основании. По времени образования краевые плато близки к наиболее древним участкам «морских» впадин.

Сводово-вулканические поднятия Фарсида и Элисиум являются областями наиболее четко выраженных и относительно недавних тектонических деформаций. В пределах свода Фарсида отмечается большое число разрывных нарушений, ориентированных в целом радиально по

МЕРКУРИЙ



Глобальные тектонические элементы Меркурия. Знаком вопроса отмечены территории, для которых отсутствуют телевизионные изображения поверхности, полученные с помощью автоматических межпланетных станций.

отношению к этому поднятию. В центральной части свода сконцентрированы крупные щитовые вулканы и купола, аналогичные базальтовым вулканическим аппаратам, свойственным вулканам гавайского типа.

Экваториальная рифтовая система Копрат отчетливо прослеживается на 2500—2700 км, захватывая около 80° по дуге экватора. По особенностям строения и условиям возникновения экваториальная рифтовая система Марса обычно сопоставляется с континентальными рифтовыми системами Земли. Она расположена вдоль склона, сводово-вулканического поднятия Фарсида. В целом экваториальный пояс с проявлениями вулканизма и тектонических деформаций занимает промежуточное положение между «морским» и «материковым» сегментами, что позволяет сопоставлять его с Тихоокеанским поясом Земли.

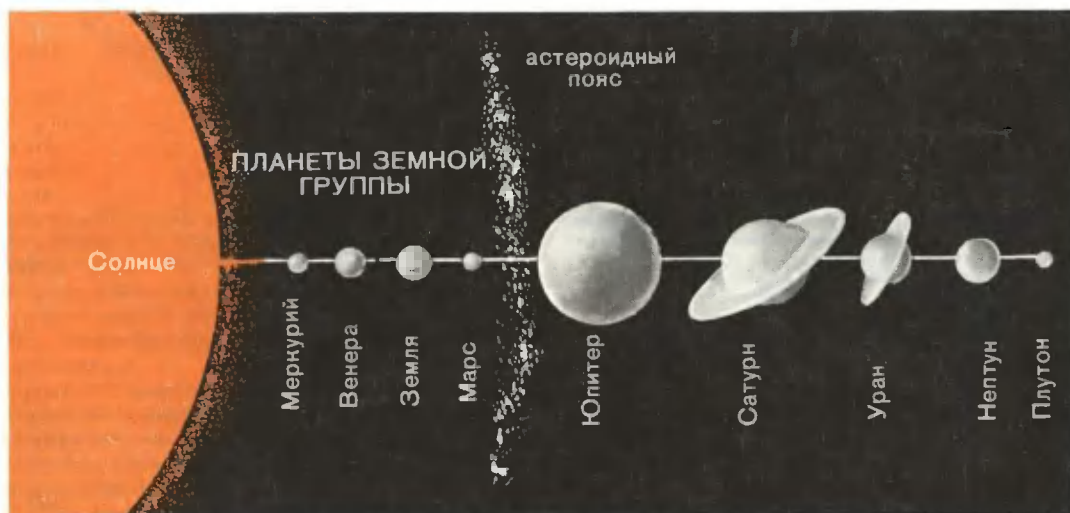
Что касается Меркурия, то в настоящее время снимки получены лишь на 40% его поверхности. Однако на них вполне определенно выявляются основные осо-

бенности его тектоники. Подобно Тихоокеанской впадине Земли и обширной депрессии Океана Бурь на Луне, здесь также выделяется депрессия планетарного порядка — впадина Калорис (Море Жары). Ее диаметр 1300 км. Она обладает радиально-концентрическим строением, подчеркнутым расположением трещин и гребней. Впадина Калорис сложена предположительно вулканическими породами. Местами здесь прослеживаются извилистой формы уступы, напоминающие ограничения лавовых покровов в лунных морях. В отличие от Земли и Луны, где высота фронтальных уступов обычно не превышает первых десятков метров, на Меркурии их высота достигает 200—500 м. Вероятно, впадина Калорис выполнена слабодифференцированными ультраосновными лавами, близкими по составу к мантийному веществу планеты.

Пр периферии впадины Калорис намечается серия концентрических поднятий, которые могут быть сопоставлены с лунными кордильерами и тектоническими сооружениями Тихоокеанского пояса Земли. Непосредственно к впадине примыкают сглаженные горные массивы высотой 1—2 км, разделенные пологими депрессиями. Впадина Калорис занимает, по нашим подсчетам, 1/3 поверхности Меркурия, т. е. соотношение океанических и

Характеристики планет земной группы

	Луна	Меркурий	Марс	Венера	Земля
Диаметр, тыс. км	3,476	4,880	6,787	12,104	12,756
Масса (масса Земли принята за 1)	0,01	0,05	0,11	0,81	1
Объем (объем Земли принят за 1)	0,02	0,06	0,15	0,88	1
Плотность, г/см ³	3,3	5,4	3,9	5,2	5,5
Расстояние от Солнца, в млн км	150	58	228	108	150



Относительное расположение планет Солнечной системы.

континентальных зон на Меркурии то же, что и на других упоминавшихся нами небесных телах.

ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ ЗАКОНОМЕРНОСТЬ В СТРОЕНИЕ ПЛАНЕТ ЗЕМНОЙ ГРУППЫ

Как можно было видеть, сравнительная тектоника и сравнительная планетология раскрывают весьма важную общую

закономерность в строении Земли, Луны, Марса и Меркурия — их структурную асимметрию. Она проявляется независимо от размеров, массы, плотности, расстояния от Солнца этих небесных тел. В приводимой здесь таблице указаны эти свойства (включая также Венеру²).

Поразительно, что тектоническая асимметрия планет выявляется всякий раз, как только удается получить о них достаточно полные морфологические и геологические данные. Таких данных еще нет в отношении Венеры и ряда других

² Head J., Wood C., Mutch T. Geologic evolution of the terrestrial planets. — «American Scientist», 1977, v. 55, Jan — Feb.

планет Солнечной системы, но в свете того, что мы теперь знаем, глобальную асимметрию можно предполагать и для них. По-видимому, это фундаментальная закономерность в отношении планет земной группы.

Рассматриваемые планеты и Луна находятся на разных стадиях эволюции. Земля с ее широко распространенным гранитно-метаморфическим слоем, огромными массами собственно гранитов, геосинклиналями и вторичными океанами с тектонической точки зрения находится на несравненно более высокой стадии развития, чем Марс, а тем более Меркурий и Луна. На Земле и сейчас происходят мощные тектонические процессы, приводящие к крупным структурным преобразованиям: появлению новых горных хребтов, глубоководных морей, развитию рифтовых зон и т. п. Что касается Марса, то он не активен и деформации и вулканизм закончились здесь сотни миллионов и, может быть, даже 1 млрд лет назад. Основные черты современной структуры Меркурия и Луны сформировались около 3 млрд лет назад. Луна давно уже рассматривается геологами как модель ранней стадии эволюции Земли. Но в таких условиях также существует глобальная тектоническая асимметрия. Это позволяет заключить, что асимметрия отражает первичную неоднородность в распределении вещества в верхних оболочках планет земной группы.

Глобальная структурная асимметрия — свойство, устойчивое во времени. Тем самым мы находим объяснение глобальному различию в развитии Атлантического и Тихоокеанского сегментов. Образование континентов, их раскалывание и дрейф, возникновение вторичных океанов и впадин с субокеанической корой — все это относится лишь к Атлантическому сегменту, обособленному еще при первичной дифференциации вещества. Кольцевой Тихоокеанский тектонический пояс представляет собой поверхностное выражение зоны разграничения обоих сегментов. В нем, как это и должно быть по логике вещей, происходят весьма сложные тектоно-магматические процессы, обусловленные глубинным взаимодействием на разных уровнях разнородных областей тектоносферы.



мы, занимающие примерно 1/3 их поверхности. Такое явление можно связать с некоторым дефицитом вещества, возникшим вследствие образования первозданных материков. Впоследствии этот дефицит компенсировался базальтовыми излияниями.

Древность лика Луны предоставляет исследователям большие возможности для изучения процессов становления первичной коры, той самой «лунной стадии», в которой Земля могла находиться около 4 млрд лет назад. Предполагается, что для образования материковой коры анортозитово-габбрового состава на Луне должна была проходить дифференциация первичного вещества с плавлением до глубин порядка 200—300 км. Можно допустить, что в это время имела место латеральная неоднородность процесса дифференциации, что согласуется с сокращением мощности коры в пределах морского сегмента. Вероятно, первичная неоднородность Луны и планетных тел земной группы связана с участием в процессе аккреции крупных масс типа планетезималей.

На пути дальнейшего исследования глобальной структурной асимметрии и неоднородности планет земной группы нас несомненно ждут интересные решения кардинальных проблем структуры и эволюции литосферы Земли.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Козлов В. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. ТЕКТОНИКА ЛУНЫ. Объяснительная записка к Тектонической карте Луны масштаба 1:7 500 000. М., 1969.

Козлов В. В., Сулиди-Кондратьев Е. Д. ТЕКТОНИКА МЕРКУРИЯ. — «Природа», 1977, № 5.

НОВОЕ О МАРСЕ. Сб. статей. М., 1974.

Пушаровский Ю. М. ВВЕДЕНИЕ В ТЕКТОНИКУ ТИХООКЕАНСКОГО СЕГМЕНТА ЗЕМЛИ. — «Труды ГИН», вып. 234. М., 1972.

ВОПРОСЫ ПЛАНЕТАРНОГО ТЕКТОГЕНЕЗА. I. М., 1977.

Итак, на ранних стадиях формирования литосферы упомянутых здесь планет возникали огромные депрессионные фор-

Девиз «Диолефин»

История получения синтетического каучука

В. А. Волков



Владимир Акимович Волков, кандидат исторических наук, ученый секретарь Института истории естествознания и техники АН СССР. Работает в области истории химии. Монографии: В. И. Ленин и развитие химической промышленности СССР. М., 1975; Григорий Семенович Петров. М., 1971 и др. Неоднократно печатался в «Природе».

Когда на Западе появились первые сообщения о получении в СССР синтетического каучука, великий американский изобретатель Томас Альва Эдисон сделал два, получившие широкую известность, заявления: «Этого нельзя сделать. Я бы даже сказал больше — весь этот отчет является фальшивкой. На основании моего собственного опыта и опыта других сейчас нельзя сказать, что получение синтетического каучука вообще когда-либо будет успешным... Это должно быть особенно справедливым для России, где исходный материал стоит дороже»¹.

8 мая 1931 г. американская газета «Юнион» напечатала следующее интервью с знаменитым изобретателем:

«Корреспондент: Известно ли Вам, мистер Эдисон, что русские большевики приступают к промышленному производству синтетического каучука?

Эдисон: Слышал.

Корреспондент: Ваше мнение?

Эдисон: Нелепая и невозможная идея!

Корреспондент: Простите, мистер Эдисон, почему?

Эдисон: Ерунда!»²

Менее известно, что в течение нескольких лет до этого Эдисон сам упорно пытался получить искусственный каучук и был хорошо осведомлен о всех работах в этой области, которые много лет велись крупными химиками в ряде капиталистических стран. Незадолго до смерти Эдисона его супруга, отвечая на вопросы представителей прессы о семейном быте изобретателя, заявила: «Последние два года он интересовался исключительно резиной, каучуком. Все в нашей семье свелось к резине. Мы говорили о резине, думали о резине, мечтали о резине. Эдисон не позволял нам делать что-нибудь другое»³.

Таким образом, заявления Эдисона свидетельствовали не только о том, как это часто подчеркивается, что ошибаться могут и гении, но и о прочно сложившемся на Западе к началу 30-х годов убеждению о практической (прежде всего с экономической точки зрения) невозможности производства синтетического каучука в промышленных масштабах. С другой сто-

² Цит. по кн.: Дьяков Б. Годы молодые... Документальная повесть. Воронеж, 1970, с. 156.

³ Цит. по кн.: Лапиров-Скобло М. Эдисон. М., 1960, с. 229.

¹ «The India Rubber Journal», 1931, v. 81, № 21, p. 7—8.



Сергей Васильевич ЛЕБЕДЕВ
13[25].VII.1874—2.V.1934
Акварель А. П. Остроумовой-Лебедевой

роны, не было случайным и то обстоятельство, что впервые производство синтетического каучука было освоено «русскими большевиками».

В быстром решении проблемы синтеза каучука в промышленных масштабах ярко проявились преимущества социалистического планового хозяйства: возможность направить усилия ведущих групп ученых на решение важнейшей народно-хозяйственной проблемы; наличие государственной сети исследовательских учреждений; возможность выделить для научных исследований, проектных и строительных работ необходимые средства; широкое привлечение к решению проблемы партийных и государственных органов; самоотверженная работа как ученых и инженеров, так и рабочих.

В обширной литературе, посвященной истории создания синтетического каучука, и то и другое — и причины, обусловившие негативную позицию Эдисона, и что первая в мире опытная партия натрий-бутадиенового каучука весом 262 кг была произведена в СССР уже 15 февраля 1931 г., — не получили достаточно полного освещения. Архивные документы, в том числе неопубликованные воспоминания С. В. Лебедева «Идея возникновения синтеза каучука», написанные незадолго до смерти ученого, позволяют уточнить ряд важнейших обстоятельств и установить последовательность событий, связанных с возникновением новой отрасли производства.

После создания А. М. Бутлеровым теории химического строения попытки получения синтетического каучука предпринимались неоднократно, наряду с попытками синтезировать многие другие природные органические соединения. При этом далеко не всегда преследовались практические цели. Более того, сам Лебедев утверждает, что вначале получение синтетического каучука представляло для него чисто теоретический интерес: «Темой моей первой большой работы по химии были явления полимеризации органических соединений, и в частности углеводов. Было чистым совпадением, что начало моих работ (1908 г.) совпало с резким недостатком каучука... (но) как я уже сказал... работы велись в широком теоретическом плане и никаких практических целей я себе не ставил»⁴. Однако ситуация стремительно изменилась. 18 ноября 1932 г. на торжественном заседании

АН СССР Лебедев говорил: «Теория синтеза каучука стала энергично разрабатываться примерно с 1909 г. одновременно и независимо в России, в Германии и в Англии. Теоретическая работа стимулировалась не только научным интересом отдельных ученых, сколько выяснившимся к этому времени катастрофическим недостатком каучука на мировом рынке. Выявилась полная невозможность покрыть растущую вместе с автомобиллизмом потребность в каучуке запасами каучука дикорастущих растений»⁵.

Первая мировая война, во время которой Германия и ее союзники оказались полностью отрезанными от природных источников, а сам каучук стал одним из важнейших стратегических материалов, послужила дополнительным стимулом к форсированию работ по его получению и производству. Такие работы велись в России и в Германии. Так, в 1911 г. правление московского завода «Богатырь» заключило договор с известным химиком И. И. Остромысленским о получении в полувальцовочном масштабе синтетического каучука. Для этой цели на заводе была организована в 1912 г. первая в России опытная станция-лаборатория, занимавшаяся научной разработкой способов его получения. Однако в 1914 г. правление завода отказалось от содержания лаборатории, так как она требовала больших расходов и не давала прибыли. В январе 1915 г. Б. В. Бызов начал работы по синтезу каучука во вновь организованной химической лаборатории завода «Треугольник» (Петроград). Фирма «Байер» (Германия) построила уже в 1917 г. завод синтетического каучука, дававший ежемесячно по 150 т продукции и успевший до окончания войны выработать 2350 т. Однако после окончания войны, ввиду низкого качества получаемых изделий и высокой стоимости продукта, завод был закрыт. Одновременно были свернуты исследования в области получения синтетического каучука: быстрый рост потребностей в природном каучуке начал удовлетворяться не за счет «дикорастущих растений», а за счет каучуковых плантаций. Такое решение проблемы снабжения каучуком резиновой промышленности в общем вполне устраивало в 20-х годах США, Англию, Францию и другие развитые в экономическом отношении капиталистические страны, в том числе и

⁴ Архив АН СССР, ф. 788, оп. 1, д. 34.

⁵ Сергей Васильевич Лебедев. Жизнь и труды. Л., 1938, с. 462.

послевоенную Германию. Однако для СССР вопрос о производстве каучука в промышленных масштабах оставался весьма актуальным: сначала потому, что в условиях иностранной военной интервенции и гражданской войны доступ к мировому рынку был для Советской республики закрыт, а потом — из-за необходимости (экономической и стратегической) обеспечить растущие потребности в каучуке за счет собственных ресурсов — из всех видов стратегического сырья практически только каучук приходилось полностью закупать за рубежом.

Весной 1918 г. при Отделе химической промышленности ВСНХ СССР создается специальная Комиссия новых производств, в центре внимания которой сразу же оказалась проблема синтетического каучука. В сентябре 1918 г. комиссия с участием крупных ученых — А. Е. Фаворского, Л. А. Чугаева, С. В. Лебедева, Н. Д. Зеллинского, Б. В. Бызова, В. Н. Ипатьева и др. — рассмотрела ряд вопросов, связанных с синтезом каучука. Из протокола заседания комиссии от 28 сентября видно, что в обсуждении этих вопросов активно участвовали И. И. Остромысленский, Б. В. Бызов, С. В. Лебедев, А. Е. Фаворский. Резюмируя итоги прений, председатель комиссии академик В. Н. Ипатьев констатировал:

«1) Вопрос о практическом значении синтеза каучука или каучукоподобных материалов признается всеми присутствующими, несмотря на отрицательный взгляд на этот вопрос в Германии.

2) Опыты над получением синтетического каучука в лабораторных условиях, по-видимому, доведены до такого состояния, при котором наступило время перейти к опытам в малом заводском масштабе.

3) В качестве исходных материалов необходимо испытать наряду со спиртом также нефть.

4) Надлежит привлечь к работам лиц, которые заинтересованы в этом деле, а также привлечь внимание свободных химиков в этой области, что можно сделать путем объявления конкурсов и премирования работ»⁶.

Из протокола заседания комиссии 30 сентября 1918 г.: «Проф. Н. Д. Зеллинский поддерживает необходимость опытов в большом масштабе над синтезом каучука...

С. В. Лебедев указывает на необходимость скорейшей постановки производства синтетического каучука в опытно-заводском масштабе (1 кило), не считаясь с затратами...

В. Н. Ипатьев предлагает... работы по производству синтетического каучука вести везде, где только имеется к этому возможность...»⁷.

После детального обсуждения всего круга вопросов, связанных с получением синтетического каучука, было принято решение:

«... 4) Немедленно начать работы в опытно-заводском масштабе по получению синтетического каучука.

5) Научная разработка способов получения синтетического каучука должна продолжаться.

...7) От имени совещания обратиться ко всем профессорам, работающим по синтезу каучука и соприкасающимся с ним вопросам, с просьбой направлять свои школы на разрешение вопроса получения синтетического каучука.

8) Собрать еще раз совещание, когда будут накоплены некоторые данные»⁸.

Из приведенных выдержек явствует, что дело получения синтетического каучука в промышленном масштабе впервые в истории было поставлено на уровень общегосударственной задачи.

20 ноября 1918 г. вопросу получения синтетического каучука было посвящено заседание коллегии Отдела химической промышленности ВСНХ СССР, на котором были намечены практические мероприятия, связанные с организацией опытно-промышленных работ и ассигнованы значительные средства.

Результатом этих совещаний явилось возобновление начатых еще до революции работ на опытной станции при московском заводе «Богатырь», а также на петроградском заводе «Треугольник». 20 апреля 1919 г. вопрос «О производстве искусственного каучука» был вновь заслушан на заседании коллегии Отдела химической промышленности ВСНХ СССР, а 23 апреля 1919 г. коллегия вынесла решение об отпуске на оборудование испытательной станции и лаборатории при московском заводе «Богатырь» 602 606 руб.

В отчете Главного управления заводами резиновой промышленности (Глав-

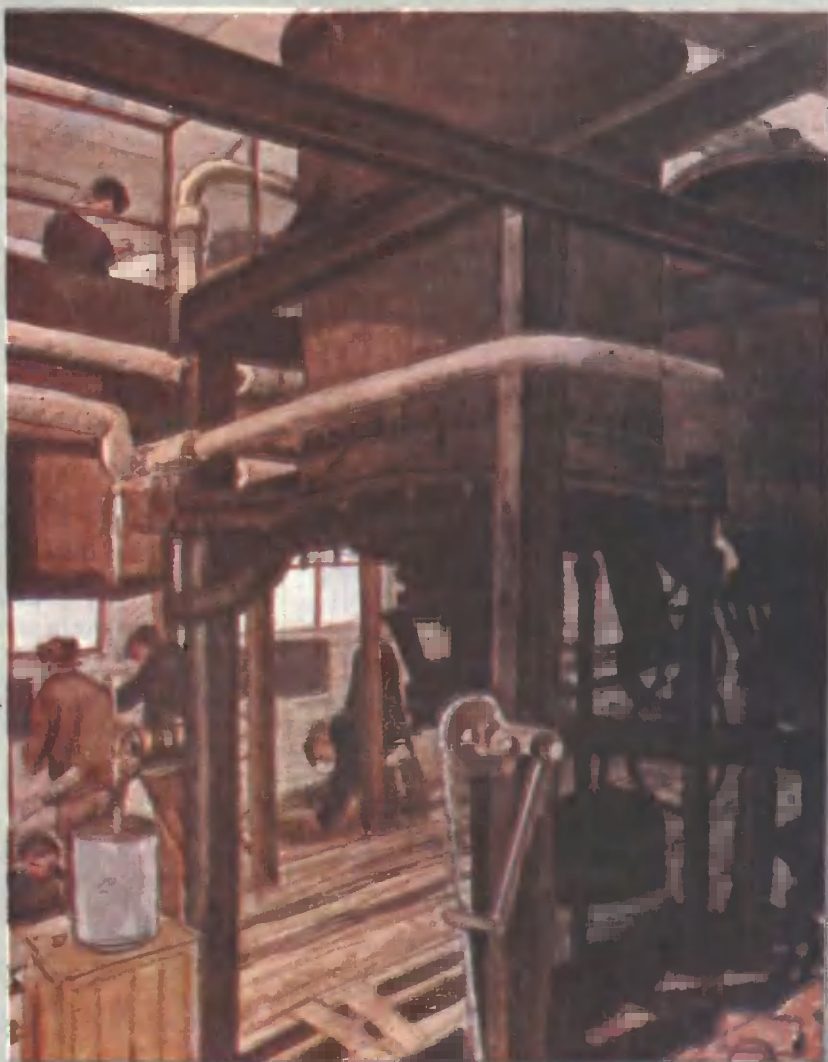
⁶ Центр. гос. архив народного хозяйства (ЦГАНХ), ф. 3429, оп. 72, д. 8, л. 90—91 об.

⁷ Там же, л. 92—93.

⁸ Там же.



Первая опытная лабораторная печь.
Акварель А. П. Остроумовой-Лебедевой.



Один из цехов первого завода по производству
синтетического каучука.
Акварель А. П. Остроумовой-Лебедевой.

резина) ВСНХ СССР по научно-исследовательской работе за 1919—1920 гг. отмечалось, что важнейшей работой за указанный период явилась «постройка при заводе № 2 («Богатырь») станции для выработки каучука, имеющей дать методику этой работы... и основы для выработки каучука уже в заводском масштабе...»⁹

Но в том же 1920 г. Резинотрест принял решение об ассигновании 10 тыс. руб на развитие работ, которые велись Б. В. Бызовым на опытной станции петроградского завода «Треугольник». Таким образом, исследования по синтезу каучука проводились с начала 20-х годов в трех лабораториях — Лебедева при Военно-медицинской академии, Бызова при заводе «Треугольник» и в лаборатории при заводе «Богатырь»¹⁰ (В. А. Сорокин) — одновременно и независимо, причем Лебедев и Бызов продолжали разработку путей, предложенных ими еще до Великой Октябрьской социалистической революции: Лебедев с самого начала изучал возможности получения мономеров для синтеза каучука из спирта, а Бызов искал пути к получению этих мономеров из продуктов переработки нефти.

Такой параллелизм в исследованиях, в основе которых лежали существенно различные методы получения исходных продуктов, приводил к необходимости на определенном этапе лабораторных работ наметить наиболее перспективный в промышленном масштабе путь. Эта необходимость порождала идею о проведении конкурса — о получении авторитетной и объективной рекомендации крупнейших специалистов по вопросу, на основе каких исследований следует приступить к строительству первого завода синтетического каучука.

В 1925 г. председатель Химического директората ВСНХ СССР В. П. Кравец представил в Центральное управление государственной промышленности докладную записку, в которой отмечалось: «Одним из способов поднятия интереса к этому вопросу (синтеза каучука.— В. В.) является объявление конкурса на лучшую работу по данному вопросу с премированием этих работ крупной денежной премией: на затраты скупиться здесь не сто-

ит — они окупятся сторицей, причем к конкурсу следует привлечь не только русских, но и зарубежных ученых. К проведению всего этого дела было бы целесообразнее всего привлечь НТО¹¹, который располагает для этого и кадрами высококвалифицированных сил, и хорошо оборудованными лабораториями и институтами. Нужда есть лучший импульс для творчества — так было в свое время с рядом дорогих красителей (индиго, ализарин), с производством связанного азота и проч., так должно быть и с каучуком»¹².

После обсуждения условий проведения конкурса с С. В. Лебедевым и Б. В. Бызовым, 2 декабря 1925 г. на заседании Технического совета химической промышленности ВСНХ СССР было принято решение войти в коллегию НТО с предложением о проведении такого конкурса. При этом конкурс предполагалось организовать в соответствии с «Правилами» о присуждении премий за «фабричное производство каучука», разработанными Бызовым еще в 1914 г., а срок конкурса — 2 года — был установлен в соответствии с пожеланиями Лебедева.

Коллегия НТО ВСНХ СССР, заслушав доклад В. П. Кравеца на заседании 4 декабря 1925 г., постановила одобрить проект условий конкурса на лучший способ получения синтетического каучука. Основные условия конкурса сводились к следующему: каучук должен быть изготовлен из продуктов, добываемых в СССР; по своим свойствам он должен быть сходным с обычным вулканизированным каучуком и не уступать ему в качестве; в конечном продукте не должен вовсе присутствовать натуральный каучук, и цена продукта в массовом производстве не должна быть выше средней цены на натуральный каучук. Срок представления работ на конкурс устанавливается 1 января 1928 г.

Официальное извещение о проведении конкурса было опубликовано в апреле 1926 г. Впоследствии Лебедев вспоминал: «Мое соприкосновение с конкурсом на лучший способ получения каучука началось в октябре или ноябре 1925 года, когда меня посетил приехавший из Москвы профессор В. П. Кравец, чтобы побеседовать об условиях предполагаемого кон-

⁹ ЦГАНХ, ф. 3429, оп. 72, д. 164, л. 6—7.

¹⁰ В 1925 г. опытная станция при заводе «Богатырь» была закрыта, так как ее исследования дублировали работы, проводимые на «Красном треугольнике» в Ленинграде.

¹¹ Научно-технический отдел ВСНХ СССР. В 1926 г. приказом ВСНХ переименован в Научно-техническое управление (НТУ).

¹² ЦГАНХ, ф. 3429, оп. 60, д. 1310, л. 39.

курса на лучший способ получения синтетического каучука. В то время я имел в лаборатории Военно-медицинской академии выдающегося помощника в лице А. И. Якубчик и молодого, но уже зарекомендовавшего себя отчетливой работой препаратора С. Г. Кибиркштиса. В феврале или марте 1926 г. я образовал рабочую группу такого состава: в лаборатории Военно-медицинской академии должны были работать А. В. и Ф. Н. Вороновы, С. Г. Кибиркштис, А. И. Якубчик, а в университетской — препаратор И. А. Виноградов-Волжинский и аспиранты В. П. Краузе и Я. М. Слободин... В мой план входило получать ориентировочные данные в лаборатории Военно-медицинской академии и в случае нужды передавать их для детальной разработки в университетскую лабораторию...

15 ноября 1927 г. была пущена большая печь. С этого момента весь характер работы изменился. Работа была напряженной. Стремление закончить ее к сроку (31-го декабря 1927 г.) заставляло работать с чрезвычайным напряжением. Работа начиналась с 9 час. утра и оканчивалась в 10—12 ч. ночи»¹³.

27 декабря 1927 г. Президиум коллегии НТУ утвердил жюри конкурса в составе профессора А. Е. Чичибабина (председатель) и членов В. А. Сорокина, М. А. Лурье, О. А. Зейде, В. П. Кравеца, А. И. Иванова, Ф. Ф. Кошелева, Н. Н. Воронова и представителя ЦК профсоюза рабочих химической промышленности¹⁴. (11 января 1928 г. этот состав жюри был утвержден Президиумом ВСНХ СССР.)

30 декабря 1927 г. В. П. Краузе привез из Ленинграда и сдал в Технический совет химической промышленности ВСНХ СССР описание способа получения синтетического каучука, получив расписку в том, что «от гражданина Краузе получено под девизом «Диолефин» 2 пакета и ящик с 5 печатями»¹⁵ — в пакетах и ящике содержались материалы С. В. Лебедева и его сотрудников.

Всего на конкурс поступило пять проектов. Из них три — поступивший из Италии, другой под грифом «Наш советский» и третий без девиза, но зашифрованный буквой «М» — были сняты жюри

конкурса до обсуждения, «ввиду несоблюдения авторами основных пунктов условий конкурса»¹⁶. В результате жюри рассмотрело только два проекта: «Диолефин» (С. В. Лебедева) и «В единении сила» (Б. В. Бызова).

Работа Лебедева по синтезу дивинил-каучука из спирта была рассмотрена жюри 9 февраля 1928 г. и признана достойной премии.

4 апреля 1928 г., после детального ознакомления с производством каучука по методу Лебедева на месте, жюри постановило: «Считать, что результаты, указанные в описании способа «Диолефин», подтвердились целиком и полностью с некоторым даже превышением выходов бутадиена (и каучука из него) против указанных в описании»¹⁷.

Таким образом, дату 4 апреля 1928 г. можно считать завершающей десятилетнюю исследовательскую работу, которая велась рядом советских ученых по синтезу каучука. Являясь продолжением общей работы развития каталитической химии, исследования Лебедева по синтезу каучука представляют собой новое принципиальное достижение: они указали на возможность использования смешанного катализатора, выполняющего по отношению к исходному спирту сразу две функции: дегидратации (отщепление воды) и дегидрогенизации (отщепление водорода). Вначале для этой цели использовался катализатор, обеспечивающий выход до 25% на прореагировавший спирт. В дальнейшем с помощью нового катализатора выход значительно увеличился. Получение бутадиена в одну ступень непосредственно из этилового спирта с высоким выходом, простота технологического оформления процесса и относительная доступность исходного сырья обеспечивали возможность быстрой производственной реализации метода Лебедева.

4 мая 1928 г. на заседании Президиума коллегии НТУ по докладу А. Е. Чичибабина было решено «считать необходимыми постановку работ проф. Лебедева в полужавовском масштабе, изыскав от промышленности необходимые средства»¹⁸.

25 декабря 1929 г. ЦК ВКП(б) при-

¹³ Архив АН СССР, ф. 788, оп. 4, д. 6, л. 78—80, 87.

¹⁴ ЦГАНХ, ф. 3429, оп. 61, д. 1096, л. 53.

¹⁵ «Вопросы истории», 1972, № 7, с. 53.

¹⁶ ЦГАНХ, ф. 3429, оп. 61, д. 1096, л. 53 об.

¹⁷ Архив АН СССР, ф. 788, оп. 4, д. 6, л. 44.

¹⁸ «Советские архивы», 1970, № 4, с. 63.

нял постановление «О каучуке», которым ВСНХ СССР обязывался перевести работы по синтезу каучука из стадии лабораторных опытов к строительству опытных заводов по методам Лебедева и Бызова.

О том, как велась подготовка к строительству первого опытного завода по производству синтетического каучука, подробно рассказывает в своих «Воспоминаниях» С. В. Лебедев.

«В сентябре 1928 г. была оборудована специальная лаборатория в помещении, предоставленном университетом. В лаборатории работали до весны 1930 г., за это время мною были получены все необходимые данные для проектирования завода. К этому времени Главхим передал лаборатории Резинотресту. В январе 1930 г. был предоставлен материал по организации завода. В феврале 1930 г. было совещание СТО, на котором демонстрировались колечки из нашего каучука. Этим же совещанием было решено предоставить спиртоочистительный спиртоводочный завод синтетическому каучуку. С апреля 1930 г. группой работников во главе с Карцевым было приступлено к проектированию и постройке завода СК, которому было присвоено название «Опытный завод лит. «Б». Одновременно на территории будущего завода лит. «Б» начали оборудовать большую научно-исследовательскую лабораторию, в основу которой легла переброшенная из университета лаборатория. Лабораторией началось обследование свойств каучука весной 1930 г. и в общих чертах было закончено через год. Было показано, что СК может дать резину хорошего качества и что эта резина может заменить резину из натурального каучука в большей части резиновых изделий»¹⁹.

В начале 1930 г., по личной рекомендации С. М. Кирова, проявлявшего большой интерес ко всем вопросам, связанным с получением синтетического каучука, техническим директором опытного завода был назначен старый член партии, талантливый организатор и хозяйственник Г. В. Пеков, из воспоминаний которого известно, что основные цехи завода вступили в строй 18 декабря 1930 г.²⁰

Сохранился интересный документ, свидетельствующий о том, с каким энтузи-

азмом работали строители на сооружении «Опытного завода литера «Б» — одного из важнейших, если не по масштабам, то по значению, промышленных объектов первой пятилетки. В протоколе заседания заводоуправления от 9 сентября 1930 г., в котором участвовали представители партийной и профсоюзной организации и актив рабочих, говорится о решении, «учитывая важность задания правительства», своевременно окончить строительство завода, «создать из своего кадра рабочих ударные бригады и, приложив всю энергию, установить 85 аппаратов в назначенный срок, обеспечить состав ударных бригад через заводоуправление и заводские организации всем необходимым для бесперебойной работы»²¹.

Следующим важным этапом в освоении синтетического каучука было изготовление и испытание «синтетических» автомобильных шин. По словам Лебедева, «сразу же после изготовления опытной партии СК, лаборатория выпустила свою автошину. Она была приготовлена на готовом каркасе, промазанном натуральным каучуком, боковая же поверхность шины и боковины из синтетического каучука. Первая шина прошла 16 тыс. километров и вышла из строя из-за случайного повреждения (наехала на разбитую бутылку). Две последующие шины пробежали 17 и 19 тыс. километров»²².

В заключение отметим, что если по ряду причин (в основном из-за технологических трудностей осуществления пиролиза нефти) предпочтение было отдано способу получения синтетического каучука из спирта (что привело к закрытию в 1933 г. «Опытного завода литера «А», на котором с 1931 г. некоторое количество каучука получалось по методу Бызова), то самая идея использования нефти в качестве исходного сырья для получения ряда ценных продуктов ни у кого не вызывала сомнения.

Таким образом, закладывая основы новой отрасли промышленности — производства каучука из спирта, советские ученые ясно видели перспективы развития нефтехимии.

²¹ ЦГАНХ, ф. 8125, оп. 4, д. 336, л. 21—21 об.

²² Лебедев С. В. Идея возникновения синтеза каучука. Архив АН СССР, ф. 788, оп. 1, д. 34.

¹⁹ Лебедев С. В. Идея возникновения синтеза каучука. — Архив АН СССР, ф. 788, оп. 1, д. 34.

²⁰ Пеков Г. В. — В сб.: Товарищ Киров. М., 1935, с. 262—265.

География и вдохновляющие ресурсы природы

П. М. Полян



Павел Маркович Полян, младший научный сотрудник Института географии АН СССР. Занимается проблемами теоретической географии и геоурбанистики.

...Ведь Поэзия, Кричалки, — это не такие вещи, которые вы находите, когда хотите, это вещи, которые находят на вас; и все, что вы можете сделать, — это пойти туда, где они могут вас найти.

А. Милн. Винни-пух и все, все, все

Природные ресурсы, по определению, призваны удовлетворять наши насущные потребности. С точки зрения экономической они уже давно вовлекаются в хозяйственный оборот человечества, их рациональной эксплуатации посвящена обширная и разнообразная научная литература. Но ничуть не менее «полезно» и непроектное использование человеком окружающей его среды — созерцание и осмысление природы, любовное отношение к ней. «Любимая» — и это отнюдь не блажь — красота и величие природы, гармоничные звуки, например, плеск волн, журчание ручья, пение птиц, а также благоуханные запахи леса, луга, моря... Стороны природы, воздействующие на эстетическую восприимчивость человека, мы назовем **духовными ресурсами** природы, так как они поднимают дух человека, благотворно воздействуют на его психику, придают бодрость, жизне-радостность, усиливают творческие способности. Ведь недаром в медицине по-

явился такой термин, как ландшафтотерапия», — писал географ Д. Л. Арманд¹.

Нередко прагматические и эстетические ресурсы природы — а в их лице сиюминутность и вечность! — территориально совпадают и тем самым противостоят друг другу. Человеку приходится выбирать, и, как правило, победа остается за рентабельной злободневностью. Но бывает и так, что эти два вида ресурсов не

¹ Арманд Д. Л. Нам и внукам. М., 1966, с. 6—7. Более узким, чем духовные ресурсы, но в контексте этих замечаний более точным термином, обозначающим эстетические свойства природы, мне представляется термин «вдохновляющие ресурсы», совсем недавно, летом 1976 г. прозвучавший с трибуны XXIII Международного географического конгресса в Москве (Буркалов А. Ван. Нетронутые природные ресурсы: вдохновляющие ценности природной среды. — В кн.: Международная география-76. Географическое образование, географическая литература и распространение географических знаний. Т. 10. М., 1976, с. 131).

совпадают. Это характерно, например, для Японии, удивительно бедной полезными ископаемыми, но на редкость богатой чарующими пейзажами и восхитительными панорамами, которым каждый из сезонов — весна и лето, осень и зима — придают особый аромат. Но без участия этого разительного контраста возникла и окрепла та уникальная островная цивилизация Японии, восхищаться которой до сих пор не устают многие «заинтересованные» материки. Между восприятием произведения искусства и непосредственным восприятием внешней природы доминирующая в японской культуре традиция дзэн² не проводит меловой черты.

И это естественно. Ведь «такие понятия, как контраст, гармония, ритм, типичность и уникальность... объективно содержатся во многих ландшафтах, созданных самой природой, а нередко и человеческим трудом. Но они же могут быть мастерски вызваны и усилены организатором путешествия...»³.

Есть в географии великая двойственность ее научного предмета,ступающая уже в самой частичке «ге» (от греч. «земля»). Если понимать эту частичку как символ дискретной пространственности, то предметами различных географических дисциплин оказываются территориальные структуры соответствующих явлений (территория — географическая спецификация пространства), например, предметом экономической географии служит территориальная структура хозяйства и т. д. Если же эту частичку воспринимать в ее первоизданном — планетарном — значении, то мы имеем дело с указанием на Землю, точнее на земную поверхность, которую географ должен охватывать пристальным и целостным взглядом. В своем историческом развитии многие географические дисциплины утрачивали такую специфику взгляда и отпочковывались от материнского ствола (яркий пример — геология). Но остальные географические науки — при всей широте и силе процесса дифференциации самой географии, — как крона с корнем, сохраняли в своем «бытии» и «сознании» память о своем происхожде-



М. А. Волошин (1877—1932).

Пройди по лесистым предгорьям,
По белым песчаным тропам
К широким степным лукоморьям,
К звенящим моим берегам.

нии — высокое чувство Земли. В этом чувстве — надежный залог жизненности географии и отклик на глубинную потребность человечества, быть может, еще не вполне ощущаемую сегодня. В нашу дерзкую эпоху научно-технической революции, когда науки — сестры и дети географии — одна за другой полностью прагматизируются и, в результате неизбежной и закономерной специализации знания, сосредоточиваются на своих локальных предметах, подчас чрезвычайно отвлеченных и абстрактных, как никогда важно — не утратить самосознания **землянина**, осознанно сохранить и поддержать **связь между человечеством и его планетарным домом**. И именно в этом может и должна проявиться высокая гуманисти-

² Дзэн (чань) — течение в буддизме, возникшее в XII в. в Японии и оказавшее сильнейшее влияние на идеологию и культуру японского общества.

³ Родоман Б. Б. Организация путешествий — искусство! — В сб.: Земля и люди. М., 1974, с. 311—313.



ческая миссия географии, ее уникальный этический потенциал, так сказать, научный этос — сберечь, сохранить для Человека (и, где можно, укрепить) его связь с землей, по которой он ходит.

Все это дает географии полное право стать во главе изучения и разрешения все обостряющихся экологических проблем, задавать тон в разработке основ рационального прагматического природопользования и контроля за преобразованиями природы. Право, которым в полной мере еще только предстоит воспользоваться, хотя некоторые успехи достигнуты уже и сейчас. Любить свою землю — значит заботиться о ее будущем. Эта высокая этико-гуманистическая миссия географии распространяется не только на прагматические природные ресурсы, но, разумеется, и на эстетические. Наука и искусство сводимы к творчеству, но — это не одно и то же; вражды между ними нет, а есть взаимный интерес, уважение и помощь. С одной стороны, наука расширяет изобразительные средства искусства (электронная музыка, например),

с другой — научная деятельность вполне может послужить питательной средой для конкретных произведений искусства, особенно словесного. Читая «Путешествия» Д. Ливингстона, Ч. Дарвина и других, мы зачастую даже забываем о том, что прежде всего — это вклад в науку! С другой стороны, истинное искусство всегда обладало способностью будить научную мысль; наконец, искусство во всех своих разновидностях волей или неволей вынуждено выступать в качестве объекта искусствоведческих (научных) работ. Искусствоведение как наука, впрочем, весьма специфично. Ему не противопоставлено и даже органично то, что поэт О. Сулейменов называет поэтическим подходом к проблеме. Например: «языкотворцы были художниками, понять их произведение — Слово — можно лишь тогда, когда проникнешь в механику их образного мышления, освоишь их язык — поэтический... И поэтому языковедение должно быть, хотя бы в начале своей настоящей истории, наукой поэтической, чтобы когда-нибудь стать поэти-



ческой наукой»⁴. Иными словами, ученый-искусствовед непременно должен быть чуточку поэтом, художником или музыкантом, и именно поэтому столь удачны и глубоки бывают исследования поэтов о поэтах (например, Ахматовой о Пушкине, Мандельштама о Данте), музыкантов о музыкантах (Швейцера о Бахе) и т. п.

Изучение вдохновляющих ресурсов природы — пример иного рода, когда отношения между искусством и наукой выявлены не вполне и не однозначно. Однако и это весьма перспективная точка их соприкосновения, почка роста контактов между ними, и в последние годы внимание ученых (географов прежде всего) к вдохновляющим ресурсам все возрастает.

Среди ученых, поднимающих или затрагивающих эту проблематику, немало наших соотечественников — В. П. Семенов-Тянь-Шанский, А. Н. Краснов, В. К. Арсеньев, Д. Л. Арманд, Э. М. Мурзаев, Ю. К. Ефремов, Ф. Н. Мильков, Г. М. Лаппо, Б. Б. Родоман и др. В книге «Район

Хиросига [1797—1858]. Цутияма. Весенний дождь.

Ливень хлынул потоками.
Кого не обрадует свежесть цветов,
Тот — в мешке сухая горошина.

Такаран Кисаку. XVII в.

Б. М. Кустодиев [1878—1927]. Осень в провинции.

Люблю я пышное природы увяданье,
В багрец и золото одетые леса.

А. Пушкин

и страна» Семенов-Тянь-Шанский писал: «...Жизненные элементы Земли, сконцентрированные на определенном пространстве, сочетаются всегда естественным образом в определенную, гармоничную, закономерную картину, составляющую типичный для данной местности географический ландшафт или пейзаж... Поэтому искание типов местностей есть первая, важнейшая, необходимейшая, неотъемлемейшая черта географической науки, неразрывно сближающая ее с изобразительным искусством и сообща-

⁴ Сулейменов О. Аз и Я. Книга благонамеренного читателя. Алма-Ата, 1975, с. 297.



ющая ей обязательный художественный элемент, чем географическая наука и отличается от многих других... Изучая географический пейзаж, необходимо проникнуться его стилем, т. е. сочетанием в нем оригинальных линий и красок, начертанных самым великим зодчим — природой⁵. И художник, и географ, по представлению Семенова-Тян-Шанского, мыс-

лят географическими образами и занимаются, в сущности оба, — творческой генерализацией ландшафтов, выявлением в них типического и уникального, только художник при этом артистичен и субъективен, а географ — по возможности объективен и научен.

Таким образом, пейзаж предстает перед нами гармоничным продуктом стихийных сил природы, их неосознанно творческим произведением. Это аргументированное сближение нерукотворной природы и «рукотворного» искусства вполне

⁵ Семенов-Тян-Шанский В. П. Район и страна. М.—Л., 1928, с. 48, 50, 53.

оправданно и подводит к признанию родственности искусствоведения и природоведения (или географии, во втором смысле этого слова).

Закономерным следствием и своеобразным синтезом этого является высказанная Ф. Н. Мильковым идея «художественного ландшафтоведения». В тех случаях, когда ученый и художник сливаются воедино, когда научно достоверные факты о природе, населении и его хозяйстве воплощаются в форме высокохудожественных образов, мы вправе говорить о художественном ландшафтоведении, или «научно-художественной географии».

Древнейшие наскальные рисунки и народные орнаменты свидетельствуют о том, что первой вдохновительницей человека была именно природа. Ее вдохновляющая роль была вполне осознана уже древними греками⁴. Такой своеобразный монизм восприятия несколько неожиданно, но закономерно сказался на характере преломления природы в античном искусстве — как таковая, в «чистом» (собственно пейзажном) виде она почти не прорывалась ни в живопись, ни в литературу. Эллинистические верования —

пьянящая смесь политеизма и пантеизма — предопределили то, что основным поприщем античного искусства явились мифология и мифотворчество. Природа как реалья бытия в контексте искусства непременно пропускалась через призму мифа (или же сочеталась, согласовывалась с ним). Море, горы, каждая река или ручей имели у древних греков свои антропоморфные мифические эквиваленты, были, так сказать, божественно одушевлены. Явления природы, черты ландшафта могли быть переданы не непосредственно, не пейзажно, а иконографически, через символизирующее изображение этих эквивалентов. Вот как, например, описывает утреннюю зарю поэт VII в. до н. э. Мимнерм:

Гелию труд вековечный судьбою
ниспослан на долю.
Ни быстроногим коням отдых неведом,
ни сам
Он передышки не знает, едва розо-
перстая Эос
Из Океана пучин на небо утром
взойдет.

Персонифицируясь, природные феномены как бы театрализуются; пейзаж или явление природы в буквальном смысле слова разыгрывается перед читателем. Этот античный принцип, утратив со временем свою насущность для художника, прошел через века и нередко встречается в почти неизменной своей сущности. Вот, например, какую двухактную пьесу из жизни природных небожителей поставил на подмостках своей антологической эпиграммы Афанасий Фет:

Долго еще прогорит Вespera скром-
ная лампа,
Но уже светит с небес девы измен-
чивый лик,
Тонкие змейки сребра блещут на
влаге уснувшей.
Звездное небо во мгле дальнего
облака ждет.
Вот потянулось оно, легкому ветру
послушно,
Скрыло богиню, и мрак сладостный
землю покрыл.

Не следует принимать этот принцип догматически; это удвоение природного мира за счет антропоморфных ассоциаций не было абсолютной доминантой искусства античности. Преобладало же —

⁴ В предисловии к своему переводу «Илиады» Н. Гнедич писал: «Природа сияла тогда собственными красотами и не обременялась украшениями, которые думают ныне придать ей люди. Люди воспитаны были на лоне ея и не гнушались тем, что представляла им с младенчества любящая их воспитательница». Вместе с тем уже в античное время воздействие человека на окружающую среду — окультуривание земель, выпас скота, строительство городов, дорог, гаваней, каналов и кораблей (и связанные с этим камен- и лесоразработки) — достигло значительной интенсивности и заметно сказывалось на природных ландшафтах обширного эллинистического мира. Достаточно напомнить, что люди тех времен проникали в глубь Земли более чем на сотню метров (шахты Лавриона), возводили сооружения высотой до 150 м (Фаросский маяк), строили гигантские города площадью в несколько десятков квадратных километров (Сиракузы) и с более чем миллионным населением (Александрия, Рим). Многие черты античного хозяйства сохранились и в нашей современной жизни (костяк сети городов и дорог, некоторые элементы структуры сельского хозяйства и т. д.). Более того, многие сегодняшние экологические деформации восходят к античности и уже эхом доносятся до нас (обезлесение из-за выпаса скота обширных территорий и как следствие — обмеление многих рек и т. п.). Подробнее об этом можно посмотреть в книге В. Д. Блаватского «Природа и античное общество» (М., 1976).

«...сочетание (выделено мной.— П. П.) мифологического персонажа с реальным изображением природы, когда в волнах реки показывается ее божество... Чаше ту или иную сцену обрамляют мифологические персонажи, характеризующие место действия, например, божества рек, ручьев, лесов или гор»⁷.

За века, протекавшие с античных времен до наших дней, произошло спрямление путей художественного видения природы, осуществился переход к ее изображению непосредственно Словом — вместо окликация каждого природного атрибута по его божественному Имени. Сами же эти Имена сохранили свои метафорические черты, они часто привлекаются для поэтических сравнений и играют достойную роль культурно-мифологических реминисценций античности. Интересно, что многие античные Имена природных явлений, утратив свою первоначальную именительность, практически срослись, слились с этими явлениями, а точнее с их Словами (например, космос, океан, аквилон и т. д.).

Неорганическая природа в поэзии, распрощавшись с античными человекоподобными «двойниками», однако, и не думала расставаться со своей одушевленностью и органической живостью. Здесь подразумевается даже не вульгарный басенный гиллоизм (впрочем в баснях подавляющее большинство персонажей — звери), а скорее широко понимаемая традиция романтизма⁸. Напомним, к примеру, прекрасные тютчевские строки:

Уж солнца раскаленный шар
С главы своей земля скатила,
И мирный вечера пожар
Волна морская поглотила.

Уж звезды светлые взошли
И тяготеющий над нами
Небесный свод приподняли
Своими влажными глазами.

Река воздушная полней
Течет меж небом и землею,
Грудь дышит легче и вольней,
Освобожденная от зною.

И сладкий трепет, как струя,
По жилам пробежал природы,
Как бы горячих ног ее
Коснулись ключевые воды.

Каждая национальная литература почти наверняка имеет в своих рядах великодушных писателей-натуралистов⁹ — зорких гениев пейзажа, мастеров «художественного схватывания» природы. Немало их и в русской литературе. Достаточно назвать имена Державина, Пушкина, Гоголя, Тургенева, Бунина.

Каждая личность, а творческая в особенности, с течением жизни вырабатывает и уточняет собственные критерии восприятия внешней природы. Б. Б. Родман различает следующие уровни использования окружающей среды человеком: 1. добыча природных ресурсов, превращающаяся в спорт (охота, рыболовство, собирательство); 2. использование ландшафта как фона для деятельности, свободной от повседневных ограничений и контроля, для добровольного общения с избранным кругом людей; 3. намеренно дозируемое использование «солнца, воздуха и воды»; 4. преодоление расстояний и трудностей для повышения самооценки, ради спортивного самоутверждения; 5. информационно-эстетическое восприятие отдельных «объектов осмотра», разделенных безразличным пространством; 6. постижение ландшафта как целого.

К тому же разные виды искусства «предъявляют» к ней, по-видимому, неодинаковые «требования», по-разному — каждый на своем языке — разыгрывая или отображая природу.

Настоящий поэт... Как бы он ни был углублен в свои внутренние сферы, в глубины гордого (или смиренного) духа, в его стихах проступают и сферы внешние, повсеместно и постоянно окружающие его в жизни. Но чисто географические объекты — страны, реки, города, горы — действуют на поэтов всякий раз индивидуально и совершенно неодинаково.

⁷ Блаватский В. Д. Указ. соч. с. 70—71.

⁸ Теоретизировавший немецкий романтик Новалис писал: «Ландшафт нужно ощущать как тело. Ландшафт есть идеальное тело для особого рода души» (Новалис. Фрагменты. — В кн.: Литературная теория немецкого романтизма. Л., 1934, с. 126).

⁹ Наблюдается даже известное дробление в их рядах — писатели-маринисты, писатели-анималисты и т. д.



В. Э. Борисов-Мусатов (1870—1905). Изумрудное ожерелье [фрагмент].

Прекрасная стиха незавершенность,
Невысказанность мысли до конца,
Что дарит нам, по прихоти творца,
Сотворческих мгновений отрешенность,
Прикосновенья к тайне легкий след
И посвященья радостного свет!..

М. Новожилов

В. Ван Гог [1853—1890]. Море в Сен-Мари [фрагмент].

Передо мною волны моря.
Их много. Им немислим счет.
Их тьма. Они шумят в миноре.
Прибой, как вафли, их печет.

Б. Пастернак



во. Такие города, как Париж, Венеция, Петербург-Ленинград можно безошибочно назвать столицами поэтического вдохновения. То же можно сказать и о некоторых реках — Волге, Рейне, Дунае или же о горах — Фудзияме, Монблане¹⁰. Широко распространены в литературе патристические мотивы, тема любви к отечеству¹¹, но так же известно и то, что многие поэты испытывали самые теплые чувства — вплоть до благодарности и благоговения — и перед чужими странами (например, Р. М. Рильке перед Россией и Испанией).

Очевидно, что различные ландшафты и местности обладают неодинаковой эстетической ценностью и провоцируют самые различные (подчас весьма неожиданные) эмоции¹². Измерить их «вдохновляющие потенциалы» нелегко, быть может,

даже невозможно, хотя в качестве первого ориентира тут можно наметить сложную игру пропорций, соотношение типичного и уникального в ландшафте. Также ясно и то, что среда лирики должна быть непременно **вызревшей**, должна обладать некоей **накопленной** духовностью, таить возможность своего философского прочтения. В этом смысле у Акрополя больше вдохновляющей тяги, чем, скажем, у здания СЭВа или Чертановского микрорайона¹³.

Интересно, что акценты воздействия внешней среды на поэтическое творчество менялись. Если Пушкину, Тютчеву, Фету, Бунину мы благодарны за их проникновенные стихи о временах года, о нетронутой сельской природе, то большинству поэтов XX в. за стихи, навеянные созвучными их времени городскими ландшафтами. Таким образом, «урбанизация» поэзии не отстает от подлинной урбанизации человеческой жизни. И это закономерная тенденция. Переход от античного мифологического восприятия природы к современному был во многом подготовлен и предопределен зарождением и развитием городов (начиная с раннего Средневековья), когда под пытливым взглядом горожанина от природы отслаиваются ее мистические пласты, а вместе с ними и сам Человек отрывается от природы, начинает относиться к ней как к объекту.

В рамках «урбанизированной» поэзии особую роль играют не просто города, а города большие и сверхбольшие, обладающие помимо общетипичных городских функций (экономических и административных) специфическим климатом жизнеобитания горожан — сугубо урбанистической средой. Крайний пример — небоскребы Манхэттена, нависшие над головой муравья-горожанина, но в свое время не меньшее впечатление на приезжих могли производить и Москва с ее «сорока сороками», и Рим, и Констан-

¹⁰ Я бы не хотел быть вульгарно понятым в том смысле, что поэт прельщает все прекрасное и безоблачное и, наоборот, отвергает все уродливое и дождливое. Нет, вдохновение может быть даровано и тем, и этим. Разве безоблачны, бестревожны, например, блоковые стихи о Петербурге или Венеции? Никакой ландшафт, никакое конкретное место, разумеется, не имеют и не могут иметь абсолютного, нарочитого приоритета в отношении их вдохновляющей способности. Вместе с тем не лишено оснований и то, высказанное Д. Л. Армандом, мнение, что «культурные ландшафты менее разнообразны, чем естественные, они не обладают столь богатой палитрой красок и форм». Во всяком случае, «те и другие незаменимы» (Арманд Д. Л. Указ. соч., с. 222).

¹¹ М. М. Пришвин писал «Чувство родины в моем опыте есть основа творчества» (Пришвин М. Собр. соч., т. 5, с. 423). В этой связи представляет интерес следующее наблюдение. «Замечательна зрительная привычка человека к географическому пейзажу, среди которого он вырос... Например, голландские пейзажисты, изображая в библейских и евангельских сюжетах Палестину или Египет, которых никогда не видели, ...давали смесь голландского пейзажа с римскими развалинами» (Семенов-Тянь-Шанский В. П. Район и страна. М.—Л., 1928, с. 52—53).

¹² Вот несколько примеров «ландшафтных» ассоциаций, возникших у В. П. Семенова-Тянь-Шанского. Пещерный неорганический ландшафт производит «мрачно-фантасматическое впечатление, и в нем заложены основы людской демонологии», а культурный ландшафт большого города вызывает у него впечатление «скудное или жутко-нервное, подобное тому, какое производит неспокойная толпа» (Семенов-Тянь-Шанский В. П. Указ. соч., с. 51).

¹³ Впрочем, не следует забывать, что и Акрополь некогда был новостройкой. Так же как и Арбат, более непосредственный и точный антипод Чертанова или Бирюлева. Быть может, самым ярким и известным примером эволюции общественного отношения к той или иной современной постройке является Эйфелева башня — нынешний символ Парижа, первоначально принятый в штыки.

тинополь, и другие мировые города. Особенно разителен этот контраст для сельского жителя или же обитателя небольшого городка. В этой связи чрезвычайно интересна мысль Мандельштама о том, что такого рода ощущением пронизана «Божественная комедия» Данте: «Ад висит на железной проволоке городского эгоизма... Inferno — высший предел урбанистических мечтаний средневекового человека. Это в полном смысле мировой город. Что перед ним маленькая Флоренция с ее «bella cittadina», поставленной на голову новыми порядками, ненавистными Данту! Если на место Inferno мы выдвинем Рим, то получится не такая уж большая разница. Таким образом, пропорция Рим — Флоренция могла служить порывообразующим толчком, в результате которого появился «Inferno»¹⁴.

В связи с «урбанизацией» поэзии — параллельно с этим процессом — поднимается в цене вдохновляющая значимость ландшафтов, незатронутых человеческой деятельностью (или же затронутых незначительно). В нашей просторной стране таких мест не так уж и мало. Например, эстетическая ценность Кавказа незыблема и непреходяща. От Пушкина до поэтов наших дней тянется список русских поэтов, чье творчество накрепко связано с Кавказом, с его высокогорной гулкостью, с его гордыми, осанистыми людьми и пестрой многовековой культурой.

Редкостной красотой пленил русскую литературу и Крым — еще одна неиссякаемая сокровищница творческих подъемов. В начале XX в. центр крымских вдохновений явно переместился с Южного побережья на Восточное — в Киммерию. Здесь, в поселке Коктебель (ныне Планерское), вокруг дачи поэта и художника Максимилиана Волошина, столетие со дня рождения которого отмечалось в 1977 г., сложился крупный культурный

очаг передовой русской интеллигенции, сюда съезжались погостить поэты и писатели, художники и композиторы, артисты и ученые (а впоследствии и планеристы). Поселок Коктебель славен здоровым климатом и уникальным сочетанием в ближайших своих окрестностях нескольких крайне непохожих, но удивительных своей собственной красотой ландшафтов. Тут и величественная готика Карадагских хребтов, этой «геологической поэмы», и плещущая тишина укромных и уютных бухт, в галек которых прячутся знаменитые коктебельские камушки — сердолики, агаты, халцедоны, яшма; тут и мягкая, библейская лиричность прекрасных лесистых холмов, тянувшихся на север до Старого Крыма и на запад — почти до Судака; тут же, наконец, и настоящая степная ширь, виноградное раздолье — к востоку, в сторону Феодосии, а также на западе, в районе мыса Меганом.

...Туда душа моя стремится,
За мыс туманный Меганом...

— написал Мандельштам. Здесь, в «печальной Тавриде», в этом заповеднике природы и духа, не только легко дышалось — смесью морского и горного воздуха, не только до усталости шагало — по крутым панорамным тропинкам, но и упорительно работало. Недаром ассоциациями, связанными с каменистыми киммерийскими местами, пронизаны многие произведения Волошина:

Огонь древних недр и дождевая
влага

Двойным резцом ваяли облик твой —
И сих холмов однообразный строй,
И напряженный пафос Кара-Дага.
Сосредоточенность и теснота
Зубчатых скал, и рядом широта
Степных равнин, и мреющие дали
Стиху разбег, а мысли меру дали.

Моей мечтой с тех пор напоены
Предгорий героические сны
И Коктебеля каменная грива;
Его поляны хмельная моей тоской,
Мой стих поет в строфах его
прилива.

И на скале, замкнувшей зыбь залива,
Судьбой и ветрами изваян профиль
мой.

¹⁴ Мандельштам О. Э. Разговор о Данте. М., «Искусство», 1967, с. 46, 84 (черновая запись). Конечно же Inferno (Ад) подобен Риму, но прав и В. Шкловский, заметивший, что «Ад в то же время Флоренция, но условный город, наполненный борьбой партий, Ад так наполнен флорентинцами, что туда не могут пробиться грешники из тогдашнего, довольно обширного, мира. Ад представляет собой средневековое понимание истории как истории своего города» (Шкловский В. Тетива. О несходстве сходного. М., 1970, с. 175).



А. В. Лентулов [1882—1945]. Нижний Новгород.

Над монастырскою стеной
Зубчатый воздух распластлся,
И август на ветру плескался,
В закате растворяя зной...

П. Нерлер

Много в нашей стране и других мест, достойных воспевания или же стимулирующих его. Бунин, например, полушутя говорил, что все орловские помещики хорошо пишут: Тургенев, Лесков, Фет, Апухтин,

сам Бунин, Леонид Андреев, некоторые другие (Пришвин, кстати, тоже «орловский»).

Если практическая реализация прагматических ресурсов чревата их истощением и даже уничтожением, то эстетическая «эксплуатация» вдохновляющих ресурсов не представляет для них никакой угрозы или вреда. Их творческое присвоение поэтом ничем не умаляет право его коллег на точно такое же — но, конечно, совершенно иное — «присвоение». Перед ними всякий раз предстает как бы нетронутая целина, осваивать которую — их святой долг, призвание и предназначение.

В то же время места, «закрепленные» в гениальных произведениях поэтов



М. Утрилло. Церковь св. Петра на Монмартре близ собора Сакре-Кер.

Чтоб целомудренно слагать стихи
в Париже,
Хочу, как звездочет, я к небу жить поближе,
В мансарде с небольшим оконцем,
чтобы там,
В соседстве с тучами внимать колоколам...
Ш. Бодлер

и писателей, равно как и места, где вдохновлялся их гений, где они творили, вполне достойны того, чтобы стать особого рода природно-литературными заповедниками, своего рода поэтическими заказ-

никами. «Мы — путники в сторону Пушкина, и хотя это путь нашего разума, нашей нравственности, географически он приводит нас в Михайловское: где же быть Пушкину, как не здесь?»¹⁵.

Смысл и идея любого заповедника — в подлинности, точнее, в доподлинности сбережения заповеданного. Мы живем на Земле, которая кормит нас, греет и одевает, но не только полезной, не только щедрой должна быть наша планета, но и прекрасной, цветущей.

¹⁵ Ахмадулина Б. Вечное присутствие. Пушкинский праздник. — Специальный выпуск «Литературной газеты» и «Литературной России», 4—9 июля 1976, с. 14—15.

Высокопроницаемые межклеточные контакты

Т. В. Потапова, М. Б. Беркинблит



Татьяна Васильевна Потапова, кандидат биологических наук, младший научный сотрудник межфакультетской проблемной лаборатории им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается изучением проницаемости клеточных мембран.



Михаил Борисович Беркинблит, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Института проблем передачи информации АН СССР. Автор научно-популярных книг: *Фантазия и реальность* (совместно с А. В. Петровским). М., 1968; *Математические проблемы в биологии* (совместно с С. В. Фоминым). М., 1973.

В последние десятилетия, в связи с успехами молекулярной биологии и появлением ряда новых методических возможностей (электронная микроскопия, внутриклеточные микроэлектроды, культура ткани и др.), наука о клетке переживает новый подъем. Среди многих проблем в центре внимания оказалась и проблема клеточных взаимодействий. Привычные для биологов представления о способах «общения» клеток друг с другом значительно расширились благодаря открытию движения веществ из клетки в клетку через высокопроницаемые контакты.

Как известно, важную роль во взаимодействии клеток играет поверхностная

мембрана. Эта тонкая (около 7 нм толщиной) оболочка избирательно пропускает внутрь клетки или наружу определенные вещества. До открытия высокопроницаемых контактов мембране живых клеток отводилась в межклеточном общении роль барьера, который с помощью рецепторов («глаз», «ушей» и «языка» клетки) воспринимает химические сигналы от других клеток. Например, гормоны, блуждающие с кровью, или медиаторы, выделившиеся из близлежащего нервного окончания, передают сообщения об изменениях в окружающей среде внутрь клетки. За последние 10—15 лет выяснилось, что очень часто при сближении клеток поверхностная мембрана в области контакта приобретает

новые свойства, позволяя химическим веществам или электрическим сигналам передаваться с высокой эффективностью прямо из клетки в клетку, минуя межклеточную среду. Свойствам высокопроницаемых межклеточных контактов (обозначим их ВК) и их значению в жизни клеток и тканей посвящена эта статья.

Почти одновременно в США, Англии, Франции и других странах возник ряд коллективов, специально занимающихся изучением ВК. Начиная с 1965 г. в этом направлении работает группа межклеточных взаимодействий проблемной лаборатории им. А. Н. Белозерского (МГУ), а в настоящее время и лаборатория межклеточных взаимодействий Института проблем передачи информации АН СССР¹ и ряд других групп и лабораторий в Москве, Ленинграде, Киеве, Минске, Пущино и др. С фактами и гипотезами, относящимися к этой проблеме, мы и хотели бы познакомить читателей².

ВК В ВОЗБУДИМЫХ ТКАНЯХ

Поверхностная мембрана электро-возбудимых клеток (нервных, мышечных) обладает высоким удельным электрическим сопротивлением (10^3 — 10^4 Ом·см²). Такие клетки нередко образуют друг с другом контакты площадью от одного до нескольких десятков квадратных микрон. Расчеты показывают, что если бы свойства контактной мембраны не отличались от свойств наружной мембраны, то во второй клетке можно было зарегистрировать не более 0,0001 от изменения потенциала в первой.

Между тем в ряде электрофизио-

логических опытов изменения потенциала во второй клетке оказываются вполне заметными и даже близкими по величине к тем, что наблюдаются в первой клетке. Такие клетки назвали электрически связанными. Величину этой связи характеризуют «коэффициентом связи» ($K_{\text{связи}}$), измеряемым отношением потенциалов в соседних контактирующих клетках (V_{II}/V_I).

Иногда такую связь называют еще «низкоомной». На некоторых объектах, где были измерены не только изменения потенциала, но и геометрические параметры зоны контакта, удалось оценить удельное сопротивление собственно контактных мембран. Оказалось, что оно может быть на 5—6 порядков (!) ниже, чем у наружной мембраны.

Электрические контакты с низким сопротивлением обнаружены между клетками сердечной ткани, между гладкомышечными клетками, а также между нейронами (в этом случае их называют «электрическими синапсами»). Как правило, такие контакты служат для быстрой и эффективной передачи возбуждения от клетки к клетке. В ряде случаев электрические синапсы расположены в цепях, обеспечивающих быстрые реакции убега (у дождевых червей, моллюсков, летучих рыб и др.). Быстродействие электрических синапсов связано с отсутствием промежуточного химического звена (выделения и диффузии медиатора). По-видимому, с тем же самым связана их высокая надежность.

В синусном узле, обеспечивающем запуск и ритм работы сердца, содержатся сотни тысяч спонтанно активных клеток. Электрическая связь между этими клетками обеспечивает их синхронизацию. В культуре ткани разобщенные сердечные клетки сокращаются каждая в своем ритме, а при установлении электрической связи активность их синхронизуется, причем клетки могут начать биться либо с частотой, меньшей, чем исходные, либо с частотой, большей, чем у каждой клетки до контакта, либо с промежуточной частотой. Понять значение свойств клетки и параметров связи для возникновения разных ритмов помогло машинное моделирование контакта между двумя разнородными сердечными клетками, выполненное нашей группой. Ту же функцию синхронизации активности играет электрическая связь и в ряде нейронных структур. Так, например, прямое взаимодействие электрическими сигналами через электрические синапсы между нейронами, управляющими элект-

¹ В дальнейшем, говоря «наш коллектив», мы будем иметь в виду именно эту группу и лабораторию, возглавляемые Л. М. Чайлаханом.

² Статья написана по материалам Всесоюзного совещания «Локальные взаимодействия между клетками с помощью высокопроницаемых контактов» (июнь 1976 г., Пущино-на-Оке). В основном мы использовали материалы докладов: «Электрические синапсы» (М. Б. Беркинблит, Л. М. Чайлахан), «Физиологические свойства высокопроницаемых контактов и механизмы их формирования» (Т. В. Потапова), «Межклеточные контакты и дифференцировка» (В. П. Божкова, Л. М. Чайлахан), «Метаболическая кооперация между клетками» (Л. А. Миттельман), «Межклеточные контакты и малигнизация» (Л. Ю. Бойцова, Ю. Ю. Шаровская), «Ультраструктура контактов» (Я. Ю. Комиссарчик, Е. С. Смигиревская).

рическими органами рыб, обеспечивает строго одновременное срабатывание всех пластин электрического органа.

Наряду с выяснением функционального значения ВК естественно возник вопрос о механизме прямой связи, минуя межклеточную среду, через зону контакта. Предполагалось, что ВК — это область тесного сближения мембран с низким сопротивлением, разделенных узкой щелью. Однако теоретический анализ свойств зоны контакта, выполненный нашим коллективом в 1965 г., показал, что для

вопроса стало возможным после изучения ВК у невозбудимых тканей.

ВК НЕВОЗБУДИМЫХ ТКАНЕЙ И НЕКОТОРЫЕ ИХ СВОЙСТВА

Использование электрофизиологического метода в опытах на невозбудимых тканях привело к неожиданному открытию: клетки печени, эпителия, многих других тканей и клеточных культур оказались электрически связанными.

Возникло предположение, что в не-

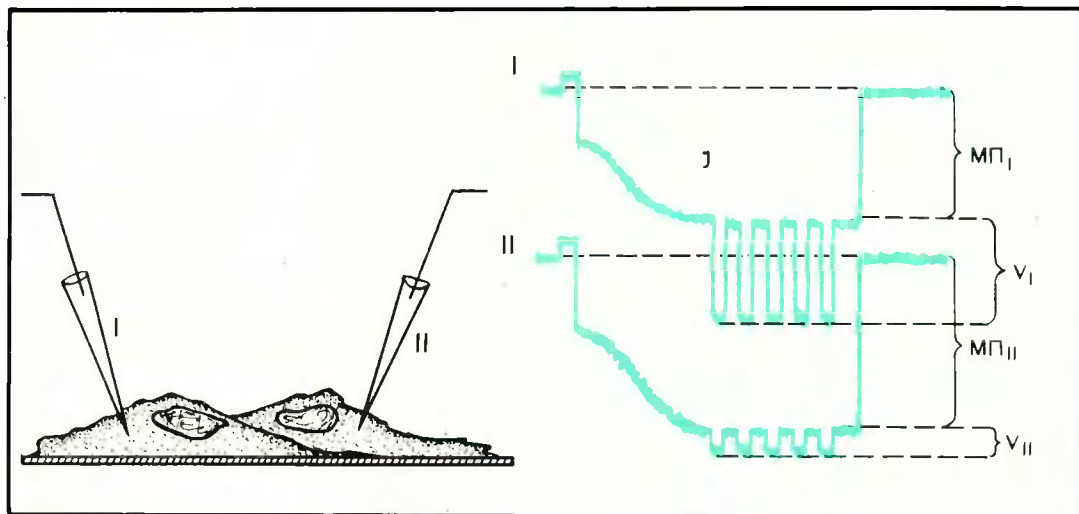
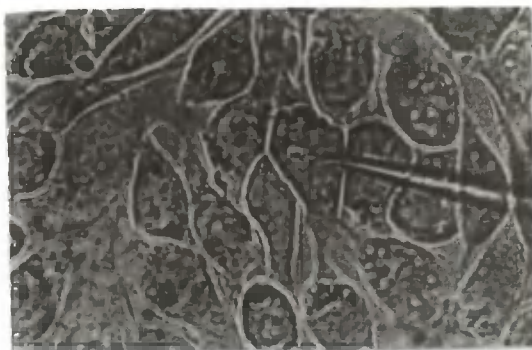


Схема измерения электрической связи между клетками. Вводя микроэлектроды в соседние клетки I и II и пропуская ток ($I^0 = 10^{-8}$ А) через клетку I, можно зарегистрировать изменение потенциала $[V_I]$ в клетке I, а если клетки связаны высокопроницаемыми контактами, то и в клетке II $[V_{II}]$. Отношение V_{II} / V_I называют «коэффициентом связи» ($K_{\text{связи}}$): чем больше $K_{\text{связи}}$ тем интенсивнее межклеточный обмен в зоне контакта, чем меньше $K_{\text{связи}}$ тем обмен слабее. У разных пар клеток экспериментально зарегистрированы $K_{\text{связи}}$ от 0,01 до 0,97. МП_I и МП_{II} — мембранные потенциалы клеток I и II.

клеток сердечной мышцы невозможно получить $K_{\text{связи}} > 0,3$, если контактная мембрана однородна (т. е. во всех точках имеет одинаковое удельное сопротивление). В то же время экспериментально было показано (С. Вайдманом и др. на сердце теплокровных, а в нашей лаборатории на сердце лягушки), что $K_{\text{связи}}$ для миокарда превышает 0,95. Какие же особенности строения ВК обеспечивают определяемые в эксперименте свойства? Выяснение этого

возбудимых тканях электрическая связь просто указывает на обмен ионами между клетками. Но только ли мелкими неорганическими ионами, переносчиками электрический ток, или и другими веществами? Очевидно, что ответить на этот вопрос с помощью чисто электрических измерений невозможно. Развитие проблемы требовало новых методов изучения проницаемости контактов, и такие методы были разработаны. Основную информацию о проницаемости контактов дает использование веществ, не проникающих (или плохо проникающих) через наружные мембраны. Порция такого вещества вводится внутрь клетки с помощью микропипетки и микроманипулятора под контролем микроскопа. Появление вещества в соседней клетке свидетельствует о наличии между клетками высокопроницаемого контакта. Чаще всего в таких опытах используют люминесцирующие красители, которые легко обнаружить в живой клетке. Удобны также вещества с высокой электронной плотностью для наблюдения в электронном мик-



Обнаружение высокопроницаемых контактов с помощью люминесцирующего красителя: слева — микрофотография в светлом поле микроскопа [увел. в 400 раз]; справа — то же самое в темном поле.



роскопе или меченые изотопы в сочетании с методом радиоавтографии. Сопоставление данных, полученных этими методами, с электрическими измерениями и морфологическими данными показало, что вещества могут проникать прямо из клетки в клетку несколькими способами.

В простейшем случае клетки могут быть связаны протоплазматическими мостиками диаметром до 1 мкм, через которые проникают даже макромолекулы и органеллы. Иногда движение веществ через такие мостики оказывается односторонним. Например, в половых железах у насекомых транспорт молекул и органелл через межклеточные мостики направлен обычно от питающих клеток к собственно половым клеткам. Это на первый взгляд загадочное явление получило объяснение после серии тщательных электрических измерений. Оказалось, что между питающей и половой клетками существует разность потенциалов около 10 мВ, которая и приводит к электрофоретическому транспорту внутриклеточных частиц, как правило, несущих на поверхности отрицательный заряд. В опытах с обращением градиента потенциала частицы двигались в аномальном направлении: от половой клетки к питающей.

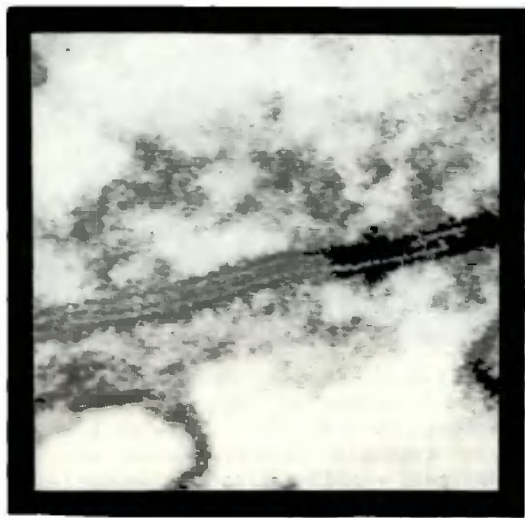
Однако гораздо чаще через область контакта проникают только низкомолекулярные водорастворимые вещества, а в зоне контакта имеются особые структуры — щелевые контакты. Такие контакты обнаружены между клетками возбудимых и невозбудимых тканей взрослых организмов, зародышей, а также тканевых и клеточных культур.

Изучение высокопроницаемых контактов показало, что через них передаются ионы (Na^+ , K^+ , Cl^- , J^- и др.), молекулы сахарозы (молекулярный вес 342 дальтона) и целого ряда красителей (м. в. от 252 до 990 Д), полипептиды (м. в. до 1000 Д) и синтетические олигосахариды (м. в. до 1300 Д). Учитывая размеры переносимых веществ, можно предположить, что межклеточная диффузия проходит по водным каналам диаметром около 1 нм. Именно такой вывод делают в настоящее время большинство исследователей.

ЩЕЛЕВОЙ КОНТАКТ — МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СУБСТРАТ ВК

Щелевые контакты найдены у большинства объектов, способных обмениваться низкомолекулярными веществами в обход внешней среды. Для ряда таких объектов щелевой контакт — единственный тип строения зоны сближенных мембран. Если в эксперименте нарушить проницаемость ВК, то параллельно нарушается и структура щелевых контактов. Все эти данные привели к убеждению, что щелевой контакт и есть морфологический субстрат ВК.

Электронный микроскоп помог не только найти, но и дал возможность увидеть устройство этой структуры. В области контакта мембраны соседних клеток сближены на расстояние 2—4 нм, а щель между мембранами заполнена поперечными периодическими мостиками электронноплотного вещества. Детали строения щелевого контакта выявляли с помощью самых тонких методов электронной микроскопии: негативного контрастирования ультратонких срезов, приготовления отпечатков с расколотых вдоль плоскости мембраны замороженных препаратов и др. Оказалось, что поперечные мостики щелевого контакта создаются скоплением в этой области большого числа глобулярных частиц размером около 10 нм.



Щелевой контакт между клетками печени крысы (увел. в 200 тыс. раз; фиксация 2,5% глутаральдегидом, постфиксация OsO_4). Электронная микрофотография Е. С. Смигиревской.

Щелевой контакт оказался благодарным объектом не только для морфологов, но и для биохимиков. Повышенная устойчивость контактных мембран к ряду воздействий, разрушающих наружные мембраны, позволила получить препараты контактных мембран в чистом виде³. Обычно выделяют фрагменты щелевых контактов, которые выглядят под электронным микроскопом, как обрывки характерных комплексов сдвоенных мембран с поперечными периодическими мостиками между ними. Биохимический анализ показывает, что контактные мембраны состоят из одного типа основного белка (или полипептида?) с молекулярным весом около 20 тыс. Д и двух типов липидов: фосфатидилхолина и фосфатидилэтаноламина.

Успехи препаративной биохимии ВК позволяют надеяться, что в будущем удастся с помощью выделенных компонентов щелевого контакта реконструировать ВК на модельных искусственных мембранах.

ДИНАМИКА ФОРМИРОВАНИЯ ВК

На разных объектах показано, что ВК — структура лабильная, она довольно быстро образуется и легко ликвидируется. Сопоставление экспериментальных данных и современных представлений о мембране как жидкокристаллической липидной структуре с подвижными белковыми включениями дает представление о динамике формирования щелевых контактов и установления через них диффузионного обмена.

Экспериментаторы, изучавшие эту динамику, отмечают сходный характер процесса для разных объектов. Так, Дж. Д. Шеридан⁴ с сотрудниками изучали образование высокопроницаемых контактов для клеток гепатомы Новикова. Сначала в локальных участках противоположных мембран, разделенных щелью шириной 10—20 нм, то тут, то там наблюдаются частицы размером 10 нм, которые иногда, сближаясь, касаются друг друга. Затем щель сужается до 2—4 нм, возможно, вследствие взаимодействия частиц. Частицы начинают агрегировать, образуя упорядоченную структуру щелевого контакта. В этот момент возникают первые признаки повышения проницаемости контактных участков. Наконец, маленькие агрегаты глобул сливаются в большие; параллельно увеличивается эффективность диффузионного обмена между клетками. Весь процесс занимает 5—40 мин.

С. Ито, Е. Сато и В. Р. Левенштейн⁵ наблюдали аналогичный процесс на зародышевых клетках тритона и пришли к выводу, что, хотя объединения двух частиц уже достаточно для диффузионного обмена, существенную роль в повышении эффективности обмена играет агрегация отдельных пар глобул в комплексы. Проницаемость ВК в целом растет быстрее, чем сумма проницаемостей отдельных каналов, так как смыкание стенок каналов увеличивает сопротивление утечки контакта, т. е. ослабляет обмен с наружной средой. Здесь, как и в ряде других ситуаций, клетки пользуются выгодами кооперации одинаковых узлов.

Какие молекулярные механизмы лежат в основе изменений свойств мемб-

³ Goodenough D. A., Stoekelius W. — «J. Cell. Biol.», 1972, v. 54, p. 646—656.

⁴ См. обзор: Sheridan J. D. — «Cell Communication», ed. by C. E. Cox, 1974.

⁵ Ito S., Sato E., Loewenstein W. R. — «J. Membr. Biol.», 1974, v. 19, p. 305—350.

раны при установлении ВК, пока сказать трудно. В опытах Шеридана ингибирование синтеза белка до сближения клеток не мешало образованию ВК. Таким образом, белок, из которого состоят частицы ВК, имеется у клеток до контакта.

Имеются ли у клеток специализированные участки, которыми они должны соприкоснуться для установления ВК? Ито, Сато и Левенштейн с помощью микроманипулятора сближали зародышевые клетки тритона, затем, после образования ВК (о чем судили по возникновению электри-

ческой связи), отодвигали клетки друг от друга и заново сближали. При повторном сближении клетки поворачивали, чтобы они соприкасались либо теми краями, в которых уже образовывались ВК, либо соседними, либо противоположными. Никаких преимуществ у разных участков клеточной поверхности в этих опытах не обнаружилось.

И еще одно важное свойство формирования ВК — его неизбирательность. Мы имеем в виду показанное на культурах тканей отсутствие видовой и тканевой спе-

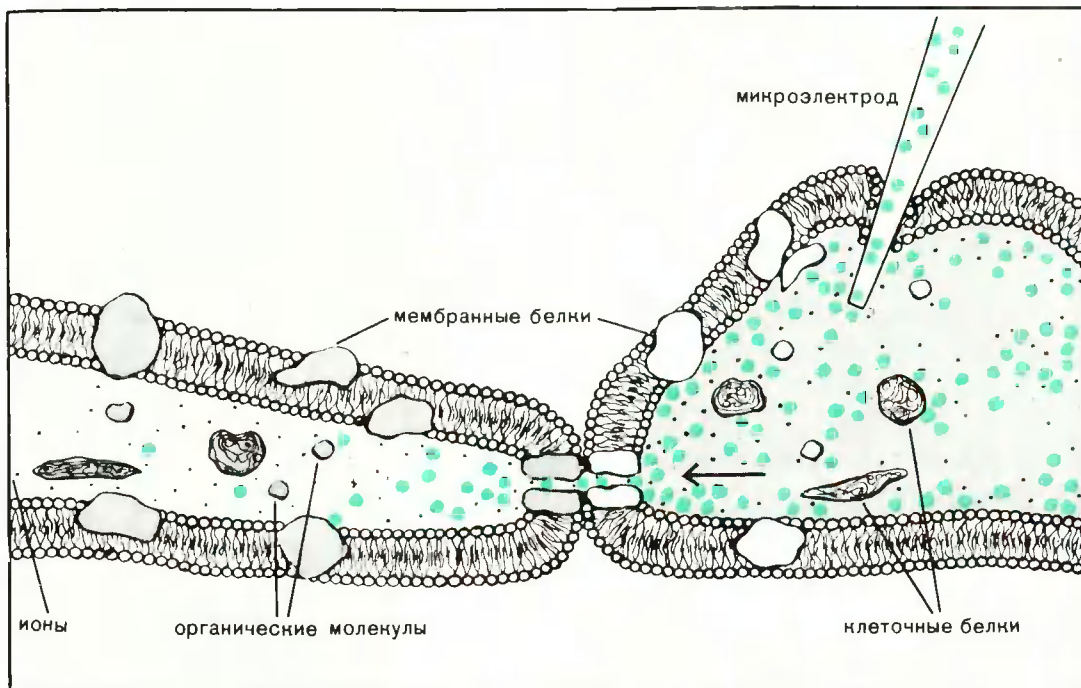


Схема высокопроницаемого контакта между отростками двух клеток: диффузионный канал указан стрелкой. В области щелевого контакта каждая белковая глобула включена в мембрану одной из клеток и связана с аналогичной глобулой соседней клетки. Предполагается, что внутри такого комплекса проходит канал, пропускающий некоторые вещества прямо из клетки в клетку, минуя межклеточную среду. С помощью микроэлектрода вводится люминесцирующий краситель (указан цветом), через 1 мин он обнаруживается в соседней клетке.

цифичности ВК. Они могут образовываться между клетками животных разных видов и клетками разных тканей: хрусталика кролика и печени крысы, соединительной и сердечной ткани, клетками печени и кожи и т. д. При изучении трансформированных фибробластов мыши и крысы в нашей группе обнаружено, что некоторые из клеток даже «охотнее» устанавливают ВК с клетками другого типа (например, нормальными фибробластами мыши), чем с себе подобными.

ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ПРОНИЦАЕМОСТЬ ВК

Как для понимания механизма формирования ВК, так и для понимания их

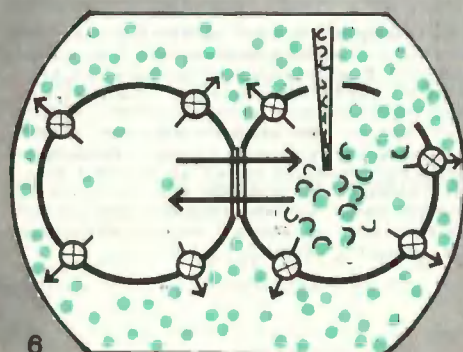
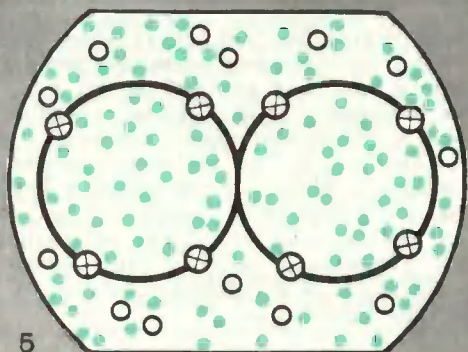
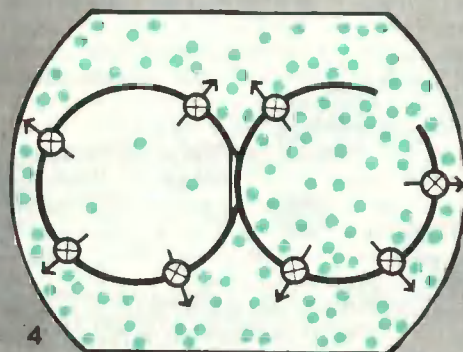
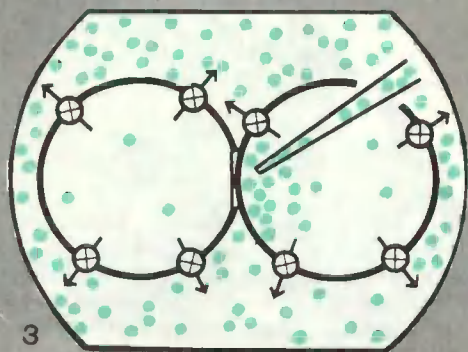
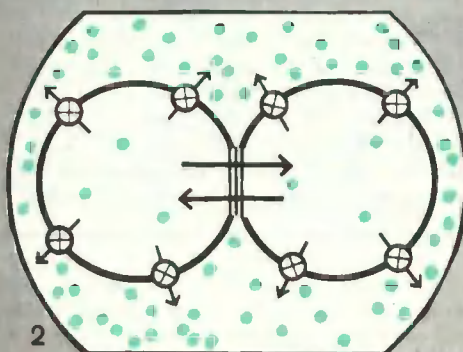
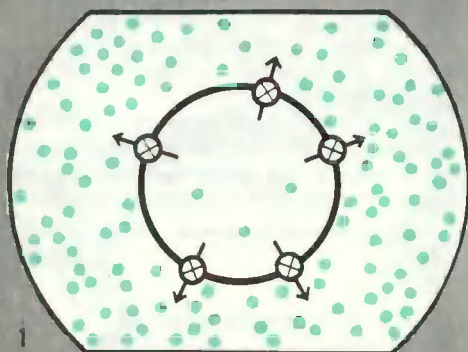
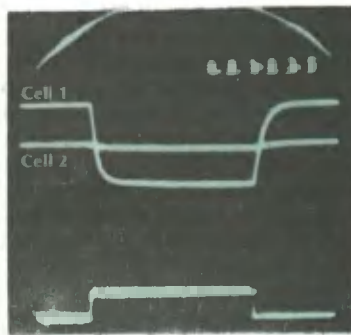
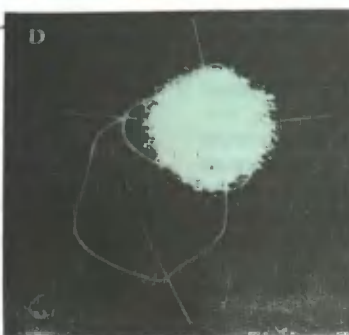
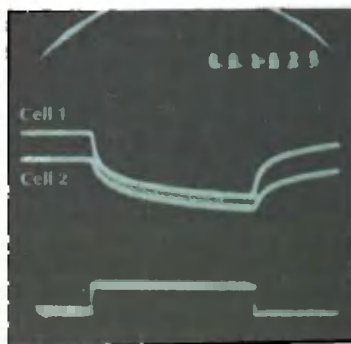
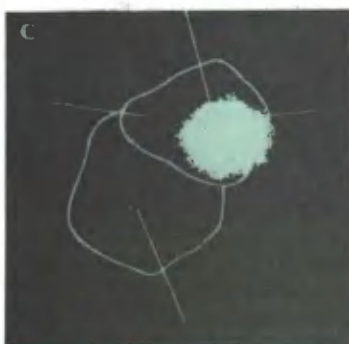
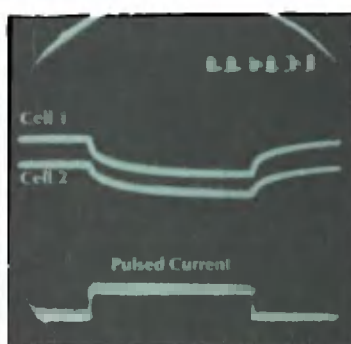
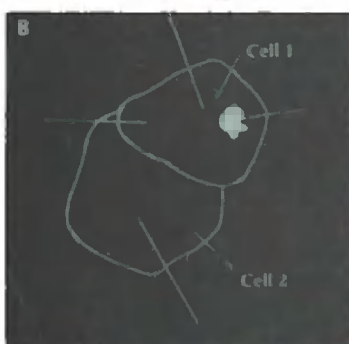
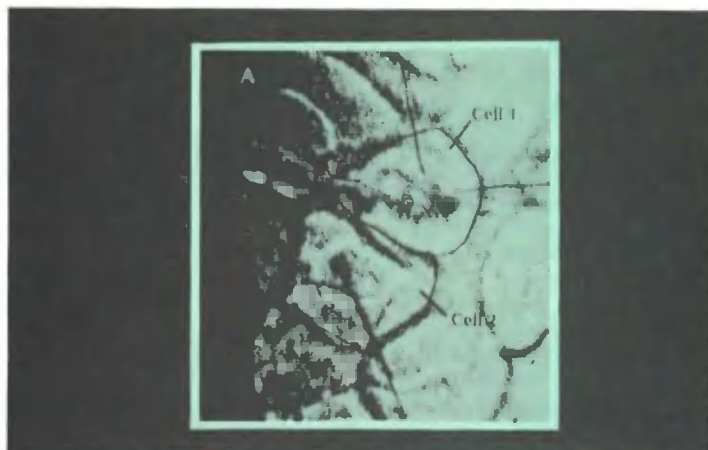


Схема влияния ионов Са на высокопроницаемый контакт (ВК). 1 — в нормальной клетке концентрация ионов Са не превышает 10^{-4} М, так как клетка выбрасывает избыток ионов Са в межклеточную среду, где концентрация $\text{Ca} \sim 10^{-3}$ М. Механизм, обеспечивающий постоянство концентрации ионов Са в клетке, называется Са-насосом; 2 — две нормальные клетки могут образовывать ВК; 3 — увеличение концентрации ионов Са в области ВК в результате микроинъекции приводит к блокаде ВК; 4 — проникновение избытка ионов Са в результате повреждения мембраны также блокирует ВК; 5 — добавление в среду цитанида нарушает работу Са-насосов; 6 — инъекция в поврежденную клетку вещества, связывающего ионы Са (ЭДТА), снимает блокаду ВК.



Экспериментальное доказательство роли ионов Са в проницаемости ВК [опыт Левенштейна]. Область повышенной концентрации Са хорошо видна благодаря введению в клетку белка эвпорина. А — микрофотография клеток слюнной железы в светлом поле; В, С, D — последовательные стадии изменения проницаемости ВК [слева — микрофотографии клеток в темном поле, справа — мембранные потенциалы двух клеток]. Когда область повышенной концентрации ионов Са в клетке находится далеко от зоны контакта, отклонения мембранных потенциалов в двух клетках практически одинаковы (В). При увеличении концентрации ионов Са вблизи контактов электрическая связь нарушается (D). С — промежуточная стадия.

роли в организме необходимо иметь средства избирательно блокировать или стимулировать их деятельность.

Экспериментально показано, что нарушить проницаемость контактов можно разными способами: снижением температуры среды, добавлением в среду метаболитических ядов (цианид, динитрофенол и др.), внутриклеточными инъекциями ионов Са или Na, механическим повреждением одной из клеток и пр. Большинство этих на первый взгляд разнородных воздействий удается свести к «одному знаменателю» — повышению внутриклеточной концентрации ионов Са.

Эта гипотеза была недавно убедительно подтверждена в эффектных опытах Левенштейна с использованием внутриклеточных инъекций белка экворина, способного интенсивно люминесцировать при повышении концентрации ионов Са. Оказалось, что у клеток слюнной железы личинки дрозофилы проницаемость ВК менялась параллельно с изменением концентрации ионов Са вблизи контакта, причем именно вблизи. Используемая в этих опытах телесистема, регистрирующая свечение с разрешением до 1—2 мкм, позволила наглядно убедиться, что в нормальной клетке очень трудно вызвать повышение концентрации Са дальше, чем в 1—2 мкм от места инъекции: ионные насосы ликвидировали избыток Са, пока их работа не была остановлена ядами.

Механизм влияния Са на работу ВК совершенно не ясен. Может быть, действие Са изнутри на белковую глобулу контакта вызывает смыкание канала, а белок глобулы в каком-то смысле сократим? Однако сам факт Са-регуляции проницаемости ВК объясняет влияние на ВК перечисленных выше факторов: действие метаболитических ядов приводит к накоплению Са в цитоплазме; механическое повреждение вызывает проникновение в клетку Са из наружной среды, где его много; снижение температуры уменьшает выход ионов Са из клетки за счет снижения уровня обмена веществ и т. д.

В этой связи обращают на себя внимание недавние работы В. Мелло⁶, в которых показано, что снижение обменных процессов в сердечной мышце может приводить к размыканию ВК и блокировать проведение импульсов. Возможно, именно в этом состоит механизм нарушения

сердечной деятельности при передозировке лекарственных препаратов, относящихся к группе сердечных гликозидов.

Помимо воздействий, нарушающих проницаемость ВК, можно привести примеры увеличения количества ВК или повышения проницаемости. В частности, у нас изучается усиление диффузионного обмена между клетками под действием малых доз трехвалентного катиона лантана. После 15—30-минутной обработки солью лантана усиливается обмен люминесцентным красителем как между культивируемыми фибробластами или клетками эпителия мышей и крыс, так и между клетками развивающегося зародыша вьюна. Механизм усиления межклеточной диффузии лантаном пока остается неясным. Недавно Е. С. Снигиревская обнаружила, что между фибробластами мыши после обработки их лантаном увеличивается количество щелевых контактов.

В литературе описан случай, когда между амебами, не образующими колонии, удалось установить электрическую связь (чего в естественных условиях не наблюдается) с помощью лизолецитина (стимулятор слияния клеток); при этом были обнаружены и щелевые контакты.

ВК И ФУНКЦИОНИРОВАНИЕ ТКАНЕЙ

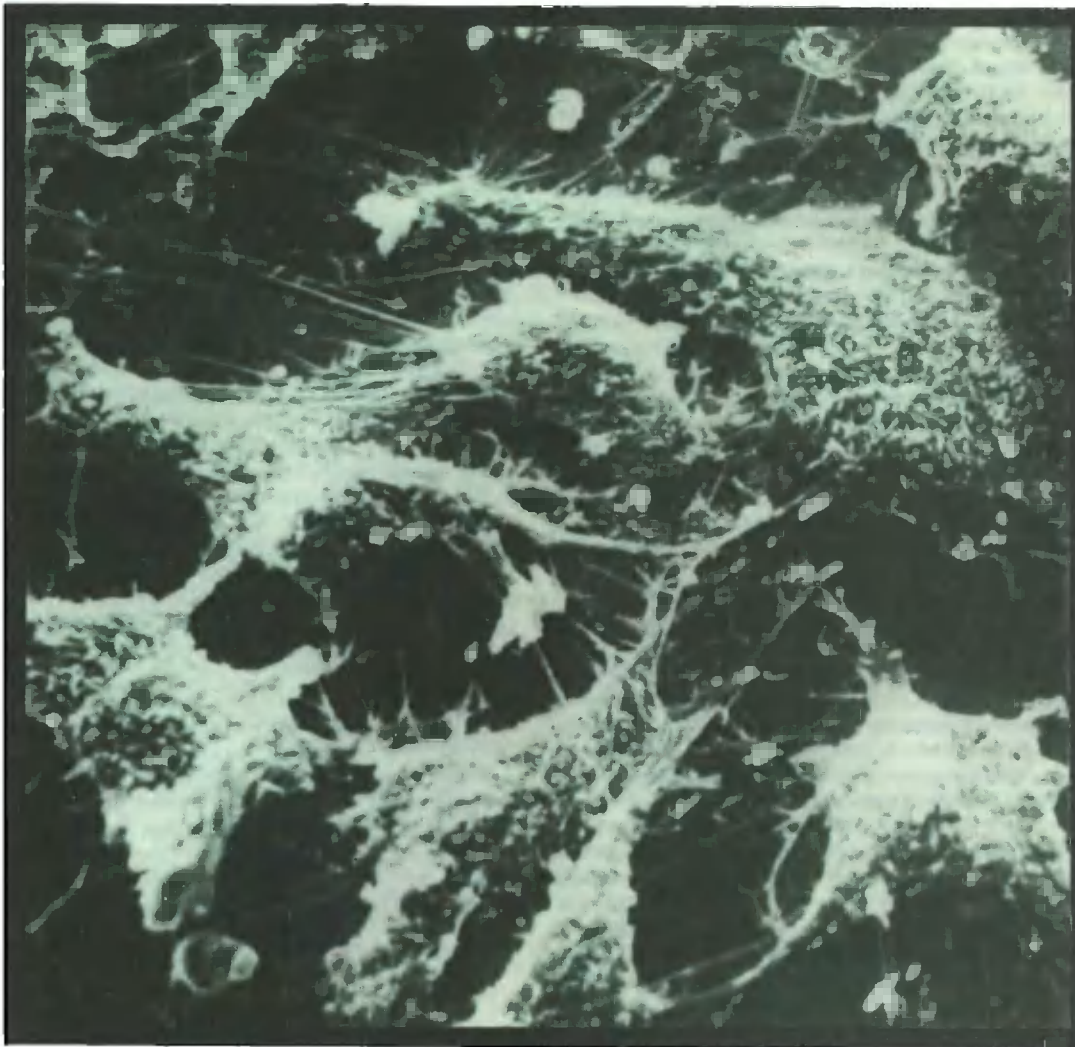
Возможность межклеточного обмена через высокопроницаемые контакты в тканях и органах не позволяет считать ткани конгломератами однородных единиц; скорее это коллективы клеток, тесно связанных взаимными влияниями.

Подробное теоретическое рассмотрение свойств ткани, состоящей из клеток, связанных диффузионными каналами⁷, показало, что совокупность клеток, связанных ВК, обладает до некоторой степени усредненной внутренней средой. А это ведет к ряду важных следствий.

Во-первых, повышается стабильность ткани, ее устойчивость к помехам. Изменения, возникающие в отдельных клетках, будут гаситься соседями. Если в какой-либо клетке возникнут временные нарушения функций (например, она не может поддерживать на должном уровне свой мембранный потенциал), то соседи могут прийти ей на помощь и поддержать нужное значение соответствующего пара-

⁶ Mello de W. C. — «Experientia», 1976, v. 32, № 3, p. 355—357.

⁷ См. сб.: Межклеточные взаимодействия в дифференцировке и росте. М., 1970.



Трансформированные фибробласты мыши обычно плохо контактируют с нормальными клетками, но усиленно образуют ВК после обработки лантаном.

Фотография получена Т. В. Поталовой с помощью сканирующего электронного микроскопа.

метра. Заметим, что если клетка или группа клеток все же погибнут, то в них возрастет концентрация Ca , и каналы, связывающие их с соседями, закроются.

Во-вторых, наличие ВК должно нивелировать случайный разброс в реакциях отдельных клеток на факторы внешней среды.

В-третьих, ВК могут в известной степени компенсировать различия в геометрическом положении клеток ткани. Например, к клеткам, лежащим в глубине многослойного пласта, через ВК могут передаваться сигналы, возникающие при действии гормонов на рецепторы клеток поверхностного слоя.

Большая роль принадлежит ВК в управлении также системами, состоящими из разнотипных клеток в «разделении труда» в них. Можно привести несколько примеров клеточных коллективов, работа которых проходит с участием ВК. Один из них — поведение нейросекреторных клеток передней доли гипофиза. Во время выработки гормона эти клетки объединя-

ются через ВК, образуя систему, подобную сердечной ткани. Изменения потенциала в одной клетке приводят к изменению потенциалов у ее соседей. Это меняет внутриклеточную концентрацию ионов, что, в свою очередь, ускоряет выработку гормона.

Другим примером может служить обнаруженное в последние годы явление метаболической кооперации. В одном из детально изученных случаев такой кооперации взаимодействовали нормальные клетки, способные включать в состав нуклеиновых кислот низкомолекулярный предшественник синтеза — гипоксантин, и мутантные клетки, не способные включать в обмен веществ этот предшественник. Гипоксантин проникает через наружные мембраны внутрь клеток обоих типов, но у мутантов нет специфического фермента для утилизации гипоксантина. Если в окружающую среду ввести гипоксантин, меченный тритием, то методом радиоавтографии радиоактивная метка обнаруживается только в клетках, утилизовавших предшественник.

Этим методом показано, что мутантные клетки, непосредственно контактирующие с нормальными при совместном культивировании, так же как и нормальные клетки, накапливают радиоактивную метку. Электрофизиологические измерения фиксируют в таких смешанных культурах ВК между нормальными и дефектными клетками, а электронный микроскоп — щелевые контакты между ними. Биохимики определили, что сам фермент от нормальных клеток к мутантным не переходит, а переходят какие-то низкомолекулярные промежуточные звенья синтеза: нуклеотиды или их производные. Таким образом, есть все основания считать, что в «исправлении» мутантных клеток участвуют ВК⁸.

⁸ В целом явление метаболической кооперации шире, чем обмен веществами через ВК. Как показал наш коллектив, при совместном культивировании нормальных и трансформированных фибробластов мыши клетки могут обмениваться не только гидрофильными соединениями (ионы, сахара, нуклеотиды и т. д.), но и гидрофобными (метаболиты канцерогенных углеводородов). В литературе описаны случаи обмена между клетками макромолекулы. Кооперация между клетками может осуществляться и через среду, т. е. без прямого контакта друг с другом.

ВК И МАЛИГНИЗАЦИЯ

Вопрос о роли ВК в злокачественном перерождении тканей составляет один из важных моментов в проблеме их функционирования. Вскоре после открытия ВК В. Р. Левенштейн⁹ обнаружил, что ВК, связывающие клетки целого ряда тканей (печень, желудок, щитовидная железа), отсутствовали между клетками злокачественных опухолей тех же тканей. После работ Левенштейна появились данные советских (в том числе полученные в нашем коллективе) и зарубежных авторов о существовании ВК в ряде злокачественных опухолей, иных, чем использованные Левенштейном, причем, на разных стадиях опухолевой прогрессии. Идея о превращении клетки, оторвавшейся от здорового «коллектива» ткани, в клеточного «хулигана», бурно размножающегося в ущерб соседям и захватывающего себе все новые области в организме, пользовалась и продолжает пользоваться большой популярностью, хотя из нее и не выросло стройной теории рака.

Вообще говоря эта идея прямо до сих пор не опровергнута. Возможно, что клетка, потерявшая связь с остальной тканью, стала раковой именно по этой причине. Вопрос о связи нарушений ВК, встречающихся у опухолевых клеток, с другими особенностями роста и функционирования таких клеток продолжает изучаться в настоящее время.

ВК В ИММУНОЛОГИИ

За последние несколько лет изучение ВК началось еще в одной практически важной области биологии — в иммунологии. Хорошо известно, что лимфоциты периферической крови в культуре не делятся. Около 15 лет назад было выяснено, что деление и дифференцировку таких лимфоцитов можно вызвать фитогемагглютинином (ФГА) — белковым веществом из фасоли. Недавно появились данные, что под действием ФГА лимфоциты объединяются в группу, где клетки связаны через ВК ($K_{связи} = 0,1-0,6$). При этом вещества, которые объединяют лимфоциты в группы, не стимулируя их делений (например, антисыворотка), не приводят к установлению ВК. Стимуляция делений и клеточ-

⁹ См. обзор: Loewenstein W. — «Fed. Proc.», 1973, v. 32, № 1, p. 60—64.

ная трансформация наблюдается только в группах и отсутствует у одиночных клеток. Интересно, что стимуляция лимфоцитов ингибируется убаином, который блокирует и ВК в сердце и печени. По-видимому, контакты типа ВК — необходимое звено в ответе лимфоцитов на антиген

ВК И ЭМБРИОГЕНЕЗ

Прежде чем переходить к рассмотрению возможной роли ВК в эмбриогенезе, напомним, что через ВК клетки могут обмениваться веществами с молекулярным весом до 1 тыс. Д. К этой группе относятся такие биологически важные соединения, как аминокислоты, нуклеотиды, стероидные гормоны, витамины и т. д. Интенсивность потока этих веществ может быть достаточно большой. Так, Дж. Ф. Питтс¹⁰ рассчитал, что через ВК способен проходить поток пуриновых нуклеотидов, равный 10^5 — 10^6 молекул/с (эта величина эквивалентна хромосоме кишечной палочки). Вместе с тем структура веществ, проникающих через контакт, представляется относительно простой, чтобы передавать сколько-нибудь развернутую информацию.

Известно, что существует два принципиально разных способа управления сложными системами. В первом случае сообщается вся детализированная программа действий, во втором — вся необходимая информация уже содержится в системе, и достаточно краткой команды, указывающей, какую часть этой информации следует использовать. Например, при составлении программы для цифровой вычислительной машины можно указать всю последовательность команд, которую должна выполнить машина. Однако если в машине уже имеется запас стандартных программ, достаточно указать их номера и порядок использования. Есть серьезные основания считать, что эволюция выработала такую «библиотеку программ» и именно этот способ управления типичен для стандартных биологических ситуаций, к которым относится и эмбриогенез¹¹. Скорее всего,

управление эмбриогенезом идет через включение и выключение каких-то частей генома с помощью относительно простых сигналов.

Эта точка зрения опирается не только на общие соображения, но и на экспериментальный материал. Например, показано, что индукция нервной трубки у амфибий может быть вызвана неспецифическими факторами: красками и неорганическими соединениями. Низкомолекулярные вещества (галактоза, триптофан) могут быть генными регуляторами у бактерий. На уровне генов действуют некоторые гормоны: например, гормон надпочечника (м. в. 300 Д), экдизон — гормон линьки и метаморфоза насекомых и др. В клетках комара-дергунца активацию определенных генов вызывают ионы Na, Mg и Ca. Таким образом, в принципе, несмотря на относительно простую структуру вещества, приходящие через ВК, могут оказать заметное влияние на дифференцировку.

В этой связи интересно рассмотреть ряд примеров связи процессов дифференцировки с формированием ВК. Наиболее тщательно изучена в этом направлении слюнная железа личинки дрозофилы. При дифференцировке клеток слюнной железы примерно в одно время с изменением размеров клеток и увеличением интенсивности межклеточного обмена через высокопроницаемые контакты начинает накапливаться новый мукополисахаридный секрет, т. е. клетки переключаются на новую функцию.

Заманчиво предположить, что обнаруженная экспериментально связь между изменениями проницаемости контактов и функционально-морфологическими изменениями в клетках не случайна и через диффузионные каналы в процессе дифференцировки клеток слюнной железы распространяется некоторое вещество, играющее роль сигнала к изменениям. Если это так, то постепенное изменение проницаемости контактов по длине железы не случайно. В самом деле, одной или несколькими пошедшим по новому пути развития клеткам легче изменить с помощью такого механизма небольшое число соседей, чем всю ткань железы. При увеличении проницаемости контактов сразу по всей железе дистальные клетки, начавшие дифференцироваться первыми, могли бы быть остановлены в своем развитии массовой неизменившихся клеток.

Рассмотрим еще несколько примеров. У развивающихся зародышей амфибий и рыб электрическая связь между от-

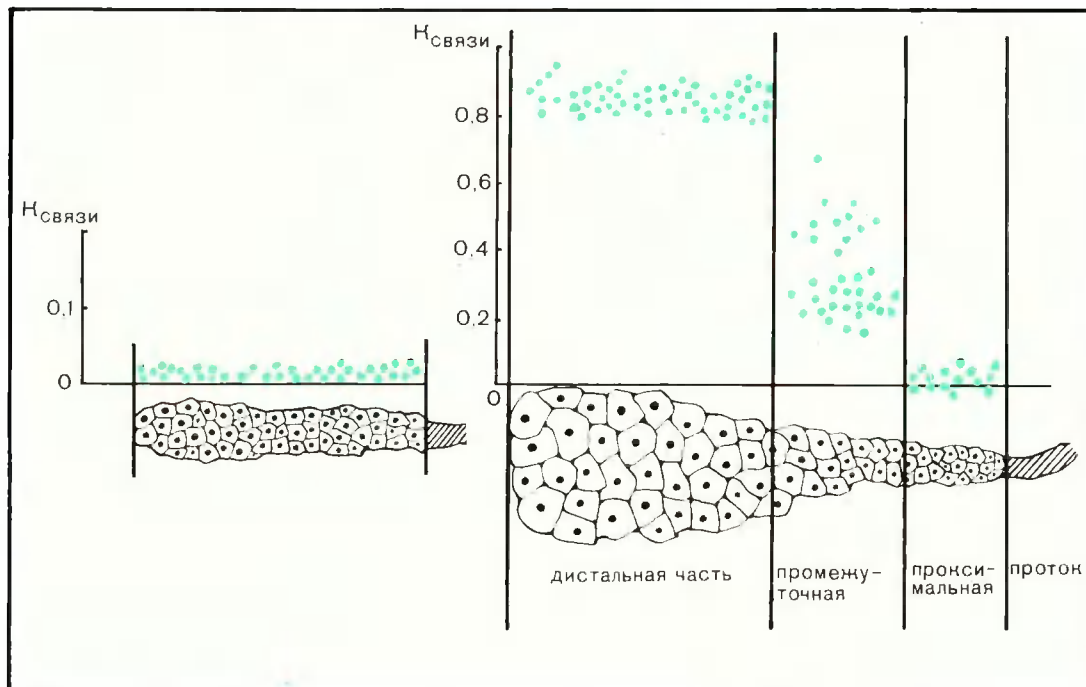
¹⁰ Pitts J. D., Simms J. W. — *Exptl. Cell. Res.*, 1977, v. 104, № 1, p. 153—163.

¹¹ Эта точка зрения была подробно развита в статье: Васильев Ю. М., Гельфанд И. М., Губерман Ш. А., Шик М. Л. Взаимодействие в биологических системах. — *Природа*, 1969, № 6 и 7.

дельными blastomeres, высокая при первых делениях, уменьшается к стадиям средней и поздней бластулы вплоть до полного разобщения. Первые деления проходят синхронно; параллельно с понижением проницаемости контактов идет десинхронизация делений. Возможно, тесная связь blastomeres через ВК служит причиной синхронности первых делений. На стадии бластулы разные клетки должны пойти по разным путям дифференцировки; единство внутренней среды, наверное, мешало бы этому. Не исключено, что

уменьшение проницаемости контактов — необходимое условие для начала морфологической дифференцировки. На еще более поздних стадиях ВК вновь обнаруживаются, но уже внутри отдельных групп клеток, проходящих одинаковые стадии развития. При этом вновь дифференцированные клетки изолируются от клеток недифференцированных. Возможно, это обеспечивает большую устойчивость дифференцировки.

В общем, при развитии зародыша все время идет какая-то сложная игра меж-



Изменение электрической связи при дифференцировке слюнной железы личинки дрозофилы. На ранних стадиях (слева) развития слюнной железы дрозофилы, когда железа состоит из мелких однотипных клеток, электрическая связь отсутствует, а на поздних стадиях (справа), когда размеры клеток увеличиваются, между клетками устанавливается интенсивная электрическая связь. Размеры клеток изменяются постепенно, и в переходных зонах отмечаются промежуточные величины проницаемости контактов ($K_{\text{связи}}$).

клеточных взаимодействий: ВК то присутствуют, то исчезают, то появляются снова.

Есть данные, что на более поздних стадиях развития ВК участвуют в установлении специфичности нервных клеток. Например, в развитии сетчатки (у рыб и амфибий) существует критический период, когда ганглиозные клетки получают программу на установление проекционной картины связей со слоем нейронов мозга. Если после этого периода повернуть глаз на какой-то угол, то аксоны сетчатки все равно будут расти в известные им места по уже установившимся адресам, и зрение животного будет искаженным. В момент фиксации адресов ганглиозные клетки прекращают синтез ДНК и деление, что

считается показателем перехода от неспецифического состояния к специфическому. И в это же время между ганглиозными клетками исчезают щелевые контакты и нарушается диффузионный обмен флуоресцентной меткой. Сетчатка человека проходит морфологически сходный путь развития, и на 8—8,5 неделе жизни эмбриона щелевые контакты также исчезают. Во время развития зрительной системы дафний аксон, идущий из омматида, дорастает до недифференцированного нейробласта и образует с ним щелевой контакт; только после этого нейробласт дифференцируется в нейрон второго порядка (в частности, начинает отращивать свой аксон). Трудно удержаться от того, чтобы считать возникновение ВК причиной описанной дифференцировки.

В действительности, все приведенные выше примеры из области эмбриологии — только корреляции во времени между функциональными и морфологическими изменениями клеток и динамикой ВК. Причинные отношения между этими явлениями пока не ясны. Может быть, более прямое отношение к существу вопроса имеют данные о возможности индуктивных воздействий одних кусочков зародышевой ткани на другие через фильтры с диаметром пор менее 1 мкм. Гистологический анализ показал, что индукция, если она возникает, идет не за счет свободной диффузии веществ через поры фильтра, так как она наблюдается только в тех опытах, где клеточным отросткам удается прорасти фильтр насквозь и установить прямой контакт с другой тканью. Впрочем, то, что эти контакты — именно ВК, в этом случае еще не показано.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Обычно, когда рассматривают межклеточные сигналы, то говорят о двух типах коммуникаций: электрических сигналах, передаваемых по нервным волокнам, и химических сигналах, когда клетки выделяют вещества во внеклеточную среду. Но окончательное действие электрического сигнала, как правило, тоже сводится к выделению в зоне контакта химического посредника (медиатора) из окончаний нервных волокон в межклеточную среду. В связи с этим химический способ взаимодействия клеток через среду рассматривается как наиболее древний.

Открытие ВК показало, что есть еще один способ — более непосредственная передача веществ от клетки к клетке. Че-

рез ВК клетки могут обмениваться также и электрическими сигналами без посредства химического медиатора.

Природа, открыв универсальный способ, которым можно передавать и электрические сигналы и химические вещества, использовала его в самых разных целях: и в электрических синапсах, и в морфогенезе, и в работе тканей. Этот способ межклеточного взаимодействия встречается на всех уровнях эволюции. По-видимому, ген, ответственный за появление белков, формирующих ВК, есть во всех клетках: и в яйцеклетках, и в мышечных, и в нервных, и в соединительнотканых, и в эпителиальных. Он то включается, то вновь тормозится, управляя, по-видимому, самыми разными процессами. Возникает впечатление, что это один из древнейших генетически обусловленных механизмов живых существ, который успешно сохранился в эволюции от амебы до человека.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Васильев Ю. М., Маленков А. Г. КЛЕТОЧНАЯ ПОВЕРХНОСТЬ И РЕАКЦИЯ КЛЕТКИ. М., 1968.

МЕЖКЛЕТОЧНЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ В ДИФФЕРЕНЦИРОВКЕ И РОСТЕ. Сб. М., 1970.

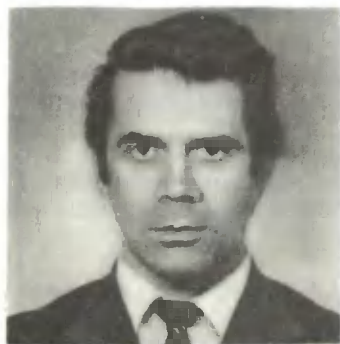
Тринкаус Дж. ОТ КЛЕТОК К ОРГАНАМ. М., 1972.

Нелинейные узкие резонансы в оптике и их применение

В. С. Летохов, В. П. Чеботаев



Владимир Степанович Летохов, доктор физико-математических наук, заместитель директора Института спектроскопии АН СССР, заведующий лабораторией лазерной спектроскопии этого института. Автор работ в области генерации и усиления мощных лазерных импульсов, квантовых стандартов частоты и длины, нелинейной лазерной спектроскопии, селективной лазерной фотохимии и лазерного разделения изотопов. Почетный член Американского оптического общества. Автор (совместно с В. П. Чеботаевым) монографии: Принципы нелинейной лазерной спектроскопии. М., 1975, и др. В «Природе» опубликовал статью «Лазер управляет селективными химическими реакциями» (1974, № 8).



Вениамин Павлович Чеботаев, доктор физико-математических наук, заведующий отделом лазерной физики Института физики полупроводников Сибирского отделения АН СССР. Научные интересы связаны с созданием оптических стандартов частоты, перестраиваемых оптических квантовых генераторов и нелинейной лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения. Вместе с В. С. Летоховым опубликовал монографию «Принципы нелинейной лазерной спектроскопии».

Получение узких и стабильных по частоте резонансных линий в спектрах поглощения или излучения вещества в различных диапазонах электромагнитного излучения — важная проблема физики. Каждое открытие в этом направлении значительно увеличивает точность физического эксперимента и приводит к многочисленным применениям в самых различных областях науки и техники. Здесь можно привести два классических примера.

В 40—50-е годы была развита техника получения узких резонансов в радиодиапазоне с помощью атомных и молекулярных пучков. Например, с помощью двух пространственно разнесенных электромагнитных полей, взаимодействующих с пуч-

ком атомов Cs, удается получать резонансы на переходе между уровнями сверхтонкой структуры основного состояния с шириной $\Delta\nu \approx 50$ Гц на частоте $\nu_0 = 9,3$ ГГц. Это соответствует относительной ширине

$$\Delta\nu/\nu_0 = 5 \cdot 10^{-9}$$

или «добротности» резонанса $Q = \nu_0/\Delta\nu = 2 \cdot 10^8$. Такого рода узкие радиочастотные резонансы легли в основу квантовых стандартов частоты и принятой сейчас во всем мире атомной шкалы времени¹. Погрешность атомной шкалы времени

¹ Ильин В. Г., Сажин В. В. Новый Государственный эталон времени и частоты СССР. — «Природа», 1977, № 8.

составляет сейчас несколько единиц на 10^{-12} , что соответствует ошибке в несколько миллисекунд за сто лет. На сегодняшний день временной интервал или частота — наиболее точно измеряемые физические величины. Научные основы атомных стандартов времени базируются на достижениях новой области науки и техники — квантовой электроники, созданной трудами научной школы Н. Г. Басова и А. М. Прохорова. В Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР в лаборатории Н. Г. Басова были созданы первые отечественные квантовые генераторы с высокостабильной частотой и родились первые идеи получения узких оптических резонансов и квантовых стандартов частоты оптического диапазона на их основе².

Чрезвычайно узкие резонансы в более высокочастотной области спектра, на ядерных переходах, были обнаружены в 1958 г. Мессбауэром. Например, на γ -переходе в ^{67}Zn с энергией кванта 93 кэВ удается получать резонанс с добротностью $2 \cdot 10^{15}$. Узкие резонансы ядерных переходов без отдачи в кристаллической решетке обеспечивают сейчас высшую относительную точность физического эксперимента, порядка 10^{-15} . В промежуточной, оптической области спектра до недавнего времени ширина резонансов из-за уширения их за счет эффекта Доплера была обычно не уже 10^{-4} . В данной статье мы рассмотрим, каким образом новые тонкие эффекты резонансного нелинейного взаимодействия когерентного лазерного излучения с газом атомов или молекул позволили разработать методы сужения оптических резонансов в 10^4 — 10^6 раз, т. е. полностью устранить влияние доплеровского уширения. Эти методы легли в основу новой области — нелинейной лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения. Эта область возникла и успешно развивается на стыке нелинейной оптики, созданной трудами научной школы Р. В. Хохлова, квантовой электроники и спектроскопии атомов и молекул.

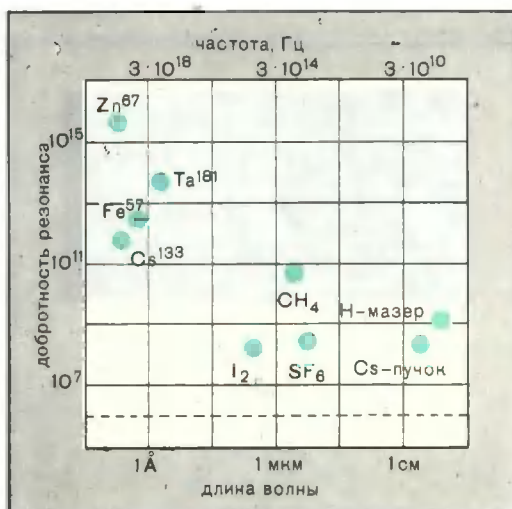
ДОПЛЕРОВСКОЕ УШИРЕНИЕ СПЕКТРАЛЬНЫХ ЛИНИЙ

Движущаяся частица (атом или молекула) испускает или поглощает излучение не точно на частоте квантового перехода $\nu_0 = \nu_{21}$ между двумя уровнями

энергии E_1 и E_2 , определяемой условием квантования Бора:

$$h\nu_0 = E_2 - E_1,$$

где h — постоянная Планка, а на несколько смещенной из-за эффекта Доплера частоте. Спектральная линия отдельной частицы смещается на величину $\Delta\nu_{\text{сдв}}/\nu_0 = v/c$, где $v = v_n$ — величина проекции скорости частицы v на направление наблюдения n , c — скорость света. В газе частицы движутся по всем возмож-



Добротность наиболее узких резонансов, полученных в микроволновом, оптическом и гамма-диапазонах. Пунктирной линией показан предел, обусловленный доплеровским уширением спектральных линий в газе. В каждом из указанных диапазонов было открыто новое явление, позволявшее сузить ширину резонансов на несколько порядков. Наиболее узкий резонанс в оптике (на длине волны 3,39 мкм) получен при насыщении поглощения молекулы CH_4 в стоячей световой волне лазера.

ным направлениям, и поэтому доплеровский сдвиг для каждой из них различен. При тепловом равновесии все направления движения равновероятны, т. е. распределение скоростей частиц изотропно. Поэтому проекция скорости движения частиц на какое-либо избранное направление ($v = v_n$) описывается распределением Максвелла, которое имеет симметричный вид гауссовой кривой. В результате спектральная линия ансамбля частиц представ-

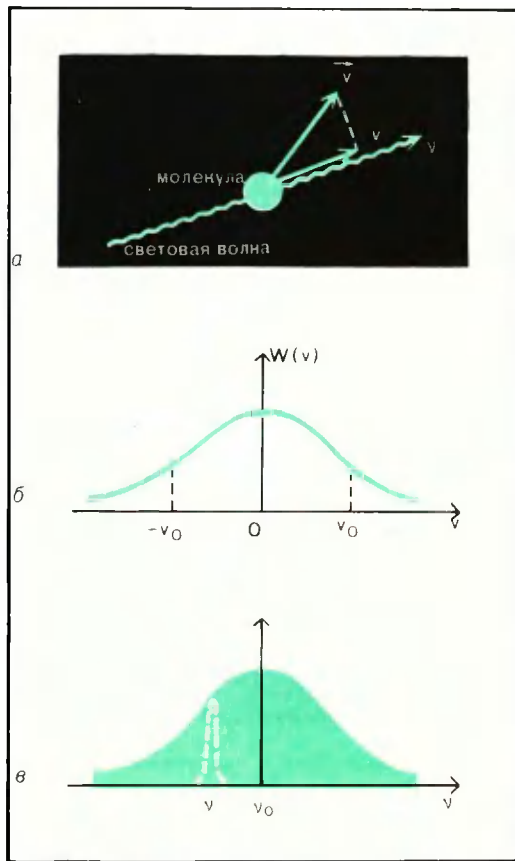
² Басов Н. Г., Летохов В. С. Оптические стандарты частоты. — «УФН», 1968, т. 96, вып. 4, с. 585—631.

ляет собой симметричный контур с центром на частоте квантового перехода ν_0 . Полное уширение линии из-за эффекта Доплера определяется отношением средней скорости частиц ν_0 к скорости света:

$$\frac{\Delta\nu_{\text{Доп}}}{\nu_0} = 2 \frac{\nu_0}{c}.$$

Средняя скорость частиц

$$\nu_0 = \left(\frac{2kT}{M} \right)^{1/2}.$$



Влияние Доплер-эффекта на форму спектральной линии: а — доплеровский сдвиг частоты для частиц со скоростью v ; б — тепловое распределение скоростей частиц; в — форма спектральной линии ансамбля частиц, движущихся с тепловыми скоростями; пунктир — линия частиц, движущихся с заданной скоростью; ν_0 — центр атомной линии.

где k — постоянная Больцмана, определяется температурой газа T и массой частиц M . Для атомов и молекул при комнатной температуре величина ν_0 лежит в интервале 10^4 — 10^5 см/с. Например, для такой легкой молекулы, как метан (CH_4), $\nu_0 = 5,6 \cdot 10^4$ см/с, а для тяжелой молекулы SF_6 , $\nu_0 = 1,8 \cdot 10^4$ см/с. Поэтому относительная ширина спектральных линий, уширенных из-за эффекта Доплера, составляет $(1\text{—}3) \cdot 10^{-6}$.

Таким образом, доплеровски-уширенная спектральная линия, по существу, есть совокупность большого числа гораздо более узких спектральных линий, принадлежащих частицам с различной скоростью. Поэтому часто доплеровское уширение называют **неоднородным** уширением. Ясно, что если каким-либо способом уменьшить разброс величины скорости частиц, можно сократить доплеровскую ширину и получать более узкие спектральные линии. Например, можно вместо равновесного газа использовать пучок атомов или молекул, в котором скорости частиц распределены в небольшом телесном угле. При наблюдении поглощения или испускания перпендикулярно к оси пучка проекция скорости частиц на направление наблюдения может быть достаточно малой. Таким образом, удастся получать спектральные линии, ширина которых в сотни раз меньше доплеровской ширины. Однако дальнейшее сужение с помощью такого метода практически неосуществимо.

Предельная ширина спектральной линии при полном устранении доплеровского уширения определяется шириной линии одной частицы, которую называют часто **однородной** шириной. Ниже мы рассмотрим физические идеи, которые лежат в основе четырех открытых в последние десять лет подходов лазерной спектроскопии сверхвысокого разрешения, полностью устраняющих доплеровское уширение.

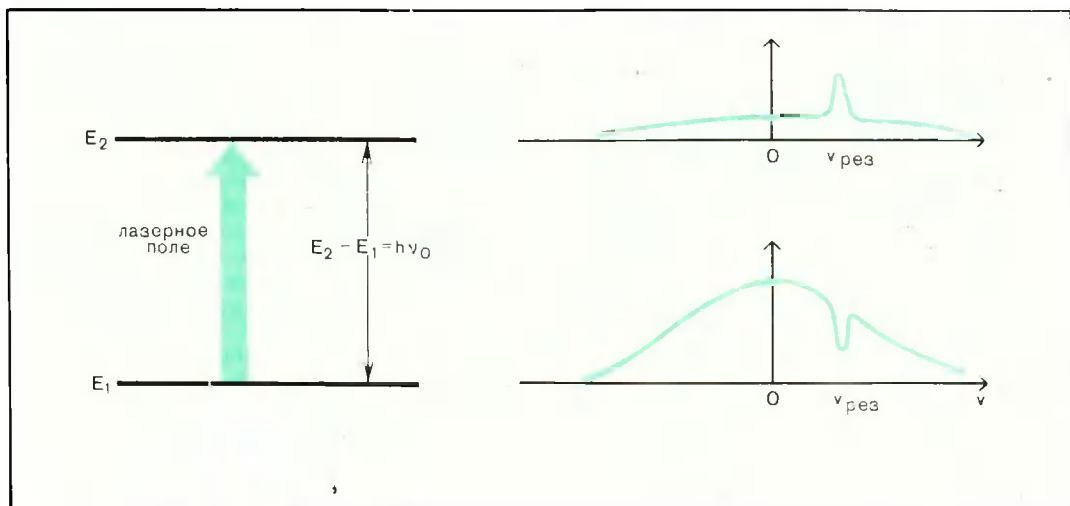
СПЕКТРОСКОПИЯ НАСЫЩЕНИЯ КВАНТОВОГО ПЕРЕХОДА

Световая плоская когерентная волна с волновым вектором $\vec{k}$ взаимодействует только с частицами, находящимися в резонансе с ней, т. е. с частицами, доплеровский сдвиг частоты поглощения которых $\vec{k}v$, точно компенсирует расстройку частоты поля ν относительно частоты перехода ν_0 неподвижной молекулы. Доля взаимодействующих с полем молекул в равновесном распределении молекул по скоростям зависит от отношения однород-

ной ширины к доплеровской. Пусть интенсивность светового поля достаточна для того, чтобы заметная часть молекул, взаимодействующих с полем, совершила вынужденные переходы в возбужденное состояние. Возбуждение частиц с определенной скоростью изменяет равновесное распределение скоростей частиц на каждом из уровней перехода. В распределении скоростей частиц на нижнем уровне образуется недостаток частиц со скоростью, удовлетворяющей условию резонанса, т. е. «дырка». На верхнем уровне, наоборот,

средственно определяет однородную ширину перехода, которая может быть в тысячи раз меньше доплеровского уширения.

Пусть с доплеровски-уширенной линией усиления взаимодействует стоячая световая волна. Именно такое поле существует обычно внутри лазера, и его можно представить в виде суперпозиции двух распространяющихся навстречу друг другу бегущих волн одинаковой частоты. В этом случае каждая из волн «выжигает» свою «дырку» в распределении скоростей ча-



Насыщение доплеровски-уширенного перехода плоской монохроматической световой волной лазера: уровни квантового перехода и распределение проекции скорости частицы на направление световой волны на нижнем и верхнем уровнях.

рот, распределение скоростей имеет избыток частиц с «резонансными» скоростями, т. е. «пик». Глубина дырки и высота пика зависят от степени насыщения поглощения световым полем. Таким образом, световая волна изменяет распределение молекул по скоростям на уровнях и распределения становятся существенно не изотропными. Естественно, это приводит к искажению доплеровски-уширенной линии поглощения или испускания. На доплеровском контуре за счет молекул, перешедших в возбужденное состояние, появляется «дырка», иногда называемая дыркой Беннета³. Ширина этой дырки непо-

стиц. Так как две бегущие световые волны направлены навстречу друг другу, образуются две «дырки», симметрично расположенные относительно центра доплеровского контура усиления. По существу, лазерное поле черпает энергию из двух групп усиливающих частиц с различными скоростями. При настройке частоты лазера на центр доплеровской линии усиления обе дырки совпадают и стоячая световая волна взаимодействует только с одной группой частиц, что приводит к резонансному падению выходной мощности лазера в центре линии усиления. Впервые это явление было рассмотрено в 1964 г. У. Лэмбом⁴ в его теории газового лазера и носит сейчас название «провала Лэмба».

Следующее улучшение метода насыщения, положившее начало широкому распространению спектроскопии насыщения поглощения, было сделано в 1967 г.

³ Bennett W. R. — «Phys. Rev.», 1962, v. 126, p. 580.

⁴ Lamb W. E. — «Phys. Rev.», 1964, v. 134A, p. 1429.

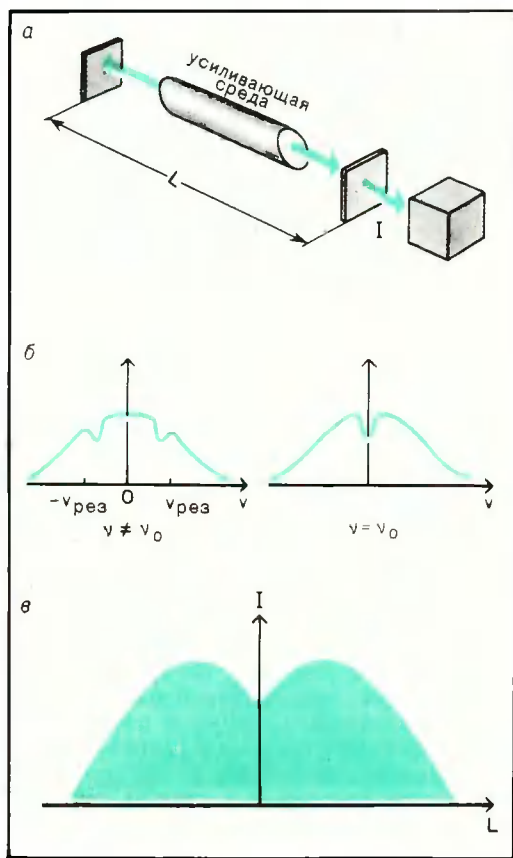
независимо в трех лабораториях в СССР и США⁵. Сущность предложения состояла в том, чтобы перейти к исследованию эффекта насыщения поглощающих переходов атомов или молекул в стоячей волне. Ценность этого подхода состоит в том, что поглощение в газе при низком давлении может, в отличие от квантовых переходов в усиливающей среде, давать чрезвычайно узкую однородную линию порядка 10^3 — 10^6 Гц. На этом пути открылся неизмеримо более широкий выбор объектов исследования, поскольку провал Лэмба можно бы-

ло наблюдать только на нескольких линиях газовых лазеров, работающих при низком давлении активной среды. Наиболее просто узкие резонансы насыщения поглощения можно было наблюдать, помещая резонансно поглощающую ячейку с газом при низком давлении внутрь резонатора лазера. Насыщение поглощения в стоячей световой волне приводит к образованию узкого провала Лэмба в центре доплеровски-уширенной линии поглощения. В результате эффективное насыщенное усиление двухкомпонентной среды внутри лазера приобретает узкий пик в центре линии поглощения, а выходная мощность лазера — узкий пик выходной мощности.

Для получения узкого нелинейного резонанса в центре линии поглощения нет необходимости использовать обязательно стоячую световую волну, а достаточно лишь одной сильной бегущей волны, насыщающей поглощение перехода, и встречной слабой волны, играющей роль «пробной» волны. Такой метод спектроскопии насыщения поглощения был предложен нами в 1969 г.⁶ Сильная бегущая волна возбуждает на верхний уровень молекулы, проекция скорости которых на направление световой волны $v_{\text{рез}}$ удовлетворяет условию резонанса

$$kv_{\text{рез}} = 2\pi(\nu - \nu_0),$$

где k — волновой вектор световой волны. Так как встречная слабая волна имеет ту же частоту, но противоположное направление, она взаимодействует с молекулами, имеющими такую же величину проекции скорости, но с другим знаком. Если частота волн не совпадает с частотой центра доплеровской линии, то «пробная» волна «не чувствует» сильной волны. Однако при совпадении частоты волн с ν_0 слабая «пробная» волна взаимодействует с молекулами, поглощение которых уже уменьшено встречной сильной волной. В результате поглощение «пробной» волны



Образование провала Лэмба в газовом лазере: а — схема эксперимента; б — распределение разности заселенности уровней по скоростям при расстройке частоты стоячей световой волны относительно центральной частоты ν_0 и при точном резонансе $\nu = \nu_0$; в — наблюдаемая зависимость выходной мощности лазера от частоты генерации, которая перестраивается изменением длины резонатора L .

⁵ Летохов В. С. — «Письма в ЖЭТФ», 1967, т. 6, с. 597; Лисицын В. Н., Чеботаев В. П. — «ЖЭТФ», 1968, т. 54, с. 419; Lee P. H., Skolnick M. L. — «Appl. Phys. Lett.», 1967, v. 10, p. 303.

⁶ Летохов В. С., Чеботаев В. П. — «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 9, с. 364.

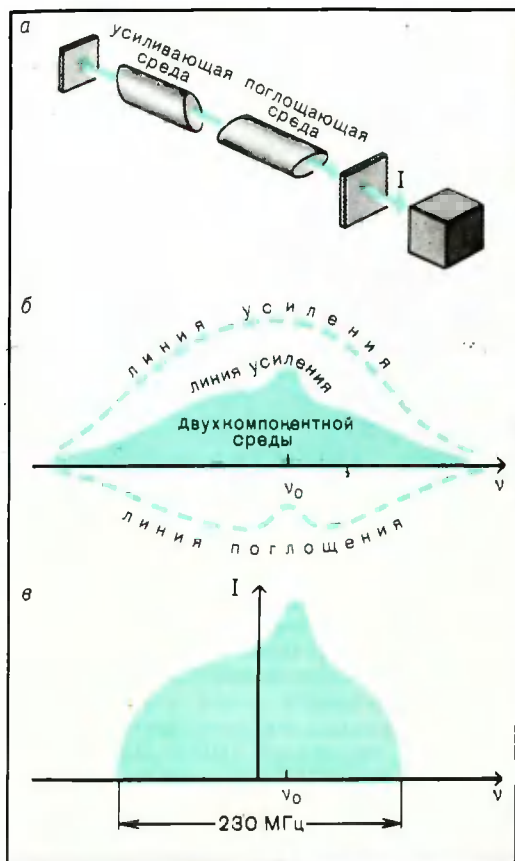
⁷ Басов Н. Г., Компанеев И. Н. и О. Н., Летохов В. С., Никитин В. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 9, с. 568.

имеет резонансный минимум с шириной, равной однородной ширине, расположенной точно в центре доплеровски-уширенной линии поглощения⁷.

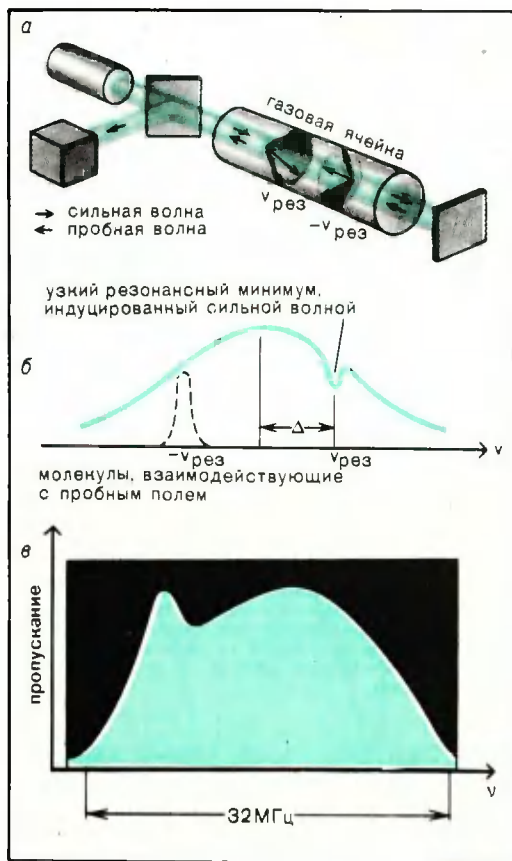
В настоящее время метод насыщения поглощения доплеровски-уширенных линий превратился в основной и наиболее разработанный метод спектроскопии сверхвысокого разрешения без доплеровского уширения. С развитием техники перестраиваемых лазеров этот метод стал применим к любым переходам атомов, молекул и ионов. Сейчас центральной

проблемой является получение предельно узких резонансов насыщения поглощения, т. е. реализация максимальной разрешающей способности.

В молекулярных газах при колебательно-вращательных переходах молекул однородная ширина, т. е. ширина узкого резонанса насыщения будет определяться столкновениями частиц. Столкновительное уширение имеет величину около 20—30 МГц/Торр. Поэтому, чтобы получить резонансы с шириной 1 кГц, необходимо работать при давлениях газа 10^{-4} —



Наблюдение узкого резонанса насыщения поглощения в стоячей волне внутри резонатора лазера: а — схема эксперимента; б — образование узкого пика «просветления» поглощающей ячейки; в — экспериментальная зависимость выходной мощности He—Ne-лазера на 6328 Å с Ne-поглощающей ячейкой при «сканировании» частоты генерации лазера. Этот эксперимент был осуществлен в Институте физики полупроводников СО АН СССР в начале 1967 г.



Наблюдение узкого резонанса насыщения поглощения вне резонатора лазера сильной бегущей волной: а — схема эксперимента; б — образование узкого пика пропускания пробной слабой волны при насыщении поглощения сильной встречной волной; в — экспериментальная зависимость пропускания поглощающей ячейки, наполненной SF_6 . Узкий пик пропускания в центре линии поглощения на одном из вращательно-колебательных переходов полосы молекулы SF_6 возникает при сканировании частоты CO_2 -лазера в области 10,6 мкм. Этот эксперимент был осуществлен в Физическом институте им. П. Н. Лебедева АН СССР в начале 1969 г.



Общий вид лазерного спектрометра насыщения поглощения с разрешением 1 кГц [или разрешающей способностью 10^{11}] на основе He—Ne-лазера с длиной резонатора 10 м [на переднем плане]. Телескопический расширитель увеличивает диаметр луча до 14 см на входе метановой поглощающей ячейки длиной 5 м [слева и на задней плане].

10^{-5} Торр. При таких низких давлениях длина свободного пробега частиц становится более 15 см. Если диаметр лазерного пучка меньше этой длины, то заметный вклад в уширение резонанса вносит конечное время взаимодействия частиц с полем. В этом случае ширина резонанса будет определяться временем пролета частицы через область взаимодействия.

Чтобы уменьшить пролетную ширину, необходимо увеличивать диаметр пучка лазера. Это требует применения телескопических расширителей пучка. Такой нелинейный лазерный спектрометр с расширением диаметра светового пучка, обладающего дифракционной расходимостью, до 14 см создан в Институте фи-

зики полупроводников СО АН СССР. Для увеличения интенсивности резонанса телескопический расширитель пучка и поглощающая ячейка большого размера (5 м), наполненная CH_4 , были помещены внутри резонатора He—Ne-лазера длиной 10 м. Диаметр лазерного пучка в CH_4 -ячейке достигал 14 см, а рабочее давление газа в ячейке составляло 10^{-4} — 10^{-5} Торр. При давлении 10^{-5} Торр коэффициент поглощения лазерного излучения составлял 10^{-6} см $^{-1}$, т. е. 0,05% за один проход луча через ячейку. Регистрируемый узкий пик насыщенного поглощения составлял небольшую часть этого поглощения, т. е. не превышал 0,01% выходной мощности лазера. Регистрация узких резонансов столь малой амплитуды потребовала специальной аппаратуры для накопления данных и использования ЭВМ для выделения полезного сигнала из шума.

На этом лазерном спектрометре, использующем метод насыщения поглощения, достигнута наивысшая в оптике разрешающая способность спектральных из-

мерений. На приводимом рисунке видна полученная с его помощью производная спектра насыщения поглощения молекулы CH_4 на компоненте $F_2^{(2)}$ вращательно-колебательного перехода $P(7)$ полосы ν_3 в области 3,39 мкм. Полуширина узких резонансов спектрометра составляла 1 кГц, что соответствует разрешающей способности 10^{11} . Это позволило отчетливо разрешить три компоненты магнитной сверхтонкой структуры, расположенные на расстоянии около 10 кГц. Более того, удалось разрешить в оптическом диапазоне расщепление спектральных линий из-за эффекта отдачи (см. ниже)

$$\frac{\Delta\nu_{\text{отд}}}{\nu_0} = \frac{h\nu_0}{Mc^2},$$

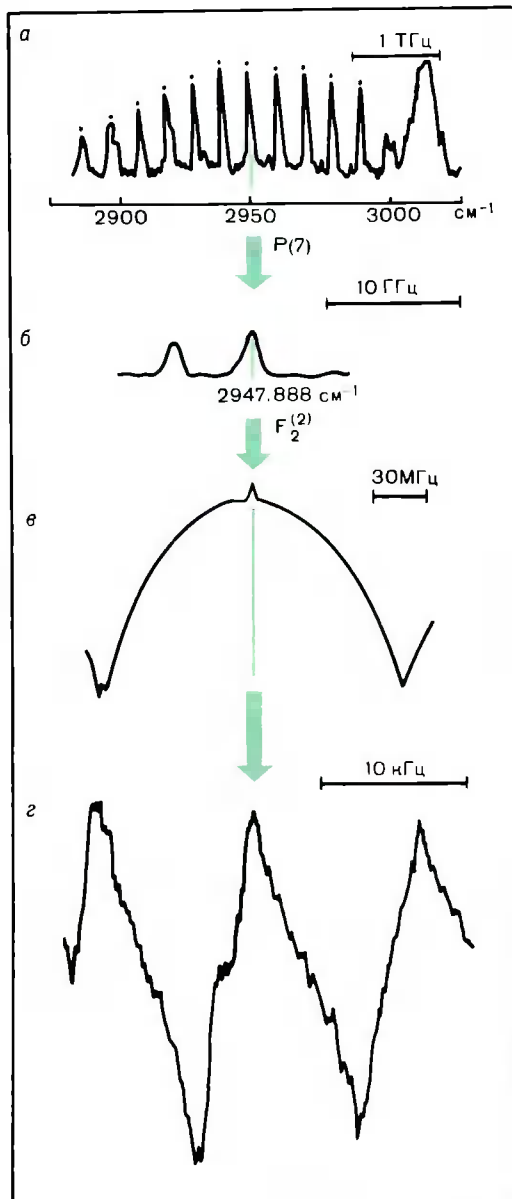
которое для CH_4 составляет всего 2,15 кГц. Это расщепление наблюдается внутри доплеровского уширения, составляющего 300 000 кГц (!).

Достигнутое разрешение близко к практическому пределу, так как дальнейшее его увеличение в рамках метода насыщения поглощения потребовало бы использования плоских (с точностью до дифракционного предела) световых волн с диаметром 50—100 см, что практически совершенно нереально. Кроме того, при сужении резонанса насыщения поглощения неизбежно снижение чувствительности, поскольку относительная доля частиц, участвующих в образовании узкого резонанса, падает пропорционально отношению ширины резонанса к доплеровской ширине. Эти ограничения менее существенны в открытых позже других методах нелинейной лазерной спектроскопии без доплеровского уширения.

ДВУХФОТОННАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Это следующее важнейшее направление нелинейной лазерной спектроскопии без доплеровского уширения, предложенное в 1970 г. в Институте физики полупроводников СО АН СССР^а, состоит в следующем. Рассмотрим двухквантовый переход атома или молекулы в поле стоячей волны частоты ν , т. е. суммы двух встречных бегущих волн.

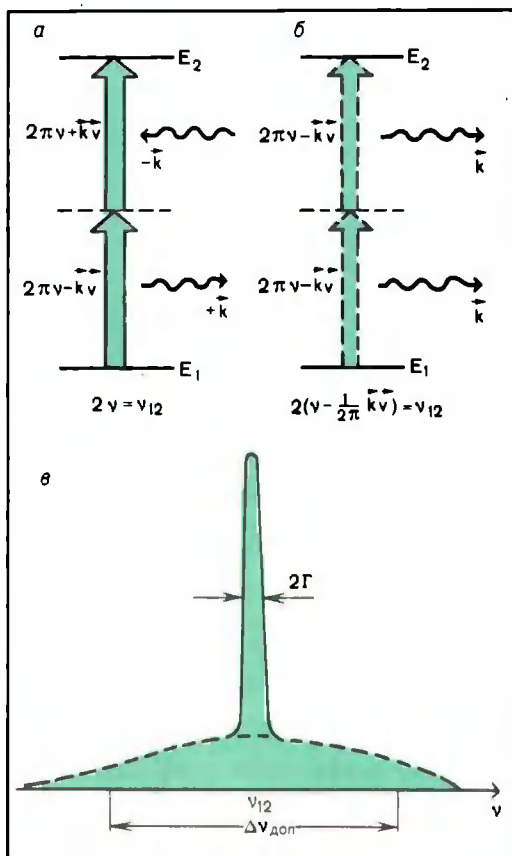
Для частицы, движущейся со скоростью $\vec{v}$, бегущие волны имеют из-за эффекта Доплера частоты $2\nu \pm kv$.



Спектроскопия молекулы CH_4 в области 3,39 мкм: а — колебательный спектр полосы ν_3 , измеренный на обычном ИК-спектрометре; б — тонкая структура линии $P(7)$, полученная на ИК-спектрометре высокого разрешения с дифракционной решеткой; в — спектр насыщения поглощения компоненты $F_2^{(2)}$, полученный с помощью He — Ne-лазера на 3,39 мкм; г — магнитная сверхтонкая структура компоненты $F_2^{(2)}$ и расщепления из-за эффекта отдачи. Снято на уникальном нелинейном лазерном спектрометре с разрешением 10^{11} .

^а Василенко Л. С., Чеботаев В. П., Шишаев А. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1970, т. 12, с. 161.

Если частица поглощает оба фотона из одной бегущей волны, то в поглощении могут участвовать лишь частицы с определенной проекцией скорости движения, удовлетворяющей условию двухфотонного резонанса. Однако возможно одновременное поглощение двух фотонов из встречных бегущих волн. В этом случае при суммировании частот происходит взаимная компенсация доплеровских сдвигов разных знаков. Условие двухфотонного резонанса при поглощении фотонов из встречных волн требует лишь точного сов-



Образование узкого двухфотонного резонанса в стоячей световой волне: а — компенсация доплеровского сдвига частоты при одновременном поглощении двух фотонов из двух встречных бегущих волн; б — отсутствие компенсации при поглощении фотонов из однонаправленных бегущих волн; в — форма узкого резонанса двухфотонного поглощения [узкий резонанс вызван поглощением двух встречных фотонов, а доплеровский пьедестал — поглощением однонаправленных фотонов].

падения удвоенной частоты поля с частотой двухквантового перехода частицы, т. е. с центром доплеровски-уширенной линии. При таком резонансе в двухфотонном поглощении участвуют все частицы независимо от их скорости движения v , что вызывает резкое увеличение сигнала двухфотонного поглощения. Форма линии двухфотонного поглощения на доплеровски-уширенном переходе в поле стоячей волны является суммой широкого доплеровского контура, который обусловлен двухквантовым поглощением из двух волн, бегущих в одном направлении, и узкого резонанса, обусловленного двухквантовым поглощением всех частиц при $2\nu = \nu_0$. Амплитуда резонансного пика, в центре линии имеет громадный контраст $\frac{k v_0}{\Gamma}$, равный отношению доплеровской и однородной ширин.

Первые экспериментальные наблюдения узких двухфотонных резонансов были выполнены в 1974 г. одновременно в Парижском, Гарвардском и Стэнфордском университетах на переходах атома Na в видимом диапазоне, с использованием излучения перестраиваемых лазеров на красителях. В качестве примера на рисунке приведены результаты одного из наиболее интересных экспериментов — двухфотонное возбуждение перехода $1S \rightarrow 2S$, запрещенного для однофотонных переходов, излучением двух встречных лучей с длиной волны 2430 Å. Двухфотонный узкий резонанс возбуждения наблюдался путем измерения последующей флуоресценции из состояний $2P$, заселяемых за счет столкновительных переходов $2S \rightarrow 2P$. Мы приводим также зависимость интенсивности флуоресценции на длине волны 1215 Å от частоты лазерных лучей, соответствующую спектру двухфотонного перехода $1S \rightarrow 2S$ без доплеровского уширения с отчетливой сверхтонкой структурой переходов $F=1 \rightarrow 1$ и $0 \rightarrow 0$. Этот эксперимент был выполнен в Стэнфордском университете⁹ и отчетливо демонстрирует большие возможности метода двухфотонной спектроскопии.

Можно предвидеть быстрое развитие двухфотонной спектроскопии внутри доплеровского контура из-за следующих преимуществ метода по сравнению со спектроскопией насыщения поглощения.

⁹ H a n s c h T. W. — «Phys. Today», 1977, v. 30, № 5, p. 34.

Во-первых, в образовании узкого пика двухфотонного поглощения участвуют все молекулы независимо от их скорости, в то время как в спектроскопии насыщения поглощения в образовании узкого резонанса участвует только небольшая часть молекул. Для сверхузких резонансов параметр $k\nu_0/\Gamma \approx 10^3 - 10^5$. По этой же причине контраст пика двухфотонного поглощения может быть в $k\nu_0/\Gamma \approx 10^3 - 10^5$ раз выше контраста провала в спектроскопии насыщения поглощения. Во-вторых, пик двухфотонного поглощения сопровождается

точно таким же пиком плотности возбужденных частиц при прохождении частоты стоячей световой волны через центр доплеровски-уширенного контура. Так как для детектирования частиц в возбужденном состоянии могут быть использованы достаточно чувствительные методы, это позволяет проводить эксперименты при небольшом числе частиц, т. е. использовать, например, молекулярные пучки. В-третьих, ширина двухфотонных резонансов не зависит от кривизны волнового фронта стоячей волны, поскольку поглощаются одновременно в одной точке пространства два фотона с волновыми векторами k и $-k$. Это весьма принципиальное отличие от спектроскопии насыщения поглощения, в которой для получения узких резонансов волновой вектор должен иметь строго одинаковое направление по всему сечению стоячей волны. Это отличие позволяет использовать световые пучки большого сечения (десять сантиметров) и получать разрешение больше 10^{11} . Более того, вклад «пролетного» уширения (см. ниже) для двухфотонных резонансов может быть сделан чрезвычайно малым. Действительно, вероятность двухфотонного перехода не зависит от ориентации скорости атома $\vec{v}$ относительно стоячей волны. Поэтому, используя пучок атомов, летящих вдоль стоячей волны, можно получить длину взаимодействия порядка 100 см и более, что соответствует пролетному уширению всего 100 Гц, или разрешающей способности выше 10^{12} .

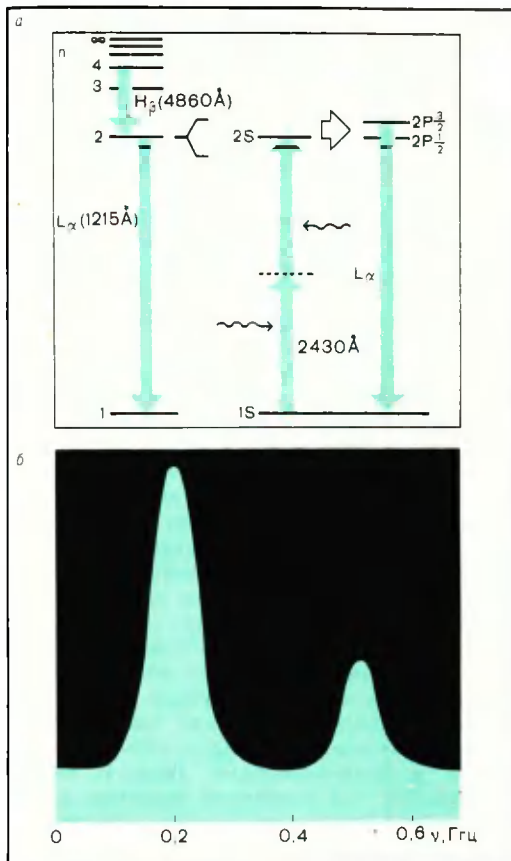
НЕЛИНЕЙНЫЕ РЕЗОНАНСЫ В РАЗНЕСЕННЫХ ПОЛЯХ

Конечное время когерентного взаимодействия $\tau_{вз}$ движущейся частицы с электромагнитным полем автоматически уширяет любой узкий резонанс до величины $\Delta\nu = \frac{1}{2\pi\tau_{вз}}$. Действительно, молекула, имеющая скорость v_0 , пролетает через световой луч диаметра a за время

$$\tau_{дрол} = a/v_0.$$

Световой луч можно рассматривать как измерительный прибор, с которым молекулы взаимодействуют конечное время $\tau_{вз} = \tau_{дрол}$. Согласно принципу неопределенности, энергия перехода между уровнями $E = h\nu$ не может быть определена с точностью лучше $\Delta E = h/2\pi\tau_{вз}$.

Это соответствует неопределенности в частоте перехода ν_0 на величину



Двухфотонная спектроскопия перехода 1S—2S атома водорода: а — двухфотонное возбуждение метастабильного 2S-состояния из основного 1S-состояния и наблюдение возбуждения по флуоресценции из состояния 2P, заселяемого за счет переходов $2S \rightarrow 2P$ при столкновениях; б — спектр двухфотонного поглощения без доплеровского уширения на переходе 1S—2S, регистрируемый при перестройке частоты второй гармоники лазера на красителе.

$$\Delta\nu = \frac{\Delta E}{h} = \frac{1}{2\pi\tau_{вз}},$$

т. е. уширению спектральной линии из-за конечного времени пролета через световой луч;

$$\Delta\nu_{\text{прол}} = \frac{1}{2\pi\tau_{вз}} = \frac{v_0}{2\pi a}.$$

В рассмотренных выше методах нелинейной спектроскопии для получения предельно узких резонансов надо обеспечить большую длину взаимодействия частицы с полем. Более того, в методе насыщения поглощения надо обеспечить на всей длине взаимодействия строгую плоскостность волнового фронта. Это представляет практически непреодолимые трудности для получения резонансов с шириной менее 1 кГц.

В СВЧ-диапазоне давно известен метод увеличения длины когерентного взаимодействия частицы с полем, известный под названием метода пространственно-разнесенных полей Рамзея¹⁰. В первом СВЧ-поле (в первом объемном резонаторе) атом приобретает СВЧ-дипольный момент, который сохраняется при пролете до второго резонатора. Поле во втором резонаторе когерентно первому и взаимодействует с наведенным в первом резонаторе дипольным моментом. Ширина резонанса взаимодействия свободно летящего атома с двумя полями определяется полным временем пролета через поле, включая пустое расстояние между ними. На этом методе основано получение предельно узких резонансов в микроволновой спектроскопии, и, в частности, он практически используется в цезиевом стандарте частоты.

Прямое перенесение метода Рамзея в оптический диапазон оказалось невозможным. Так как длина световой волны очень мала, атомы, вылетающие даже из одной точки в первом луче, разлетаются в поперечном направлении на расстояние, гораздо большее длины световой волны. Поэтому когерентный дипольный момент, наведенный в атомах в первом световом луче, полностью исчезает при достижении второго луча. Совсем недавно в Институте физики полупроводников СО АН СССР

было предложено два пути преодоления этой трудности¹¹.

Во-первых, было предложено наблюдать двухквантовое взаимодействие атомов с разнесенными стоячими световыми волнами. Как отмечено выше, при двухквантовом поглощении фотонов из встречных световых волн происходит компенсация Доплер-эффекта. Поэтому при точном двухфотонном резонансе ($2\nu = \nu_0$) с полями взаимодействуют все атомы независимо от их скорости. Именно из-за двухквантовой компенсации Доплер-эффекта дипольный момент, наведенный в первой стоячей световой волне, сохраняется когерентным при влете во второй световой луч, несмотря на поперечный разлет атомов. Ширина двухфотонного резонанса в двух пространственно-разнесенных стоячих волнах определяется полным временем пролета между лучами, как и в случае эффекта Рамзея в радиодиапазоне.

Во-вторых, даже при однофотонном взаимодействии эффект пространственного усреднения когерентного дипольного момента можно устранить. Для этого необходимо точно между разнесенными световыми лучами поместить дополнительную стоячую световую волну, нелинейно взаимодействующую с атомами. Сложение и интерференция дипольных моментов, наведенных в первом и промежуточном световых лучах, дают неусредненную составляющую дипольного момента, которая когерентно взаимодействует с третьим световым лучом. В результате возникает узкий резонанс, ширина которого определяется полным временем когерентного взаимодействия атомов при пролете от первого до последнего светового луча.

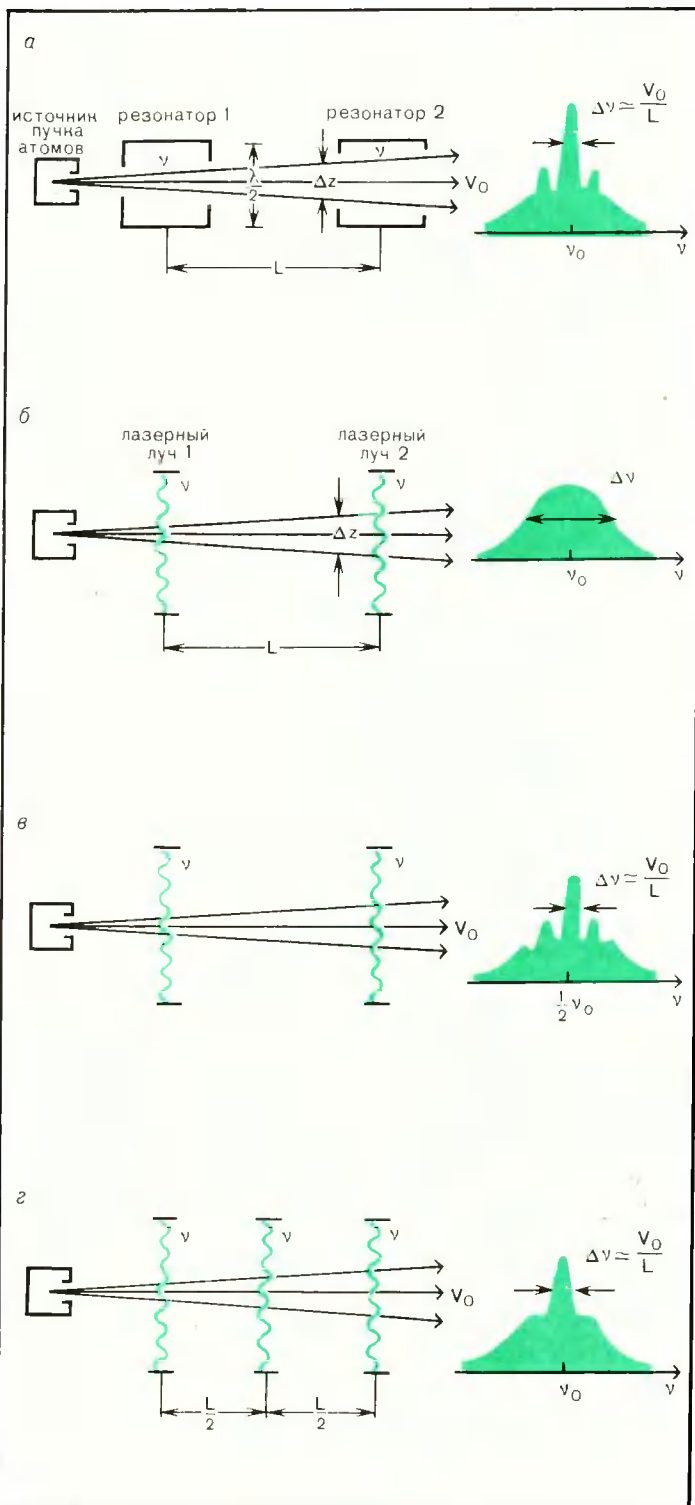
Проведенные недавно эксперименты подтвердили оба этих метода. Таким образом, появилась реальная возможность на запрещенных переходах атомов и молекул в долгоживущие (время жизни больше 10^{-3} с) состояния получать узкие стабильные резонансы с шириной порядка 1 кГц.

Отметим, что дальнейшее сужение резонансов любым из рассмотренных выше методов принципиально невозможно из-за влияния квадратичного -эффекта Доплера, который смещает центральную частоту квантового перехода движущейся

¹⁰ Рамзей Н. Молекулярные пучки. М., 1960.

¹¹ Baklanov E. V., Chebotayev V. P., Dubetzkii B. Ya. — «Appl. Phys.», 1976, v. 9, p. 171; v. 11, p. 201.

Образование узкого резонанса при когерентном взаимодействии атомов или молекул с пространственно-разнесенными электромагнитными полями; а — случай микроволнового перехода, когда поперечный разлет частиц во втором поле меньше длины волны поля; б — оптический случай, когда происходит усреднение дипольного момента во втором луче из-за поперечного разлета частиц на величину, много большую длины волны; в — возникновение узкого резонанса в двух лучах в случае двухфотонного оптического перехода; г — возникновение узкого резонанса в трех лучах в случае однофотонного оптического перехода.



частицы на величину, зависящую от ее абсолютной скорости v . Тепловое распределение абсолютных скоростей частиц приводит к неизбежному уширению узкого резонанса до величины

$$\Delta\nu_{\text{кв. Доп}} = v_0 \frac{kT}{Mc^2} = v_0 \left(\frac{v_0}{c} \right)^2,$$

где T — температура газа, M — масса частиц, c — скорость света. Поэтому разрешающая способность всех описанных методов нелинейной лазерной спектроскопии ограничена величиной

$$R = \frac{v_0}{\Delta\nu_{\text{кв. Доп}}} = \left(\frac{c}{v_0} \right)^2 \approx 10^{11}.$$

Это ограничение можно, по-видимому, устранить методом, основанном на глубоком охлаждении и пленении атомов самим световым полем.

ОХЛАЖДЕНИЕ И ПЛЕНЕНИЕ АТОМОВ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

В отличие от рассмотренных трех направлений в нелинейной лазерной спектроскопии без доплеровского уширения, это четвертое направление еще не вышло из рамок теоретического обсуждения. Однако потенциальные возможности этого метода весьма велики, и поэтому он заслуживает обсуждения.

Хорошо известно, что на атом в световом поле действует сила светового давления. Этот эффект был обнаружен еще П. Н. Лебедевым в начале XX столетия в опытах с газами. Световое давление с квантовой точки зрения обусловлено отдачей, получаемой атомом при рассеянии (резонансном или нерезонансном) на нем фотонах.

Световое давление можно использовать для изменения скорости и характера движения атомов, и, следовательно, радикально повлиять на Доплер-эффект. Действительно, доплеровский сдвиг частоты поглощения или испускания можно устранить, если движение частицы из поступательного превратить в движение с ограниченной амплитудой A , меньшей длины волны света λ , например, в осцилляторное движение с амплитудой $A \ll \lambda$. Этот метод широко используется в радиодиапазоне, например в рубидиевом квантовом стандарте частоты, и носит название метода Дики¹² (точнее, метода буферного газа

Дики, который превращает поступательное движение атомов рубидия в блуждание). В оптическом диапазоне этот подход требует, чтобы движение частицы было ограничено в ничтожном объеме λ^3 . В работе автора¹³ было предложено использовать для этой цели нерезонансную сильную стоячую световую волну, которая играет роль потенциального поля, периодически пленив частицы с достаточно малыми скоростями движения. В стоячей световой волне на нейтральную частицу (атом или молекулу) действует так называемая градиентная сила¹⁴, которая пропорциональна градиенту среднего квадрата напряженности поля и которая стягивает частицы в пучности (или узлы) стоячей световой волны. Пленению в таком потенциальном поле могут подвергнуться только частицы с кинетической энергией порядка 10^{-9} — 10^{-10} эВ, т. е. частицы, скорость которых в 10^4 раз меньше средней тепловой скорости v_0 . Для трехмерного пленения можно использовать трехмерную стоячую световую волну, образованную пересечением трех стоячих световых волн.

Такой подход представляется очень привлекательным, так как, во-первых, полностью устраняется уширение резонанса из-за конечного времени пролета через световой луч (частицы постоянно «сидят» в луче) и, во-вторых, пленение только очень медленных частиц автоматически обеспечивает устранение квадратичного эффекта Доплера. К сожалению, практически реализовать этот подход было невозможно из-за исключительной малости доли частиц со скоростью $v \leq 10^{-4} v_0$ в тепловом распределении при нормальной температуре (примерно 10^{-12} часть). Ситуация существенно прояснилась недавно, после предложения¹⁵ использовать для охлаждения атомов резонансное световое давление.

В простейшем варианте это можно осуществить при изотропном облучении световым полем атомов, скорости которых соответствуют низкочастотной половине доплеровски-уширенного перехода. Охлаждение атомов в таком методе проис-

¹³ Летохов В. С. — «Письма в ЖЭТФ», 1968, т. 7, с. 348.

¹⁴ Гапонов А. В., Миллер М. А. — «ЖЭТФ», 1959, т. 34, с. 242 и 751; Аскарьян Г. А. — «ЖЭТФ», 1962, т. 42, с. 1567.

¹⁵ Hansch T. W., Schawlow A. L. — «Optics Comm.», 1975, v. 13, p. 68.

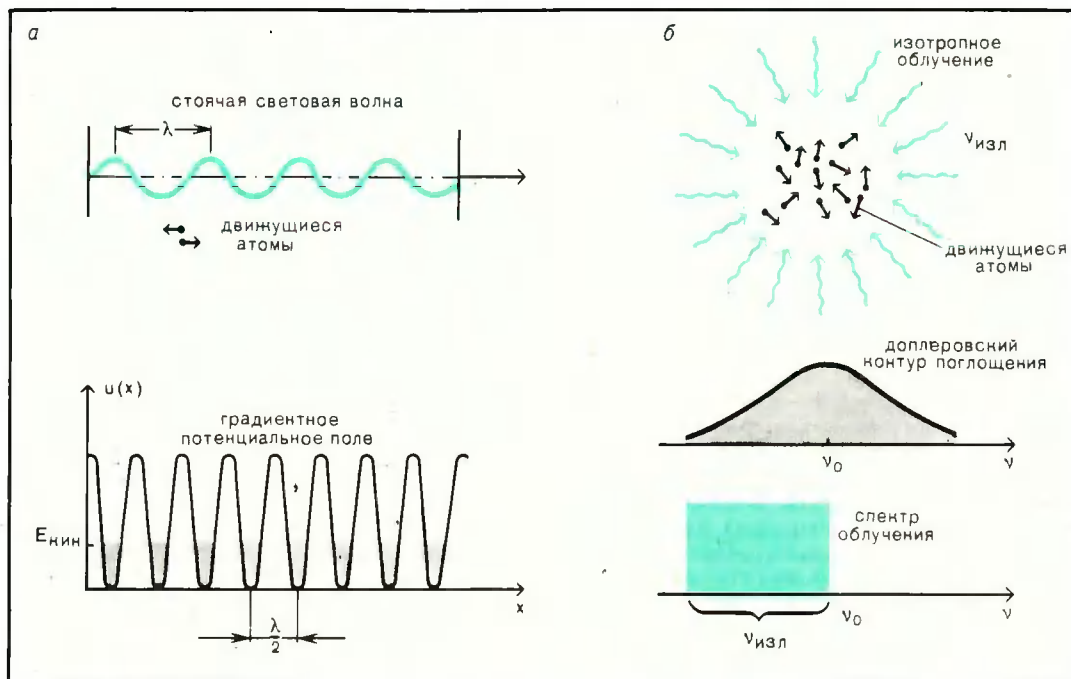
¹² Dicke R. H. — «Phys. Rev.», 1958, v. 89, p. 471.

ходит за счет потери ими импульса при поглощении плоской и излучении сферической световой волны. Действительно, так как спектр поля сосредоточен в низкочастотной части доплеровского контура поглощения, то в данной конфигурации поля атомы поглощают фотоны, только движущиеся навстречу, а испускают их изотропно. Поэтому при каждом переизлучении фотона атом теряет импульс $h\nu/c$, отдавая энергию поступательного движения рассеянному свету.

Расчеты, проведенные в Институте

кие ультрахолодные атомы имеют скорость теплового движения всего несколько сантиметров в секунду. Движение их в световом поле уже не классическое, а квантовое, так как длина волны де Бройля становится сравнимой с длиной световой волны. Охлажденные резонансным световым полем атомы могут быть пленены в трехмерной стоячей световой волне и длительное время удерживаться в локализованных объемах размером $\lambda/2$.

Метод охлаждения и пленения атомов в лазерном поле представляет значи-



К объяснению пленения и охлаждения атомов в световом поле: а — потенциальное поле нерезонансной стоячей световой волны и возможность пленения частиц, имеющих кинетическую энергию гораздо меньше, чем высота потенциальных барьеров; б — облучение атомов, относящихся к низкочастотной части доплеровской линии, вызывающее их охлаждение при многократном переизлучении фотонов.

тельный интерес как для оптической спектроскопии атомов без доплеровского уширения, так и для радикального повышения чувствительности детектирования атомов и спектроскопических исследований чрезвычайно малых количеств атомов. Сейчас в ряде лабораторий ведутся эксперименты с целью реализовать этот новый подход в нелинейной лазерной спектроскопии.

спектроскопии АН СССР, показывают, что облучая атомарный газ низкого давления в трехмерной стоячей волне с частотой, «сканирующей» вдоль доплеровского контура, можно реализовать режим адиабатического радиационного охлаждения до ультранизких температур порядка 10^{-3} К. Та-

ПРИМЕНЕНИЕ УЗКИХ РЕЗОНАНСОВ В КВАНТОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКЕ И МЕТРОЛОГИИ

Открытие методов получения нелинейных узких резонансов в оптическом диапазоне автоматически дало методы создания узких и высокостабильных по ча-

стоте атомных и молекулярных реперов, к которым можно «привязать» частоту лазера. Действительно, для создания лазера с высокостабильной частотой колебаний, как и в СВЧ-диапазоне, необходимо иметь атомный или молекулярный репер в оптическом диапазоне, удовлетворяющий следующим условиям:

1. Частота репера должна быть стабильной и воспроизводимой, по крайней мере с точностью, требуемой от квантового стандарта частоты.

2. Относительная ширина резонансной кривой репера не должна превышать требуемую величину стабильности больше, чем в 10^3 — 10^4 раз. Это значение диктуется предельной точностью настройки частоты генератора на вершину резонансов репера.

Отсюда следует, что для получения стабильности и воспроизводимости частоты, например порядка 10^{-13} , соответствующей уже достигнутому в СВЧ-диапазоне уровню, необходимо иметь спектральный резонанс со стабильностью и воспроизводимостью центра 10^{-13} и относительной шириной около 10^{-9} — 10^{-10} .

Разумеется, нелинейные оптические резонансы, имеющие ширину в тысячи раз меньше доплеровской, являются превосходящими квантовыми реперами для стабилизации частоты лазера.

К настоящему времени осуществлена стабилизация частоты многих лазеров с помощью узких нелинейных резонансов, индуцируемых лазерным излучением на линиях поглощения молекул в инфракрасной и видимой области спектра. Наилучшие результаты были получены с помощью узкого резонанса, получаемого на линии поглощения молекулы метана на длине волны 3,39 мкм. Речь идет о стабильности и воспроизводимости частоты лучше 10^{-13} . При таких значениях к параметрам лазера и самого узкого резонанса, к механическим и электронным элементам установок предъявляются весьма жесткие требования. Так как поглощающая ячейка должна иметь давление не более 10^{-3} Торр, ее длина составит несколько метров. Вся лазерная конструкция при длине в 5—10 м должна быть настолько жесткой и изолированной от внешних механических и акустических возмущений, чтобы система автоматического регулирования была способна подстраивать собственную частоту резонанса с точностью до миллионных долей длины световой волны. Это обеспечивается автоматической подстройкой длины резонатора лазера с помощью пьезокера-

мических элементов с точностью до тысячных долей ангстрема. Поэтому лазеры со стабильностью и воспроизводимостью частоты лучше 10^{-13} представляют собой уникальные установки.

Стабильность частоты характеризует степень, с которой генератор излучает одну и ту же частоту во время непрерывной работы. Обычно используются относительными величинами, т. е. отношением среднеквадратичного отклонения частоты к ее среднему значению. В зависимости от времени измерения стабильности различают коротко- и долговременную стабильность. Для уникальной установки Института физики полупроводников СО АН СССР при времени усреднения 100с стабильность составляла $5 \cdot 10^{-15}$, т. е. среднеквадратичное отклонение частоты лазера 10^{14} Гц не превышало 0,5 Гц. Кратковременная стабильность частоты составляла $7 \cdot 10^{-14}$, что соответствует ширине линии 7 Гц. Таким образом, этот лазер является наиболее монохроматическим источником электромагнитных колебаний в любом освоенном генераторами когерентных колебаний диапазоне.

Важнейшей характеристикой генератора является воспроизводимость частоты. Эта величина определяет степень, с которой генератор данного типа воспроизводит одну и ту же частоту от одного включения к другому. При независимом запуске и настройке двух лазеров, включавшем настройку электронных систем, оптических элементов, напуск газа в поглощающую ячейку, среднеквадратичный разброс частоты за 50 запусков составлял около 3 Гц. Это соответствует воспроизводимости частоты $3 \cdot 10^{-14}$. Поскольку точность настройки частоты на вершину резонанса составляла 1 Гц, т. е. была лучше разброса частоты, полученное значение воспроизводимости обусловлено нестабильностью частоты самого узкого резонанса.

Создание квантовых генераторов когерентных оптических состояний со стабильной частотой является принципиально важным во многих отношениях. Прежде всего, квантовый генератор в оптическом диапазоне может, в отличие от микроволновых генераторов, служить одновременно стандартом длины и времени. Малость длины световой волны по сравнению с характерными размерами приборов позволяет производить точные интерференционные измерения длин. Именно поэтому в качестве международного эталона длины принята длина волны оптической спектральной линии ^{86}Kr . Правда, в отличие

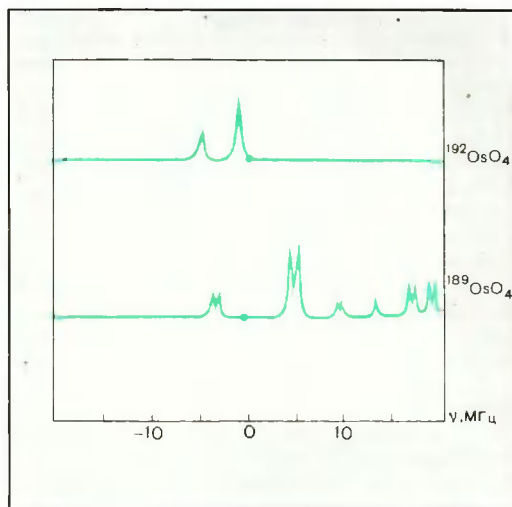
от микроволнового диапазона, в оптическом диапазоне до самого последнего времени невозможны были измерения частоты, т. е. времени. Поэтому для измерения длины и времени сейчас используются две совершенно разные спектральные линии — оптическая линия испускания ^{86}Kr на 6056,9 Å — для измерения длины, микроволновая линия поглощения ^{133}Cs на 3,27 см — для измерения времени. Квантовый стандарт частоты оптического диапазона позволяет создать единый квантовый эталон длины и времени и тем самым устранить трудность с определением международных единиц времени и длины, связанную с использованием двух совершенно разных спектральных линий.

СПЕКТРОСКОПИЧЕСКИЕ ПРИМЕНЕНИЯ

Сегодня с помощью рассмотренных методов довольно обычными стали эксперименты с разрешением 10^8 . В лучших экспериментах, выполненных методом насыщения поглощения, достигнута разрешающая способность около 10^{11} , что примерно в 10^6 раз превышает разрешение лучших классических спектрометров и в 10^5 раз — разрешение линейных лазерных спектрометров. Можно ожидать достижение разрешающей способности порядка 10^{13} — 10^{15} , определяемой фундаментальным пределом — естественной шириной спектра лазерного излучения. Поэтому законно поставить следующий вопрос: какая новая спектроскопическая информация становится доступной с помощью методов нелинейной лазерной спектроскопии атомов и молекул без доплеровского уширения?

В атомной спектроскопии мультиплетная или тонкая структура обычно хорошо разрешается классическими методами, но для высоковозбужденных состояний тонкое расщепление уменьшается пропорционально n^3 (n — главное квантовое число) и поэтому попадает внутрь доплеровской ширины. Изучение изотопической структуры и сверхтонкой структуры, обусловленной спином и квадрупольным моментом ядер, в том числе возбужденных ядер (изомерная сверхтонкая структура), требует разрешения в области 10^5 — 10^8 . Многие из компонентов изотопической и сверхтонкой структуры могут быть разрешены классическими приборами с высокой разрешающей способностью (интерферометр Фабри — Перо), но для полного изучения структуры необходимо проникнуть внутрь доплеровского контура. До открытия нелинейной лазерной спектроско-

пии это иногда удавалось сделать путем сужения спектральных линий в атомном пучке или методами радиоспектроскопии основных и некоторых возбужденных состояний. Классическим примером является сдвиг Лэмба, который, например, для уровня 2S атома водорода на порядок меньше доплеровской ширины линии H α . Для обнаружения его потребовалась техника радиоспектроскопии возбужденных состояний атомов в пучке. Сейчас такие измерения проводятся методом спектроскопии насыщения поглощения и они мо-



Спектры насыщенного поглощения молекул $^{189}\text{OsO}_4$ и $^{192}\text{OsO}_4$ на колебательно-вращательных переходах полосы ν_3 на длине волны 10,6 мкм, полученные в Институте спектроскопии АН СССР с помощью CO_2 -лазера.

гут быть расширены на многие уровни атомов и ионов. Особо следует подчеркнуть способность методов нелинейной спектроскопии довольно простыми средствами измерять уширения спектральных линий внутри доплеровского контура, связанные с радиационным распадом и столкновениями.

Ценность и сила методов нелинейной спектроскопии в задачах атомной спектроскопии прежде всего в том, что они позволяют систематически получать с помощью вполне ограниченного числа методов всю спектроскопическую информацию практически у любых атомов и ионов с беспрецедентной точностью.

В молекулярной спектроскопии, особенно в инфракрасном диапазоне, классические методы не обеспечивают сколько-

нибудь приемлемого разрешения. Поэтому только с созданием лазеров открылась возможность инфракрасной спектроскопии молекул с разрешением лучше 10^3 . Что касается спектроскопической информации, то это прежде всего измерение сверхтонкой структуры колебательно-вращательных переходов, обусловленной квадрупольным и магнитным взаимодействием. Квадрупольное взаимодействие вызывает расщепление вращательно-колебательных линий на величину 10^6 — 10^7 Гц, зависящую от константы квадрупольного взаимодействия и углового момента молекулы. Пример экспериментально наблюдаемого в Институте спектроскопии АН СССР спектра нелинейного поглощения на линиях полосы ν_3 молекул $^{189}\text{OsO}_4$ и $^{192}\text{OsO}_4$ с помощью излучения на нескольких линиях Р-ветви CO_2 -лазера в области 10,6 мкм показан на рисунке. Отчетливо видна дублетная структура, обусловленная квадрупольным моментом нечетного ядра $^{189}\text{OsO}_4$. Аналогичные спектры, измеренные методом насыщения поглощения, молекул с изотопами 188, 190 и 192 не имеют такого расщепления, так как четные ядра осмия не имеют квадрупольного момента.

Магнитное взаимодействие между угловым моментом молекулы и спином ядер вызывает расщепление на гораздо меньшую величину, лежащую в диапазоне 10^3 — 10^5 Гц. Для обнаружения ее необходима разрешающая способность порядка 10^9 — 10^{11} .

Имеется еще один чрезвычайно тонкий эффект в молекулярных спектрах, который лежит за пределами современных возможностей эксперимента, но в будущем может быть обнаружен методами нелинейной лазерной спектроскопии. Эффект заключается в различии энергий уровней двух молекул, являющихся зеркальным отображением друг друга из-за нарушения четности при слабых взаимодействиях электронов и нуклонов в молекуле¹⁶. Физически это проявляется в наличии малой примеси нечетного потенциала взаимодействия между электронами и нуклонами, образующими молекулу. Нечетное взаимодействие снижает вырождение уровней энергии левых и правых молекул, так что, например, колебательные энергии их становятся отличающимися на чрезвычайно малую величину порядка.

$$\Delta E_{\text{кол}} \approx (10^{-13} - 10^{-18}) E_{\text{кол}}.$$

Обнаружение этого эффекта могло бы объяснить биологическую изомерию, заключающуюся в том, что все природные белки построены из L-аминокислот (левая изомерная форма). Как известно, явление биологической изомерии было открыто Пастером более ста лет назад, но до сих пор не имеет удовлетворительного объяснения.

Открытие в последние десять лет методов получения нелинейных узких оптических резонансов и основанная на их использовании нелинейная лазерная спектроскопия сверхвысокого разрешения дали в руки экспериментаторов новый эффективный инструмент исследования структуры вещества на атомно-молекулярном уровне. Этот краткий набросок последних идей и достижений в этой области свидетельствует, что нелинейная лазерная спектроскопия без доплеровского уширения находится в состоянии быстрого прогресса. Во-первых, происходит быстрое внедрение в лабораторную практику многих разработанных методов. Во-вторых, произошло быстрое внедрение узких оптических резонансов в метрологическую практику. Например, узкие резонансы в спектре молекулы I_2 , полученные с помощью He—Ne-лазера, используются в лазерном эталоне длины, имеющем точность не хуже 10^{-10} , т. е. на два порядка лучшую, чем действующий эталон длины на основе линии некогерентного излучения атома ^{85}Kr . С помощью лазеров со стабилизацией частоты по узким нелинейным резонансам была измерена скорость света с точностью 10^{-9} , что также на два порядка лучше существовавших методов измерения. Во многих лабораториях ведется интенсивная работа по созданию единого эталона длины и времени на основе стабилизированных по узким резонансам лазеров субмиллиметрового, инфракрасного и видимого диапазонов. В-третьих, продолжаются поиски новых методов нелинейной спектроскопии без доплеровского уширения. Пока не будет достигнута заманчивая цель — спектроскопия с разрешением 10^{14} — 10^{15} , определяемым естественной шириной линии излучения лазера, — существует громадное поле для новых идей и методов. И наконец, нелинейная лазерная спектроскопия, как всякий подлинно новый метод исследования, находит многие неожиданные применения в областях, казалось бы, далеких от ее основного назначения — спектроскопии атомов и молекул.

¹⁶ Letokhov V. S. — *Phys. Lett.*, 1975, v. 53A, p. 275.

Размышления о перебросках речного стока

М. И. Львович



Марк Исаакович Львович, доктор географических наук, профессор, заведующий отделом гидрологии Института географии АН СССР. Автор ряда капитальных трудов по гидрологии и водным ресурсам: *Элементы режима рек земного шара*. М., 1945; *Человек и воды*. М., 1963; *Водные ресурсы будущего*. М., 1969; *Реки СССР*. М., 1971; *Мировые водные ресурсы и их будущее*. М., 1974, и др.

В журнале «Природа» опубликовал статьи: *Много ли пресной воды на Земле?* (1973, № 5); *Будущее пресных вод* (1975, № 1).

В «Основных направлениях развития народного хозяйства на 1976—1980 годы» предусмотрены научные исследования и осуществление на их основе проектных проработок, связанных¹ с перебросками части стока северных и сибирских рек в Среднюю Азию, Казахстан и в бассейн Волги¹.

Вопрос о перебросках речного стока с севера на юг обсуждают уже давно, поскольку в теплых южных районах нашей страны воды не хватает, а наиболее эффективное в таких местах орошаемое земледелие требует большого ее количества. В нашей стране уже сейчас на орошение (без учета потерь) расходуют более 150 км³ воды в год, в то время как на все другие нужды уходит 50 км³. В десятой пятилетке площадь орошаемых земель планируют значительно увеличить, на что потребуется дополнительно не менее 30—40 км³ воды в год. Кроме того, в Средней Азии, Казахстане, на юге европейской части РСФСР и Украине около 60 млн человек живет вдали от крупных рек. Здесь же развита промышленность, также нуждающаяся в воде. Таким образом, южные части нашей страны необходимо до-

полнительно обеспечить большим количеством воды.

Для умножения водных ресурсов существует два основных способа: регулирование речного стока с помощью водохранилищ, позволяющее увеличить его в маловодные периоды, и территориальное перераспределение воды, обеспечивающее водными ресурсами засушливые районы юга за счет более многоводных рек севера. В связи с необходимостью решения второй задачи появилось несколько проектов перебросок стока с севера на юг. Сущность перебросок заключается в создании на северных реках каскадов из нескольких водохранилищ. Из нижних по течению водохранилищ с помощью насосов вода перекачивается в верхние. Таким путем достигается искусственный ток воды против течения, или, как иногда говорят, создается «антирека». На юг вода транспортируется либо по рекам (в Европейской части СССР — по Волге и Каме), либо по специально создаваемым каналам большого протяжения (в Сибири).

Научные аспекты исследований путей переброски возложены на Академию наук СССР. Институт географии АН СССР вместе с другими научными учреждениями нашей страны проводит исследование возможных влияний перебросок речного стока

¹ Материалы XXV съезда КПСС. М., 1976.

на окружающую среду, используя так называемый метод аналогов, т. е. изучая влияние на природу уже существующих гидротехнических сооружений, а также применяя расчетные и другие методы. Прежде чем говорить о направлениях исследований, остановимся кратко на предварительных проектах перебросок.

На северо-западе Европейской части СССР из рек Сухоны, Онеги, а также Онежского озера в Рыбинское водохранилище намечается перебрасывать к 1990 г. 31 км^3 воды в год. На северо-востоке, из Печоры и Вычегды в Каму — $34 \text{ км}^3/\text{год}$. Таким образом, в Волгу и Каму с севера к 1990 г. будет поступать $65 \text{ км}^3/\text{год}$ воды, а в 2000 г. эта цифра по намечаемому плану возрастет до $85 \text{ км}^3/\text{год}$. Существует также проект переброски около $30 \text{ км}^3/\text{год}$ воды из низовьев Дуная на юг Украины.

В Западной Сибири предполагают транспортировать из рек бассейна Оби на юг к 1990 г. $25 \text{ км}^3/\text{год}$ воды, а к 2000 г. $60 \text{ км}^3/\text{год}$. В дальнейшем учитывается возможность дополнительной переброски около 60 км^3 из Енисея.

При этом вначале предполагается брать воду из Тобола, а потом и из Оби ниже ее слияния с Иртышом. Из Тобольского водохранилища от г. Кургана будет строиться канал, который, при общем направлении на юг, пересечет Тургайскую впадину. Транспортируемая каналом вода закончит свой бег восточней Аральского моря, в междуречье Сырдарьи — Амударьи. Образуется искусственная река протяжением 2000 км — по водности такая же, как Днепр.

Автор этих строк в книге «Водные ресурсы будущего», опубликованной в 1969 г., высказал идею транспортирования стока из низовьев Оби через Уральский хребет в Печору и далее в Каму и Волгу. При этом из нижнего течения Оби будет забираться уже отработанная, т. е. использованная в бассейне этой реки вода; вода будет транспортироваться на юг по руслу рек Камы и Волги. Таким путем можно перебросить в бассейн Волги около $60\text{—}100 \text{ км}^3$. В результате водность нижней Волги можно увеличить настолько, чтобы обеспечить нужды орошаемого земледелия на юге Европейской территории СССР и в Западном Казахстане, поддерживая при этом уровень Каспийского моря.

Проектные работы не завершены, характер сооружений, места изъятия воды могут измениться по мере дальнейшего технико-экономического обоснования.

Следует подчеркнуть, что авторы

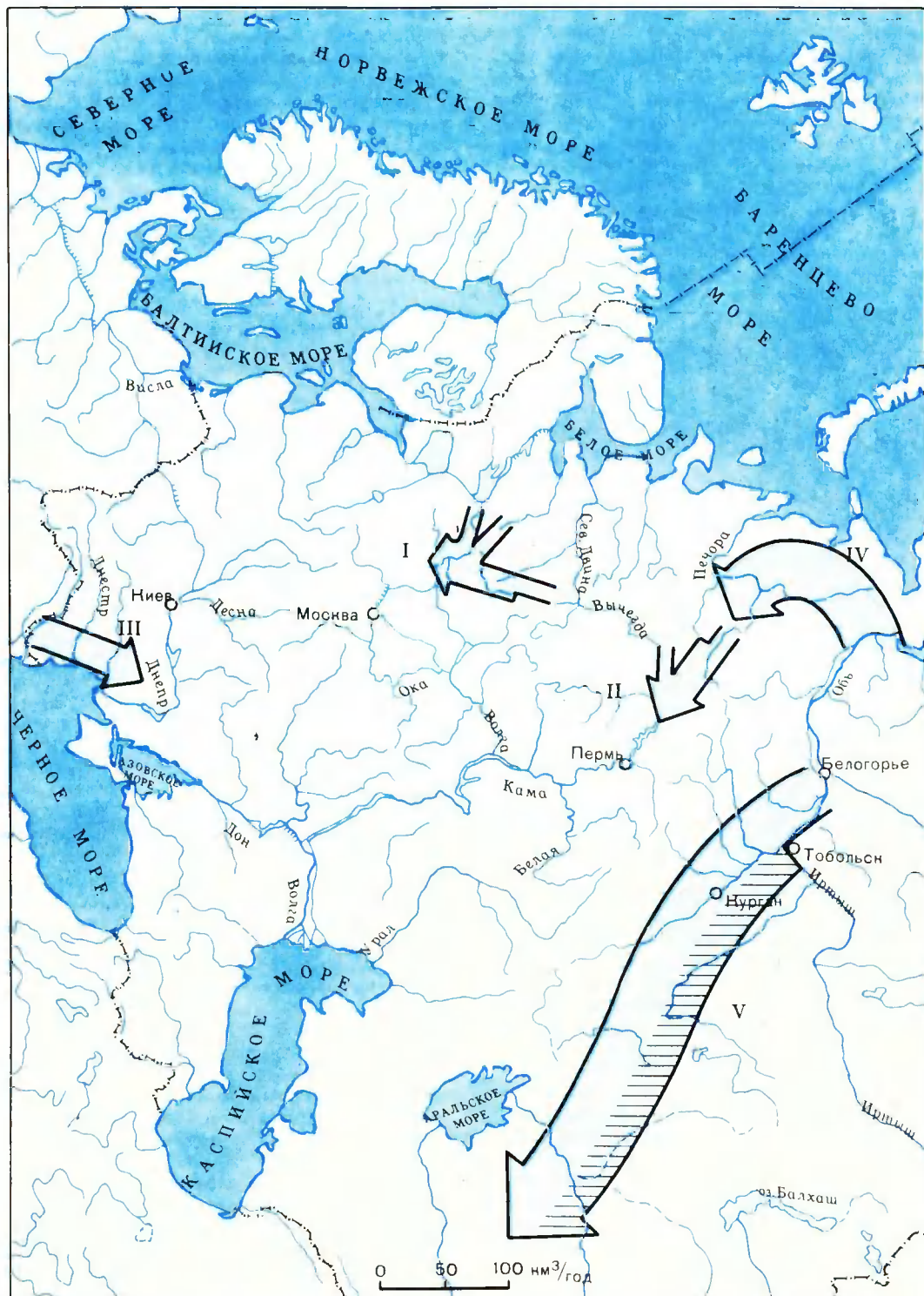
проектов, проделав большую работу по сравнению вариантов перебросок, отказались от тех, которые могли оказать серьезное неблагоприятное влияние на природу, например, в результате создания подпорных сооружений на реках заболоченных равнин. Проектировщики также стремились сократить площадь водохранилищ, чтобы в возможной мере избежать затопления земель. Достаточно сказать, что первоначальным проектом перебросок воды из Печоры в Каму предполагалось создать водохранилища площадью 15 тыс. км^2 (почти Ладожское озеро!), а в последнем варианте проекта их площадь уменьшена в 3 раза.

Это говорит о том, что в последние годы точки зрения географов и инженеров по проблеме влияния гидротехнических сооружений на природу заметно сблизились, и это несомненно поможет дальнейшим исследованиям по этой проблеме. Вместе с тем от географов требуется более глубокий анализ влияния перебросок на природу, поскольку явные воздействия уже учитываются авторами проектов, а более скрытые надлежит выявить географам.

Задача географов заключается в том, чтобы на основании заблаговременного прогноза повлиять таким образом на содержание проектов перебросок, чтобы при их осуществлении было минимум отрицательных влияний на природу и чтобы положительный эффект был максимальным.

При оценке возможного влияния перебросок на Европейской части СССР чрезвычайно важно изучение опыта Волжско-Камского и Днепровского каскадов водохранилищ. Напомним, что Волжско-Кам-

Некоторые варианты перебросок речного стока с севера на юг: I — из Сухоны, Онеги и Онежского озера в Рыбинское водохранилище; II — из Печоры и Вычегды в Каму; III — из низовьев Дуная на юг Украины; IV — из низовьев Оби через Уральский хребет в Печору и далее в Каму и Волгу; V — из бассейна Оби в междуречье Сырдарьи и Амударьи [заштрихованная часть стрелки — второй этап переброски].



ский каскад, включая строящуюся Чебоксарскую плотину, состоит из 10 водохранилищ общей площадью свыше 25 тыс. км², при полезной их емкости около 90 км³. Днепровский каскад состоит из 5 водохранилищ, занимающих 70 тыс. км², их полезная емкость превышает 22 км³.

Часто приходится сталкиваться с разными замечаниями по поводу этих каскадов, иногда даже подвергается сомнению целесообразность их создания. Однако хотя каскады обладают некоторыми недостатками, которые нуждаются в устранении, их польза для народного хозяйства несомненна.

Много справедливых замечаний делается по поводу образования на водохранилищах обширных мелководных и подтоплений. По-видимому, наступает время ликвидировать эти неблагоприятные явления путем отделения валами мелководных участков от основных акваторий водохранилищ. Возвращение части ценнейших земель поймы Волги и Днепра, превращенных в мелководье, послужит заметным вкладом в развитие высокопродуктивного земледелия.

Высказывается мнение о том, что водохранилища создали застойный режим, в результате которого ухудшается качество воды, появляются цветение и признаки евтрофирования воды. Вместе с тем даже при более застойном режиме Байкал дает прекрасную воду Ангаре, а Ладога — Неве. В водохранилищах же основная причина ухудшения качества воды — обогащение ее фосфором и азотом сточных вод, которые и «удобряют» воду. Необходимо поэтому устранить первопричины такого явления. Очистка сточных вод не решает этого вопроса в полной мере. Необходима регенерация сточных вод или постепенное прекращение сброса их в реки и водоемы. Обоснование этой меры получено в результате исследований Института географии АН СССР, и не будем здесь на этом останавливаться². Отметим лишь, что некоторые отрасли промышленности, и что особенно важно — химическая, уже стали на этот путь. Такие меры необходимы и по многим другим причинам, но водохранилища серьезно обострили проблему сточных вод.

Главная польза от водохранилищ на

Волге, Каме и Днепре — увеличение водных ресурсов в маловодные сезоны и годы, а также улучшение качества вод, так как с увеличением расходов воды на некоторых участках сточные воды разбавляются и лучше аэрируются. На нижней Волге и в нижнем течении Днепра речной сток в период меженного маловодья с помощью водохранилищ увеличен в 2—3 раза, что равноценно увеличению водных ресурсов, так как именно межennyй сток лимитирует развитие хозяйства.

Нужно однако отметить, что при существующем режиме эксплуатации водохранилищ еще не все потенциальные возможности используются для увеличения стока в межень. Кроме того, остановка части турбин в выходные дни на некоторых гидростанциях, связанная с уменьшением потребности в электроэнергии, создает условия для резких еженедельных колебаний стока на свободных бьефах ниже плотин. Такой режим работы гидростанций в энергетическом отношении несомненно выгоден. Но с точки зрения окружающей среды он неблагоприятен, так как является причиной концентрации загрязнений ниже плотин в те дни, когда часть турбин останавливается. Полагаю, что вполне возможно устранение этого неблагоприятного явления, хотя, вероятно, и не без некоторых убытков для энергетики.

Теперь кратко о волго-каспийской рыбе.

Опыт Волжско-Камского каскада учит, что рыбным ресурсам своевременно не было уделено должного внимания. В результате уникальные ресурсы осетровых рыб оказались под угрозой гибели. Потребовались огромные усилия, чтобы предотвратить эту угрозу. Теперь ресурсы осетровых рыб восстанавливаются, их уловы стали постепенно расти. По всей вероятности, более благоприятные условия для воспроизводства рыбных ресурсов могли быть обеспечены, если бы меры по рыборазведению опережали гидротехническое строительство.

Приведенные отдельные примеры прежде всего свидетельствуют о чрезвычайно разносторонних связях между преобразованием вод и вызванными им последствиями.

Один из наиболее сложных вопросов переброски — количество воды, которое необходимо иметь дополнительно на юге. Коснемся лишь отдельных сторон этого вопроса.

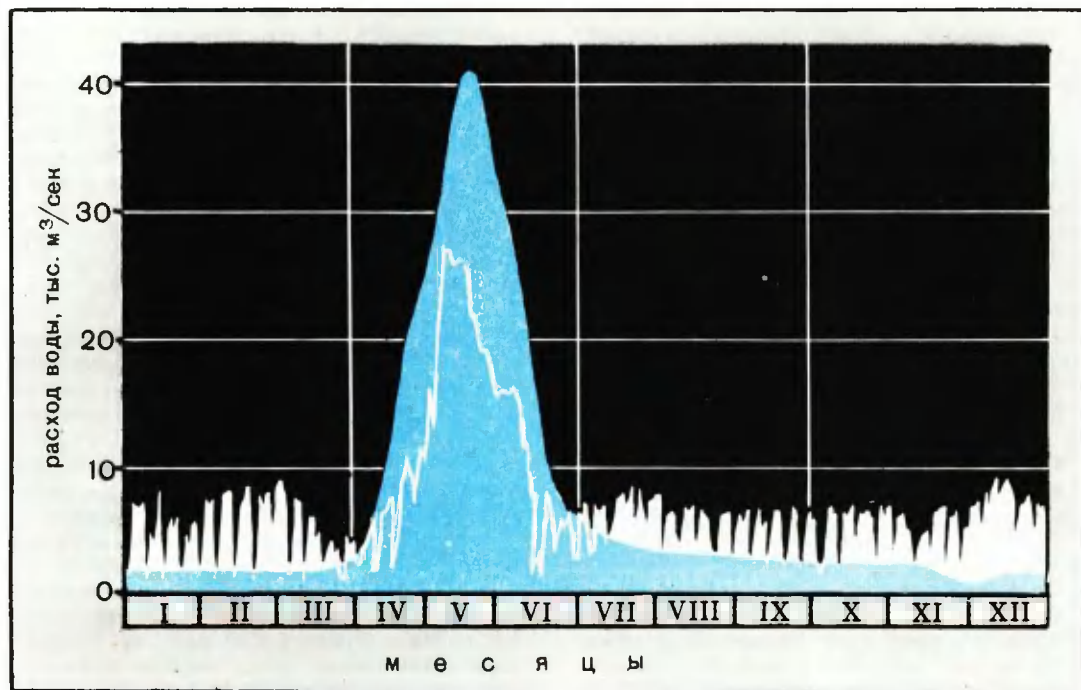
Прежде всего объем воды, который должен поступать с севера, зависит от

² Львович М. И. Мировые водные ресурсы и их будущее. М., 1974.

полноты использования местных водных ресурсов. Потенциальные водные ресурсы в горах Средней Азии, тяготеющие к Аральскому морю, оцениваются нами в 125 км³ в год. Однако использовать этот объем из-за годовых колебаний речного стока и довольно больших потерь пока невозможно, поэтому на орошение идет примерно половина этой воды. В маловодные же годы, как это, например, было в 1974 и 1975 г., воды на орошение вообще не хватает.

Восполнение дефицита воды в ма-

АН СССР исследование показывает, что таким образом можно увеличить доступные для использования водные ресурсы Средней Азии на 20—30 км³ год. Такие водохранилища можно будет использовать для выработки энергии лишь попутно. Многолетнее регулирование стока в горах Средней Азии в принципе не противопоставляется переброскам, но позволит полнее использовать местные водные ресурсы. К этому необходимо добавить борьбу с потерями воды, снижение норм орошения и поливов, например за счет их механиз-



Кривые расходов воды Волги ниже Куйбышевской ГЭС в естественных условиях [синяя] и после строительства водохранилища [белая].

ции, использование на орошение большего количества подземных вод и ряд других мер по повышению КПД водохозяйственных систем Средней Азии.

Можно также уменьшить расход воды на орошение, целесообразно разместив зерновые культуры. Дело в том, что в Средней Азии на производство одной тонны зерновых культур расходуется около 2—2,5 тыс. м³ воды, а в Нечерноземной зоне, например в Белоруссии, менее 1 тыс. м³ воды. Вот почему чрезвычайно важно изучить возможности перестройки географии зернового земледелия, выяснить целесообразность уменьшения производства зерновых культур в Средней Азии и резкого его повышения в Нечерноземной полосе, где высокие урожаи

ловодные годы, во всяком случае частичное, возможно при создании системы водохранилищ ирригационного типа в горах Средней Азии такой суммарной полезной емкости, которая могла бы обеспечить многолетнее регулирование речного стока. Проведенное в Институте географии

(более 5 т/га) достигаются на мелиоративных системах двойного действия, сочетающих осушение с орошением, а также в степных районах, где орошение возможно за счет ресурсов местного речного стока или перебросенного с севера стока, но при небольших нормах орошения.

Один из путей уменьшения норм орошения — создание возможно более густой сети ползащитных лесонасаждений. Система лесных полос способствует уменьшению непродуктивного (т. е. непосредственно с почвы) испарения с полей и относительно повышает расход воды на транспирацию³. Этот процесс позволяет на защищенных лесополосами полях получать высокие урожаи при меньших нормах орошения.

При расчетах количества воды, подлежащей переброске на юг, приходится считаться с большим расходом воды на питание Арала и Каспия. Однако вполне очевидно, что сохранение этих морей в условиях будущего невозможно в первоизданном виде. В их бассейнах многое изменилось, особенно размеры притока воды, а с ним и весь комплекс элементов режима. С этой целью необходимо реконструировать Арал и Каспий в соответствии с происшедшими изменениями. Сохранить их можно лишь, уменьшив площади действующих, активных частей этих водоемов и тем самым уменьшив расход воды на испарение. Другими словами, речь идет о создании искусственных «карабогаз-голов».

Кара-Богаз-Гол, как известно, представляет собой естественный механизм стабилизации уровня и солёности Каспия. В прошлом, при более высоком стоянии уровня, эффективность была значительно выше. Воспроизведение таких механизмов, но с управляемой подачей в них воды на Арале и расширение их на Каспии обеспечит, по нашему мнению, стабилизацию уровней и солёности их водных масс при уменьшенных объемах притока. Равновесный водный баланс должен быть вычислен заранее. Исследования Института географии АН СССР показали, что, уменьшив площадь Аральского моря путем деления плотинами части акватории, а также несколько понизив его уровень, можно при сравнительно низком притоке не только сохранить Арал как водоем, но и превра-

тить его в проточный и пресный⁴. Требуется, конечно, техническое и экономическое обоснование этих исследований, но вполне очевидно, что возврат к прошлому водному балансу и режиму Каспия и Арала невозможен.

Проблема территориального перераспределения водных ресурсов тесно связана с будущим Западно-Сибирской низменности, возможным ее освоением, особенно заболоченных частей. По расчетам Института географии АН СССР, заболоченная площадь в этом районе достигает 800 тыс. км², причем агрессия болот продолжается⁵ и их площадь ежегодно увеличивается приблизительно на 100 км².

Такое состояние заболоченной части Западно-Сибирской низменности вряд ли может продолжаться бесконечно долго. Как известно, уже сейчас западносибирская нефть и газ привлекают огромное внимание, и первые крупные шаги по освоению заболоченных районов Западной Сибири уже сделаны. В будущем будут осваивать и другие заболоченные части Западной Сибири — болота низинного типа и в какой-то мере верховые болота, которые после осушения можно использовать для сельскохозяйственного производства или лесоразведения. Поскольку низинные болота в основном питаются речными разливами, следует изучить возможности от качки воды из средних и малых рек, питающих болота, и использовать ее в качестве источника для переброски воды в Среднюю Азию.

Сейчас нельзя сказать, сколько воды можно получить таким путем. Допустим, это сначала будет 5—10 км³, постепенно количество такой воды можно увеличивать, расширяя осушенную площадь. Переброска стока с севера на юг будет способствовать освоению северных районов и позволит развивать орошаемое земледелие на юге, что является важными элементами улучшения среды как на севере, так и на юге.

Можно предположить, что в результате осушения болот уменьшится испаре-

⁴ Lvovitch M. I., Tsigelnaja I. D. The Control of the Water. Balance of the closed Lakes in the Future. Intern. Ass. Hydrolog. Sciences. 1973. Publ. 109.

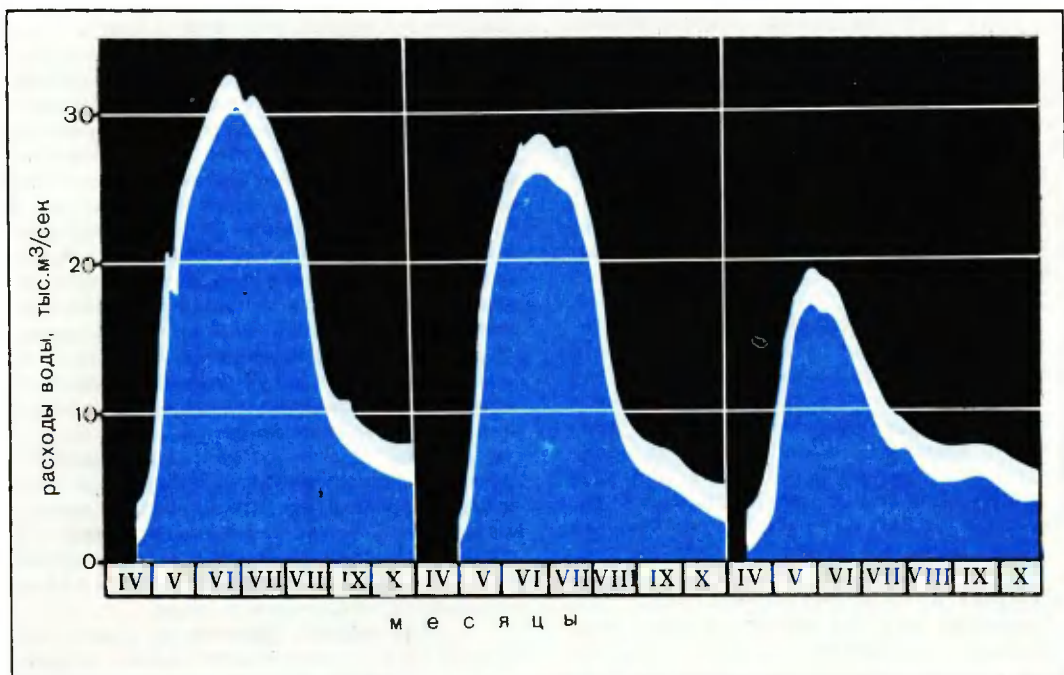
⁵ Нейштадт М. И. Мировой природный феномен — заболоченность Западной Сибири. — «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1971. № 1.

³ Львович М. И. Человек и воды. М., 1963.

ние, максимально возможное в заболоченных частях Западной Сибири сейчас. По этой причине могут увеличиться ресурсы воды, пригодные для переброски на юг или компенсирующие изъятие воды из Иртыша и Оби. Такая перспектива особенно заманчива. Изменение водного баланса Западной Сибири в связи с осушением болот зависит от соотношения испарения с отдельных угодий. Если осушенные земли будут заняты лесом, то расход на испарение может даже возрасти, а если занять их травами и зерновыми культурами, то

изучения. Поскольку меры по улучшению окружающей среды должны опережать гидротехнические работы, было бы правильно уже сейчас организовать в этом районе мощную мелиоративную опытную станцию для исследования последствий осушения в таких сложных условиях.

Изъятие воды из больших рек — Оби и Тобола в какой-то мере уменьшит разливы, а следовательно, будет способствовать борьбе с заболоченностью на участках рек ниже водозабора. Наиболее ощутимыми будут отъемы воды в период



Кривые стока Оби в разные по водности годы. Голубым показан отъем воды на первом этапе переброски (1000 м³/с), белым — на втором этапе переброски (еще 1400 м³/с), синим — сток Оби после предполагаемой переброски.

расход воды на испарение в целом может уменьшиться.

Для обоснованного решения этого вопроса необходимы экспериментальные исследования. Решение проблемы о возможном изъятии воды из болот и малых рек Западной Сибири требует, конечно,

зимней межени, когда в реках Сибири меньше всего воды, что, возможно, вызовет дополнительные заморы рыбы. Заметным будет отъем воды в маловодные годы. В средние же по водности и особенно многоводные годы изъятие воды во время половодья будет невелико по сравнению с естественным стоком. Следует, по-видимому, предусмотреть строительство регулирующих водохранилищ в верхнем течении Оби и Иртыша в пределах Алтая и зимой спускать в Обь воду, накопленную в водохранилищах весной и летом. Другой путь — отказаться от переброски воды из Оби и Тобола зимой, когда наиболее опасны заморы рыбы. Уже сейчас, не откладывая, необходимо начать изучать экологические условия, которые сложатся через

15—30 лет в результате изъятия речного стока.

В целом изъятие воды из больших рек Западной Сибири, пусть пока в небольшой степени, уменьшит обводненность одного из наиболее заболоченных в мире районов (при условии, что в его пределах не будут создаваться подпорные сооружения). Вместе с тем в Среднюю Азию, на юг Европейской территории СССР и в степной Казахстан поступит необходимая вода.

В районах изъятия воды из рек, также как и в районах использования ее (в основном для орошения) водный баланс территории изменится. Появление десятков кубических километров воды на юге, несомненно, обогатит влагой атмосферу. При западно-восточном воздушном переносе, как известно, значительное количество влаги конденсируется в горных районах Средней Азии. Необходимо изучить, не будет ли этот процесс способствовать повышению водности горных рек. Такая перспектива, несомненно, была бы весьма желательна.

Изменения продолжительности ледостава, возможные в низовьях рек и в пределах морских приустьевых участков в результате изъятия воды из рек, текущих на север,—серьезный фактор, требующий анализа и учета в проектах перебросок воды. Следует отметить, что возможное удлинение продолжительности ледостава вряд ли распространится на морские зоны Печорской и Обской губ, а также на прилегающие к ним участки Баренцева и Карского морей, поскольку уменьшение притока пресных речных вод, плавающих на морских соленых, создает условия для улучшения ледовой обстановки.

Конечно, приведенные примеры влияния территориального перераспределения водных ресурсов на природу далеко не полны. Они лишь показывают, насколько многосторонний характер носят эти влияния.

Важно подчеркнуть, что при всяких существенных преобразованиях возникают неизбежные отрицательные последствия и задача, как мы уже говорили, заключается в том, чтобы свести их к минимуму. А это возможно лишь при интенсификации водного хозяйства вообще. Другими словами, темпы роста расходования воды должны отставать от темпов развития хозяйства. Это означает, что нормы водопотребления на единицу продукции должны снижаться путем уменьшения потерь, сниже-

ния водоемкости производства вплоть до перехода на «сухую» технологию. В этом направлении, как уже отмечалось выше, делаются весомые шаги. Например, в химической промышленности, предприятия которой, как известно, существенно загрязняют водные объекты, наряду с мерами по очистке сточных вод активно проводятся работы по уменьшению водоемкости производства. Так, в нефтеперерабатывающей промышленности расход воды на 1 т перерабатываемой нефти за последние десятилетия значительно уменьшился — с нескольких кубических метров воды до 0,1—0,2 м³ на тонну нефти, проектируются заводы и с безводной технологией.

Необходимость решения проблемы территориального перераспределения водных ресурсов наряду с целенаправленной интенсификацией водного хозяйства совершенно очевидна уже сегодня и становится еще более острой при взгляде в будущее. Несомненно, существует минимум водных ресурсов, необходимый для благоприятного развития природы на севере. Перешагнуть через него, конечно, нельзя. Вместе с тем население и экономика юга будут расти весьма быстро. Если при этом также будут расти потребности в воде, то в конце концов никаких водных ресурсов не хватит не только на юге, но и на севере. Поэтому крайне важно стремиться к минимуму перебросок воды с севера, а эту задачу можно решить, повышая одновременно интенсивность всех отраслей водного хозяйства на юге, особенно в районах, где наиболее остро уже сейчас ощущается недостаток в воде.

Идея перераспределения водных ресурсов в значительной мере утратит смысл, если не обеспечить чистоту перебрасываемых вод. По этой причине особенно актуальны меры по предотвращению загрязнения водных ресурсов в районах их изъятия и на пути транспортирования.

Другой вопрос заключается в гидрохимических изменениях, не связанных с загрязнениями: в южных районах появятся менее соленые карбонатные воды меньшей минерализации, что относится к числу положительных последствий. Одновременно в северных районах в какой-то мере усложнится охрана вод от загрязнений, но здесь эта проблема менее обострена, чем на юге.

Немаловажен также и экономический эффект перебросок.

Обратимся к зарубежному опыту, и в частности к опыту США, где водные ресурсы также распределены неравномерно,

поэтому в этой стране возникло 12 проектов крупных перебросок речного стока. В их числе проектируется переброска около 19 км^3 из нижнего течения р. Колумбии в р. Колорадо, а также 21 км^3 воды из Миссисипи и рек восточной части Техаса в штат Нью-Мексико. Наиболее крупный проект предусматривает транспортирование 136 км^3 воды из Аляски и рек Канады в систему Великих озер, западные штаты и Мексику. Капитальные затраты на переброску 1 км^3 воды по этому проекту оцениваются в 750 млн долл. По другим проектам затраты колеблются в пределах от 500 млн. до 1 млрд долл. за 1 км^3 .

Исследования показали, что на орошаемых землях запада США можно сберечь до 11 км^3 воды в год за счет местных водных ресурсов и эта вода будет экономичней, чем переброска такого же количества воды из Колумбии через р. Снейк в Колорадо. Нужно однако учитывать, что южные районы в СССР хуже обеспечены водой, чем западные районы в США.

Важным критерием оценки перебросок речного стока, кроме экономических показателей, в США считают улучшение условий окружающей среды, а поскольку этот вопрос недостаточно изучен, некоторые специалисты в США и Канаде считают, что от крупных перебросок следует пока воздержаться. Конечно, опыт США для СССР носит весьма условный характер, так как природные и экономические условия двух стран весьма различны. Все же полезно с ним ознакомиться.



РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Герарди И. А. ВОДУ СИБИРСКИХ РЕК — ЗАСУШЛИВЫМ ЗЕМЛЯМ ЮГА.— «Гидротехника и мелиорация», 1972, № 12.

Львович М. И. БУДУЩЕЕ ПРЕСНЫХ ВОД.— «Природа», 1975, № 1.

Львович М. И. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ТЕРРИТОРИАЛЬНОГО ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЯ ВОДНЫХ РЕСУРСОВ.— «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1977, № 2.

Михайлов Н. И. и др. ВОЗМОЖНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ ПРИРОДНЫХ КОМПЛЕКСОВ ЗАПАДНОЙ СИБИРИ И КАЗАХСТАНА ПРИ ПЕРЕБРОСКЕ ЧАСТИ СТОКА СИБИРСКИХ РЕК.— «Изв. АН СССР. Сер. геогр.», 1977, № 6.

Итак, прогноз влияния на окружающую среду перебросок речных водных ресурсов с севера на юг относится к числу весьма сложных многоплановых задач системы географических наук.

Используемый в наших исследованиях метод аналогов уже дает некоторые положительные результаты. Кроме того, применяются расчетные методы изменений элементов.

Нет сомнений в том, что инженерные работы по проектированию перебросок при широком участии научных учреждений географического, природоведческого профиля позволят эффективно решить эту проблему не только по экономическим и техническим показателям, но будут также способствовать улучшению окружающей среды.

Лазерная физика — наиболее близкая мне область

Р. В. Хохлов

16 февраля 1977 г. в Большой физической аудитории Московского университета состоялся устный выпуск журнала «Успехи физических наук». Среди членов редколлегии, выступавших с лекциями, был и ректор МГУ, замечательный советский ученый академик Рем Викторович Хохлов. Сотрудники «Природы» сделали магнитофонную запись этого выступления. Она не предназначалась для публикации, однако трагическая смерть Р. В. Хохлова придала записанной речи неожиданную ценность: это выступление оказалось одним из последних.

Р. В. Хохлов, к сожалению, ни разу не писал для нашего журнала. Однако он высоко ценил «Природу», был ее постоянным читателем. Как раз на этом заседании он говорил нашему корреспонденту, что материалы «Природы» помогают его работе в ректорате и Президиуме Академии наук, позволяют быть в курсе последних

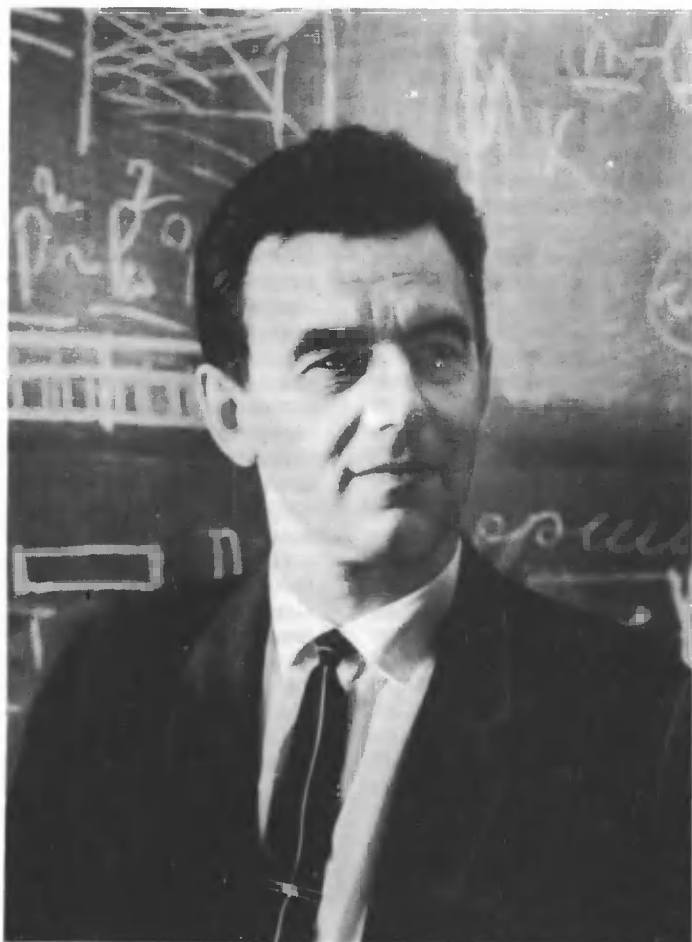
достижений в тех областях науки, где он не является специалистом. Р. В. Хохлов обещал написать для «Природы» о рентгеновских лазерах и предложил свое содействие в том, чтобы специалисты из МГУ более активно выступали на страницах нашего журнала.

К сожалению, дословная передача на бумаге выступления, рассчитанного для восприятия на слух [а Р. В. Хохлов был блестящим лектором] невозможна. Лектор как бы подбирает вместе с аудиторией наиболее подходящие слова, обменивается репликами со слушателями — поэтому в публикуемом тексте приходилось убирать повторы, оговорки, неоконченные выражения, характерные для устной речи. В то же время мы старались внести минимальную правку, с тем чтобы наиболее полно донести текст выступления до читателя.

Лазерная физика, естественно, — наиболее близкая мне область. И я хочу сказать о замечательном свойстве лазерного излучения. Его отличие от излучения теплового заключается, как известно, в когерентности. Когерентность, если говорить грубо, — это упорядоченность колебаний светового поля: и упорядоченность, высокая упорядоченность во времени — это временная когерентность, и высокая упорядоченность в пространстве — это пространственная когерентность. Вот этими двумя главными свойствами лазерное излучение и отличается от теплового. Благодаря временной когерентности лазерное излучение обладает возможностью, скажем, раскочки, т. е. сильного резонансного взаимодействия с мо-

лекулами, с веществом, с атомами. А пространственная когерентность обеспечивает очень высокую направленность лазерного излучения, широко используемую в различных устройствах, основанных на этом свойстве. Именно поэтому с помощью лазеров могут быть созданы такие высокие плотности энергии в единице объема, которые невозможно создать, используя тепловое излучение. Известно, что если бы мы попытались сконцентрировать тепловую энергию, скажем, солнечного луча, сфокусировав его большой линзой на небольшой объект, на небольшую капелюшку, то достичь более высокой температуры, чем температура Солнца, здесь нельзя: мы получим 6000° в фокусе и не более.

В то же время с помощью лазеров



Рем Викторович ХОЛОВ
15.VII.1926 — 8.VIII.1977.

мы можем получить очень высокие температуры, превышающие сотни миллионов градусов. Эта способность лазерного излучения уже нашла применение в практических устройствах: в технологии, скажем, для резки металла, для изготовления отверстий, для сварки. И она используется в таких областях, как нагрев плазмы до очень высоких, до термоядерных температур, при которых начинает идти термоядерная реакция. Один из подходов к проблеме управляемого термоядерного синтеза (я думаю, что о другом подходе несколько слов скажет Борис Борисович¹ позже), один из подходов, который исторически начал развиваться позднее, — это так называемый лазерный, а дальше — инерционный термояд, т. е. нагрев плазмы с помощью лазеров. Здесь, оказывается, могут быть достигнуты температуры (и реально они уже достигнуты) порядка сотен миллионов градусов, т. е. температуры, при которых уже начинает идти термоядерная реакция. Ну а конкретно, если говорить о «реалистических» применениях термоядерного синтеза, это реакция между дейтерием и тритием, а практически такая реакция уже осуществлена с помощью лазеров. Это означает, что такой нагрев плазмы уже реально осуществлен.

Идея такого подхода была выдвинута Басовым и Крохиным примерно в 1962—1963 гг. ...И тогда же началась работа по реальному применению лазеров для нагрева дейтерий-тритиевой плазмы. Первые нейтроны были получены в 1968 г., после этого довольно много лабораторий и за рубежом, и у нас начали использовать такой лазерный подход к решению термоядерной проблемы. Значительный шаг в этом деле был сделан несколько позднее группой американцев, показавших, что энергия, которая необходима для поджига такой плазмы, может быть существенно уменьшена. А энергия первоначально в опытах предполагалась достаточно большая — сотни мегаджоулей для того, чтобы реально зажечь термоядерную плазму. Но оказалось, что если лазерный импульс будет определенным образом профилировать во времени, то режим поджига мо-

жет быть подобран так, что этот импульс можно существенно уменьшить. Суть идеи в том, что лазерный импульс должен сначала сжать вещество до очень высоких плотностей на несколько порядков (на три, даже четыре) выше нормальной. Вот когда вещество находится в сжатом состоянии, то оказывается, что процесс его поджига становится существенно легче: энергии на это приходится тратить гораздо меньше. На сжатие, оказывается, уходит только небольшая часть энергии, необходимой для поджига, для прогрева до таких высоких температур. Эта идея стала новым существенным этапом в развитии проблемы лазерного термоядерного синтеза.

В настоящее время здесь имеются определенные продвижения и, вероятно, это — один из путей, даже в каком-то отношении конкурирующий с принципами токамаков. И можно ожидать, что на этом направлении будет достигнут значительный прогресс.

Я хотел бы сказать, что лазерный термояд еще привлекателен тем, что здесь могут быть достигнуты достаточно высокие температуры: не только порядка десяти кэВ, но и гораздо выше. Особенно это относится к развитой реакции: когда начинается реакция, температура горения становится существенно выше, она превышает тогда сотни кэВ, и в ряде случаев может быть доведена даже до одного МэВ. Данное обстоятельство позволяет пойти несколько дальше и использовать управляемый термоядерный синтез не только для выработки большого количества относительно дешевой энергии, но и для получения редких элементов. Это чрезвычайно важно, так как проблема истощения минеральных ресурсов является не только энергетической и связана не только с нехваткой нефти, угля, но и таких минеральных ресурсов, как руды редких элементов и даже не очень редких, типа меди, никеля и т. д. Запасы редких руд в Земле ограничены, рано или поздно они начнут также истощаться, они уже уменьшаются. И это естественно: Земля за миллиарды лет своего геологического развития накопила определенные элементы, которые человечество довольно быстро выбирает. Вот почему рано или поздно возникнет проблема истощения минеральных ресурсов. Поэтому после решения энергетической проблемы можно думать и об использовании других возможностей управляемого термоядерного синтеза. Здесь в последнее время имеются определенные предложения по так называемой «варке»

¹ Б. Б. Кадомцев, академик, руководитель отдела Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, главный редактор журнала «Успехи Физических наук». Занимается другим важным направлением в области управляемого термоядерного синтеза — магнитным удержанием плазмы.

разных элементов в условиях лазерного и других видов нагрева.

Я хочу также немного сказать и о другой проблеме, связанной не только с развитием лазерной физики. Лазерная физика в настоящее время (как и ранее радиофизика) развивается в сторону уменьшения используемой длины волны излучения. В настоящее время наиболее коротковолновое когерентное излучение находится в длинноволновом рентгеновском диапазоне, и самая короткая длина волны, которая получена, — это 380 Å. Вот рекорд на сегодняшний день. Получено это излучение методами нелинейной оптики, умножением частоты, это — я даже могу назвать точно — это двадцать восьмая гармоника неодимового лазера, длина волны которого равняется 1,06 мкм. Несмотря на то что гармоника достаточно высокая, эффективность преобразования здесь также достаточно высока. На первых ступенях, скажем на четвертой, эффективность преобразования составляет порядка 60%, а мощность, полученная дальше, в районе 500 Å, составляет киловатты. Так что мы уже имеем гигантские когерентные колебания в длинноволновой области мягкого рентгеновского диапазона, и здесь существует много возможностей использования такого излучения для исследования проблемы взаимодействия с веществом в этом диапазоне. Есть также идеи, как получить и прямое лазерное излучение примерно в этом диапазоне, но дальнейшее продвижение встречает целый ряд трудностей.

И вот некоторое время назад (уже лет пятнадцать) была высказана идея об использовании внутриядерных переходов для получения таких излучений. Это переходы, при которых излучаются гамма-лучи. Здесь имеется довольно много трудностей. Прежде всего они связаны с тем, что поглощение веществом в этом диапазоне электромагнитного излучения очень велико и составляет десятки, даже сотни обратных сантиметров. Это значит, что на одном сантиметре волна затухает в e^{200} раз — это колоссальное затухание. Вот первая трудность: нужно как-то исключить, элиминировать, уменьшить то реальное поглощение гамма-лучей, которое осуществляется в веществе.

Вторая трудность — достижение достаточно высокого коэффициента усиления. Оказывается, что сечение вынужденного излучения ядер мало, оно уменьшается с длиной волны как λ^{-2} . Поэтому если в видимом диапазоне оно достаточно ве-

лико, то соответственно при переходе к диапазону длин волн короче одного ангстрема сечение уменьшается очень сильно, скажем, примерно в 5000^2 раз. Это еще одна трудность. Имеется и целый ряд других, которых я сейчас не могу касаться и которые частично, кстати, были освещены на страницах нашего журнала «Успехи физических наук». Ну а другие трудности еще ждут, так сказать, своего издания. Так или иначе проблема эта стоит, и в каком-то смысле на бумаге она решена. Сейчас предпринимаются попытки подойти к ее решению экспериментально.

Таким образом, два названных мною метода относятся к взаимодействию лазерной и ядерной физики. Надо сказать, что это взаимодействие имеет и целый ряд других аспектов. Например, сейчас очень широко развивается проблема лазерного разделения изотопов. Оказывается, с помощью лазера можно разделить изотопы, причем это представляет промышленный интерес, поскольку такой способ уже достаточно дешев и эффективен. И по мнению некоторых физиков, занимающихся лазерами, наибольший экономический эффект применения лазеров даст в ближайшее время лазерное разделение изотопов. Эта проблема имеет и другой характер, другой смысл. Можно разделить достаточно большое количество урана двести тридцать пятого в условиях сравнительно небольшой лаборатории. И вот сейчас в Америке, в частности, рассматривается законопроект о запрещении такого «домашнего» разделения изотопов. Боятся, что могут возникнуть чрезвычайно неприятные последствия, если такое разделение наладят какие-нибудь гангстеры.

Я привел несколько примеров взаимодействия ядерной и лазерной физики. Но лазерная физика является сейчас «проникающей» идеей в физике, и можно назвать практически любую проблему и назвать, соответственно, лазерные подходы к ней: например, лазерная полупроводниковая физика. Лазеры очень многое сделали в полупроводниках. В частности, с помощью лазеров сейчас создаются очень высокие концентрации экситонов, взаимодействие между которыми, благодаря такой высокой концентрации, приводит к целому ряду эффектов. Это так называемое конденсированное состояние — экситонные капли, которые обладают очень интересными свойствами. Я не буду сейчас об этом говорить: возможно, что в одном из следующих

выпусков Леонид Вениаминович Келдыш, сегодня отсутствующий, об этом расскажет, поскольку он имеет большее отношение к данному вопросу.

Если говорить о биологии, то существует лазерная биология, лазерная биофизика — здесь лазеры дали много интересных возможностей. Я сейчас не могу об этом говорить дальше: мое время истекло. Я хочу только сказать, что лазерная физика продолжает развиваться: возникают все новые идеи; идеи, высказанные ранее, находят использование в науке, в народном хозяйстве и в жизни. И я думаю, что наш журнал «Успехи физических наук» опубликует еще много статей, посвященных развитию лазерной физики. Спасибо за внимание.

[Задается вопрос о преимуществах лазерного излучения перед синхротронным в мягком рентгеновском диапазоне.]

Синхротронное излучение обладает широким спектром, оно некогерентно, у него так же, как у теплового, широкий спектр. А это, так сказать, линия, когерентная линия. Вот почему так же, как, скажем, в видимом диапазоне какая-то вольтова дуга и лазер существенно отличаются, так же и синхротронное излучение существенным образом отличается от когерентного — удельной интенсивностью на единицу спектральной длины. Но надо сказать, что синхротронное излучение, в свою очередь, может быть использовано для накачки лазеров, и такого рода работы ведутся, в том числе у нас в Институте механики.

[Задается вопрос о лазерной локации Луны.]

Отражение лазерного излучения от Луны позволяет наблюдать дрейф континентов. Это тоже очень важное дело, потому что сейчас в геологии имеется новая теория — глобальная тектоника. Данная теория революционизирует всю геологию: в общем, отношение наше к истории Земли совершенно меняется. Например, Индия была в свое время где-то там, на юге Африки, потом она оторвалась, подошла к Азиатскому материку и сдавила его, в результате вот такого сдвигания возникли Гималаи. То же самое относится к целому ряду других районов. И сейчас реальный дрейф континентов — он составляет несколько сантиметров в год — измеряется как раз с помощью отражения лазерного излучения от Луны.

[Задается вопрос о расшифровке структуры биологических молекул с по-

мощью излучения рентгеновских лазеров.]

Когда говорят о желательности создания коротковолновых лазеров, то одна из центральных проблем, имеющих вид, — это проблема расшифровки сложных молекул. Как вы знаете, в настоящее время количество расшифрованных сложных белковых молекул не так велико — порядка сотни, а разнообразие их огромно. На каждую такую расшифровку затрачиваются годы напряженного труда больших коллективов. В то же время, будь у нас возможность получать голографическое трехмерное изображение белковых молекул, работа существенно стала бы легче. Поэтому одна из стоящих в списке проблем, решение которых будет достигнуто при наличии коротковолновых лазеров — это проблема молекулярной голографии.

Методология науки: проблемы теоретизации знания

Н. Ф. Овчинников

В предыдущих номерах журнала «Природа» (1977, № 1—3, 5, 9) были опубликованы статьи П. П. Гайденко, Г. А. Курсанова, А. Е. Левина, В. П. Визгина, М. К. Петрова, посвященные проблемам возникновения и развития науки. В них шла речь о становлении античных математических представлений и взглядов на истину и истинное познание, «качественной физики», которые сыграли большую роль в формировании науки и до сих пор имеют определенное эвристическое значение; о первой (XVI—XVII вв.) и второй (XIX в.) научных революциях, приведших к институциональному оформлению науки. В данной статье представлена попытка выявить характерные черты современного этапа ее развития.

3



Николай Федорович Овчинников, доктор философских наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР. Работает в области методологии науки и философских вопросов естествознания. Неоднократно выступал на страницах журнала (1974, № 8; 1974, № 10; 1975, № 12 и др.). Член редколлегии журнала «Природа».

Современная наука предъявляет повышенные требования к методологическим исследованиям. Многообразие проблем, неисчерпаемость объектов изучения, настоятельная необходимость пересмотра традиционных понятий, все возрастающее влияние научных открытий на условия существования и на саму жизнь людей — все это заставляет более пристально всматриваться не только в содержание знания, но и в средства его приобретения.

Средства — орудия деятельности. Это могут быть как материальные вещи (станки, приборы), так и идеальные образования (язык, абстрактные понятия). Сами по себе эти средства, конечно, пассивны. Необходимо уметь их применять, знать правила обращения с ними. Средства деятельности вместе с правилами обращения составляют метод той или иной работы. Существенно, что правила, если речь идет о научной деятельности, всегда содержа-

тельны — в них так или иначе представлено уже существующее, предварительное знание об объекте исследования. Такова глубинная особенность научного знания вообще — оно вырастает на почве имеющегося знания и выступает как предпосылка последующего. Вот почему можно сказать, что методы научной деятельности небезразличны содержанию знания. Более того, поиски адекватных методов — важнейшее условие достижения действительно нового содержания.

Систематическое изучение научных методов — средств деятельности вместе с правилами оперирования — составляет задачу особой области исследования — методологии. Пытаясь конкретизировать эту задачу, конечно же, невозможно говорить о всей совокупности научного знания в его отношении к методологическим разработкам. Будем иметь в виду лишь науки о природе. В истории познания природы методологические задачи ставились и решались различным образом, а способы решения этих задач формировали особенные типы методологического мышления. Попытки выявить эти формы и уровни методологического мышления приводят нас к проблеме анализа знания как явления человеческой жизни, как феномена знания. Обнаруживается необходимость понять научное знание как особый тип отношения человека к миру природы, как теоретическое отношение.

МЕТОДОЛОГИЧНОСТЬ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ

Современная наука в большей мере, чем классическая, испытывает потребность в методологических разработках. Более того, для современной науки характерно непосредственное включение методологических приемов в содержание знания. Для того чтобы убедиться в методологичности современной науки, необходимо только всмотреться в структуру современных научных теорий, в необычное, часто удивляющее нас содержание исходных понятий, в характер новейших средств исследования с определенной точки зрения — рассмотреть научное знание со стороны тех многообразных методов, которые способствуют приобретению нового содержания.

Методы науки многообразны. Выделим в этом многообразии основные — экспериментальные и теоретические методы. Для таких наук, как физика, химия, биология, характерно сочетание экспериментальной и теоретической деятельности.

Этот очевидный факт всегда вызывал неудовлетворенность, поскольку результаты этих двух типов деятельности трактовались как существенно различные типы знания — эмпирическое и теоретическое. Скажем с самого начала, а затем попытаемся обосновать это несколько подробнее, что многовековые споры о соотношении эмпирического и теоретического знания могут быть разрешены осознанием того, что само это различие искусственно и может быть интерпретировано как следствие необоснованного отождествления типа деятельности с ее результатом.

Конечно, тот или иной ученый может ставить перед научным исследованием различные цели. Экспериментатор может поставить цель — возможно точнее повторить уже проделанный кем-то опыт или провести совершенно новый эксперимент с целью измерить теоретически предсказанный эффект. Теоретик может иметь цель — вывести из уравнений теории экспериментально проверяемые следствия и т. п. Однако, говоря о знании как о цели научной деятельности, мы имеем в виду не эти или подобные частные цели, но общую идеальную цель, в известном смысле независимую от тех частных задач, которые ставит перед собою тот или иной исследователь. Какие бы частные стремления не руководили каждым из нас, какие бы формы не принимала наша работа в науке, мы вместе, порою непреднамеренно, участвуем в формировании и развитии научного знания как чего-то независимого от нас и в своих развитых формах внутренне цельного. Научное знание неделимо. Оно теоретично по существу. Но деятельность по получению знания, конечно, может быть различной, и в частности, это может быть деятельность экспериментатора, с одной стороны, и теоретика — с другой.

Эксперимент — важнейший метод современной науки. Изучение экспериментальных процедур, особенностей измерительных операций и построение на этой основе теории измерения представляют собой особую исследовательскую задачу, которая, по сути дела, является методологической, хотя и осуществляется, как правило, в рамках специального исследования. Для науки XX в. характерно, что достоверность результатов экспериментальной деятельности существенно зависит не только от качества экспериментальной установки, от совершенства самой аппаратуры, но и от специальной теоретической обработки полученных данных. Результаты эксперимента фиксируются в теоретиче-

ском языке науки, вписываются в содержание научного знания. В этом можно видеть одно из существенных проявлений методологичности современной науки. Проиллюстрируем сказанное известными фактами из истории квантовой физики.

Исходные идеи квантовой теории связаны с анализом измерительных процедур. Этот анализ является, по сути, методологическим. В самом деле, у истоков квантовой механики ставилась задача выяснить особенности процесса измерения в области микропроцессов, в мире атомов и элементарных частиц. Известное соотношение неопределенностей Гейзенберга ($\Delta p \Delta q \approx \hbar$) фиксирует, в частности, особенности измерительных процедур применительно к микрообъектам. Невозможно одновременно точно измерить и координату, и импульс частицы. Согласно Н. Бору, в данном случае можно говорить, что неопределенность положения частицы и неопределенность ее импульса находятся в дополнительном отношении. Если в классической физике можно было отвлечься от воздействия измерительных процедур на измеряемый объект, то в квантовой физике особенности этого воздействия, зафиксированные в соотношении неопределенностей, содержательным образом характеризуют объект. Результаты анализа методов измерения объекта оказываются принципом самой теории.

Обратимся к другому методологическому принципу — соответствию физических теорий. Принцип соответствия связывает новую, в частности, квантовую теорию, со старой, в данном случае с классической механикой. Уравнения квантовой механики, содержащие определенный характеристический параметр ($\hbar$), при устремлении этого параметра к нулю переходят в уравнения классической механики. Казалось бы, это чисто абстрактная процедура, устанавливающая связь теорий. Однако эта процедура содержательным образом сказывается в квантовой механике. Если на первоначальном этапе квантовой теории, развиваемой Н. Бором, принцип соответствия играл роль наводящего условия и считался формальным правилом, то в последовательно развитой квантовой механике он становится содержательно необходимым принципом. Согласно принципу соответствия, классическая механика является предельным случаем квантовой. Своеобразие ситуации в этом отношении заключается в том, что квантовая механика «нуждается в этом предельном случае для самого своего обоснования»¹.

Иной читатель, увидев ссылку на квантовую физику, быть может, скажет — но ведь это специальная теория и ее особенности — не доказательство методологичности всей современной науки. Верно, мог бы ответить я, — квантовая механика специальная теория. Но она стала классической теорией физики XX в. Наряду с ней можно сослаться и на другую великую теорию нашего столетия — теорию относительности. Известно, что исходное понятие этой теории — понятие одновременности — опирается на анализ экспериментальных процедур. «... Пользуясь некоторыми (мысленными) физическими экспериментами, — пишет А. Эйнштейн, — мы установили, что нужно понимать под синхронно идущими, находящимися в различных местах покоящимися часами, и благодаря этому, очевидно, достигли определения понятий «одновременность» и «время»². Таким образом, наряду с квантовой механикой и теория относительности демонстрирует методологичность своих оснований.

Всмотримся внимательно в другие науки, более того, в современную культуру вообще. Мы увидим, что исследование средств деятельности содержательным образом сказывается на результатах этой деятельности. В искусстве это явление получило название «обнажение приема». Писатель включает в содержание произведения описание путей его создания и тем самым достигает своеобразного художественного воздействия на читателя. То же и в кино. В некоторых современных фильмах сюжет строится как показ того, как делается фильм. Это включение деятельности по производству фильма в его содержание позволяет эмоционально и емко выразить то, что трудно было бы изобразить чисто классическим способом резкого отделения средств от содержания.

«Культура, — говорит А. Швейцер, — это совокупность прогресса человека и человечества во всех областях и направлениях при условии, что этот прогресс служит духовному совершенствованию индивида...»³ Не только Швейцер, но и многие другие мыслители XX в. обращались и обращаются к осмыслению культуры как социального феномена, анализируя ее истоки, структуру и исторический смысл, пы-

¹ Ландау Л. Д., Лифшиц Е. М. Квантовая механика. М., 1963, с. 16.

² Эйнштейн А. Собр. науч. трудов. Т. I. М., 1965, с. 10.

³ Швейцер А. Культура и этика. М., 1973, с. 103.

таясь найти закономерности ее изменения. Этот анализ культуры может означать ее углубленное самосознание, ее своеобразную методологичность. В этом анализе культуры, в целом характерном для современной философско-социологической мысли, можно видеть особенности ее современного существования. Эта особенность проистекает из тех внутренних процессов, которые характеризуют жизнь человечества в XX в. Методологичность культуры, стремление человеческой мысли к целостному охвату «всей совокупности прогресса», к изучению культуры в ее системности оказываются важнейшей предпосылкой преодоления ее внутренних проблем, сложнейших задач ее развития. Культура со стороны своего содержания может быть представлена как система различных сфер деятельности и знания, среди которых наука оказывается важнейшим элементом. Можно сказать, что методологичность науки находится во внутренней связи с методологичностью современной культуры. И, быть может, именно наука как определяющий элемент современной цивилизации оказывает решающее воздействие на особенности культуры в целом. Впрочем, в широкой исторической картине многообразных типов деятельности и знания скорее можно наблюдать системное взаимодействие целого и частей.

ТИПЫ ЗНАНИЯ И ПРОБЛЕМА ЕГО ЕДИНСТВА

Итак, научное знание методологично — оно предполагает не только познание объекта исследования, но и обращение к самому себе. Но каково же научное знание как феномен, что оно такое? Конечно, каждый ученый имеет ясное представление о том, что такое знание. Знание — это ведь та цель, тот результат, ради которого он трудится. И тем не менее, вопрос имеет смысл. Ситуация здесь аналогична, например, знанию о числах. Математик имеет дело с числами и, следовательно, знает, что такое число. Однако понятие числа может составить предмет особого анализа в области метаматематики. Подобным образом, хотя ученый, несомненно, знает свою область исследования, само понятие знания может составить предмет особого рассмотрения, а именно — методологического анализа.

Самая общая характеристика научного знания представлена в рамках философской методологии. Известно, что научное знание — это особая форма отражения

действительности. Такая характеристика знания — лишь краткая словесная формула, которая, конечно же, требует дальнейшего анализа и конкретизации. Познание осуществляется ученым в процессе определенной деятельности — экспериментальной или теоретической. Но человеческая деятельность всегда социальна. Индивидуальное творчество немыслимо вне достигнутого ранее знания, а для современной науки оно в особенности невозможно и вне взаимодействия с результатами труда современников. Итоги индивидуальной работы закрепляются не только в личной памяти, но и передаются другим, фиксируются, как известно, в научных журналах, учебниках, монографиях. Эти способы фиксации и хранения достигнутого знания существенны для его содержания и развития. Более того, можно сказать, что они являются формами его существования. В силу сказанного научное знание можно понимать в двух смыслах — знание индивидуальное и знание коллективное.

Когда мы говорим о научном знании, то при этом имеем в виду не только состояние субъекта, его «ум», его способность действовать определенным образом, но также и некоторый продукт коллективных усилий, зафиксированный в особом языке. Проведем аналогию — нас может интересовать архитектура здания, материал, из которого он построен и т. п., но при этом мы вправе для решения определенных задач отвлекаться от процесса работы архитектора и строителей этого здания. Хотя, конечно, без работы архитектора и строителей здание не могло бы и существовать. Пытаясь понять природу научного знания, осуществить методологический анализ, мы обращаемся к структуре знания, так сказать, к архитектуре науки. При этом мы можем отвлекаться от изучения индивидуального знания и личного творчества, без которых, разумеется, само это коллективное знание не могло бы быть построено. Но поскольку оно построено и его «этажи» продолжают расти и совершенствоваться, мы можем изучать принципы его построения и развития. И еще одна аналогия — можно изучать структуру языка, что и делается в лингвистике, отвлекаясь для решения определенных задач от языкотворчества, от исторического процесса формирования языка. Хотя, конечно, изучение этого процесса составляет существенный, но особый раздел науки о языке.

Сосредоточим наше внимание на

структуре коллективного знания, которое развивается по своим законам, отличным от законов индивидуального творчества. Будем помнить, что в таком методологическом анализе научного знания может возникать необходимость обращаться к проблемам личности ученого, его особенного вклада в науку и т. п. И все же, говоря о научном знании, будем прежде всего понимать под этими словами особым образом организованные и зафиксированные результаты коллективной деятельности ученых.

Научное знание представляет собой особый тип знания вообще. Я знаю, например, что каждое утро восходит солнце. Но это знание не является научным. Оно может стать научным, если я изучу систему Коперника и интерпретирую свое знание в понятиях этой системы. Естественно, что и деятельность по получению знания может принимать различные формы. В научной деятельности, как уже упоминалось, имеют место экспериментальная и теоретическая формы работы. Это дает основание разделять и само знание на два типа — эмпирическое и теоретическое. Возможно, что мышление экспериментатора и мышление теоретика могут быть существенно различными. Могут оказаться различными по своему характеру и соответствующие им знания. Однако, поскольку речь идет о коллективном знании, возникающем и развивающемся на основе общих, хотя и различных по своему характеру усилий, такое простое различие научного знания на эмпирическое и теоретическое становится уже проблематичным.

Несмотря на различные формы деятельности, ее общим результатом оказывается научное знание. Экспериментаторы и теоретики строят одну и ту же науку. В этой констатации нет ничего удивительного. Строя одно здание, человек сначала проектирует его, т. е. осуществляет, так сказать, теоретическую деятельность, а затем реально строит здание, т. е. осуществляет практическую деятельность. Совершенно различные по характеру работы ведут к единому результату. Не то ли в науке? Расчленение знания на эмпирическое и теоретическое представляется лишь как внешнее описание процесса построения науки. Ясно, что различные типы работы, различные пути должны вести к построению вполне определенного и в этом смысле единого знания.

В истории методологического анализа научного знания констатация единого характера знания предполагалась как исходная идея, хотя и не всегда явно фор-

мулировалась. Проблема заключалась лишь в том, чтобы найти и исследовать основание этого единства. Поскольку речь идет об изучении природы, опирающемся на опыт, то естественным первым шагом на пути поисков единства знания была мысль о принципиально эмпирическом характере естествознания, в отличие от других типов познания мира. Это нашло выражение, в частности, и в терминологии — физика, химия, биология квалифицировались как эмпирические науки, в отличие, скажем, от математики или логики. Методологическая задача заключалась в том, чтобы соответствующим образом истолковать теоретическую компоненту в этих науках, свести ее к эмпирической.

Различные школы эмпиризма в методологии науки настойчиво выдвигали программу «редукции» научного знания к эмпирическим данным, рассматривая научное знание как принципиально эмпирическое. Детальные разработки, в особенности логического позитивизма, в реализации этой редукционистской программы признаются в настоящее время неубедительными. Наиболее влиятельные методологические концепции не разделяют этой программы. Нельзя сказать, что это направление методологических исследований было неким бесплодным заблуждением. Нет, оно стремилось разрешить реальную проблему и опиралось в этой работе на анализ истории науки и изучение особенностей ее современного развития. На этом пути были получены значительные достижения в разработке логического аппарата. И тем не менее, сама программа сведения знания к эмпирии подвергается теперь коренному пересмотру.

В исторической перспективе усилия по реализации программы эмпиристской редукции были необходимыми звеном методологического исследования научного знания. Чем основательней эти усилия при отрицательном их результате, тем с большей убедительностью можно выдвинуть в известном смысле противоположную программу, а именно — необходимо исследовать научное знание в его теоретическом единстве. Тем самым формулируется направление методологического анализа, требующее, конечно, детальной разработки. Здесь можно лишь отметить некоторые особенности современной науки, которые указывают на возможность и необходимость такого рода усилий методологической мысли. Действительно, экс-

периментирование, его результаты неотделимы от теоретической мысли. В особенности это характерно для современного научного эксперимента с его высокой техничностью и «нагруженностью» теоретическими идеями. В свою очередь, развитие теоретического мышления в науках о природе связано с результатами экспериментирования. Эмпирический и теоретический типы деятельности, несомненно, различны по своему характеру и средствам работы. Но, различая эмпирическую и теоретическую деятельность, мы тем не менее можем увидеть, что результаты этих двух различных способов научной работы неделимы и теоретичны по своему существу. Экспериментатор — ведущая фигура современной науки именно потому, что это — ученый, совмещающий в себе два типа деятельности: эмпирическую и теоретическую. Он экспериментатор только потому, что наряду с глубоким пониманием теоретических проблем умеет еще и проектировать, создавать и использовать в научных целях экспериментальные установки. Чем выше теоретическая культура экспериментатора, тем, при прочих равных условиях, успешнее его специфическая деятельность, ведущая в конечном счете, при участии теоретика, к приобретению нового знания, единого по своему существу.

ТЕОРЕТИЗАЦИЯ ЗНАНИЯ

Научное знание становится единым в силу процесса теоретизации. Именно теоретичность знания и служит основанием его единства. Попытаемся кратко описать этот процесс, отметить его основные черты.

Работа в науке вплетена в многообразие человеческой жизни, и ученый может и фактически выражает результаты своей работы или своих размышлений в естественном языке. Он часто вынужден фиксировать факты и наблюдения, полученные в опыте, ненаучным способом. И это ни в какой мере не порицание, это констатация реальной ситуации в научном исследовании: В естественном языке концентрируется и закрепляется коллективный опыт, и в силу этого закрепления язык приобретает статус относительно независимой системы. Но существует возможность построения различных типов языков, отличных от естественного, и вместе с тем в своеобразной форме сохраняющих свойство системности и относительно независимого существования и развития. По-

скольку ученые-экспериментаторы и теоретики работают в одной и той же области исследования, создают одну и ту же науку, постольку они вынуждены искать или строить общий для них язык, который лучше, чем естественный, отвечал бы предметам изучения в данной области науки. К выработке нового языка их вынуждает то, что естественный язык оказывается недостаточным, а порою и просто неприменим для выражения открывающихся в научной деятельности проблем и для формулировки их решения. В процессе исторического творчества вырабатывается особый язык для описания глубинных слоев реальности, соответствующих предмету данной науки. Этот язык оказывается существенно отличным от естественного языка, хотя и вырастает из него и постоянно с ним связан.

Именно фиксированность знания в специализированном языке и составляет первейшую особенность процесса теоретизации знания. Существенным здесь оказывается специализированность языка. Процесс формирования особого языка науки есть вместе с тем процесс теоретизации. Естественный язык, на котором все мы говорим и посредством которого общаемся, служит также и средством фиксации знания вообще, во всех сферах деятельности, в том числе и научной. Но термины естественного языка должны приобрести особенный смысл, прежде чем стать терминами специализированного языка науки. Так, «поле» в современной физике — это не кусок плодородной земли, но особый вид материи; «спин» (англ. spin) — это не веретено, а особенное свойство элементарной частицы, и т. п. Аналогично с-варки обладают особым свойством — «очарованием» (англ. charm).

Формирование теоретичности научного знания связано, следовательно, с выработкой и поисками особого языка со своим значением и смыслом. Еще пифагорейцы заметили, что языком математики лучше всего можно выразить глубинные закономерности природы. Исследователи античной мысли усматривают в пифагорействе два направления: акусматика — строго следующие изречениям (лат. akusmata) основателя учения и математики — своего рода отступники, развивающие знание как теоретическое размышление о природе. «Так называемые пифагорейцы, — пишет Аристотель, — были первые, занимавшиеся науками (τα μα —

μηματᾶς)»⁴. Греческое слово «математика» в его первоначальном смысле означало науку, теоретическое знание вообще.

Спустя более двух тысячелетий Галилей выразит эту мысль следующим образом: «Книга природы написана на языке математики». И. Кант скажет еще более определенно: «В любом частном учении о природе можно найти науки в собственном смысле лишь столько, сколько имеется в ней математики»⁵. Как бы продолжая и подтверждая эту мысль, один из выдающихся современных физиков В. Гейзенберг пишет следующее: «Первичным языком, который вырабатывают в процессе научного усвоения фактов, является в теоретической физике обычно язык математики, а именно математическая схема, позволяющая физикам предсказывать результаты будущих экспериментов»⁶.

Но каковы же те основания, которые позволяют усматривать в математическом языке критерий научности и теоретичности знания? Можно было бы думать, что эти основания заключаются в строгости, свойственной языку математики. Однако критерий строгости исторически относителен. Как замечает известный математик XIX в. Ф. Клейн, в истории математики «требование строгости отступало на задний план, уступая стремлению к возможно большему и быстрейшему обогащению научного достояния»⁷. Да и сама по себе строгость не ведет однозначно ни к истинности, ни к теоретичности знания.

Выявляя основания теоретичности, корнящиеся в языке математики, необходимо обратить внимание прежде всего на абстрактный характер этого языка. Уже Аристотель заметил, что «ум, мысля математические предметы, мыслит их отделимыми от тела, хотя они и не отделены от него»⁸. Абстрактность математических понятий означает их отвлеченность от реальных свойств и отношений. Но вместе с тем эти понятия «существуют независимо от личности математика»⁹, хотя и зависят от человеческого познания в целом. Абстрактность понятий математики обеспе-

чивает общность их содержания, что, в свою очередь, позволяет наиболее четко формулировать законы природы. Математические абстракции открывают возможность конструирования идеальных объектов, которые составляют необходимые структурные элементы научного знания.

Возникая в процессе отвлечения от некоторых свойств реальности или в результате творческого конструирования, не имеющего непосредственного коррелята с реальностью, математические понятия могут быть выстроены в логически связанную систему. Отмеченные особенности математических понятий — абстрактности и возможность их логической систематизации — позволяют использовать математику для построения организованного знания не только внутри этой дисциплины, но и в науках о природе. Уже со времен Евклида каждый раздел математики стремится к логической организации в качестве системы знаний об определенном классе абстрактных объектов. Существенно заметить, что первая система физических знаний — механика Ньютона — сознательно строилась по образцу евклидовых «Начал». Это следование античному образцу открыло в истории наук о природе особый тип систематизации знания, развернувшийся в дальнейшем в процедуры формализации и аксиоматизации. На основе этого возникла концепция гипотетико-дедуктивного построения теоретического знания.

Но абстрактность математических понятий и свойственная им тенденция к логической организации сами по себе еще не обеспечивают успешности процесса теоретизации. Необходимо еще и третье условие, а именно рефлексивность или, лучше сказать, методологичность этого процесса. Методологичность современной науки, о которой говорилось в начале данной статьи, только подчеркивает эту существенную черту научного знания, с особой отчетливостью проявившейся в XX в. В той или иной форме обращение знания к самому себе, исследование собственных методов, является неотъемлемым признаком научного знания вообще, существенным условием теоретизации. Математика оказалась наиболее эффективным средством теоретизации знания в силу того, что она органически включила и включает в свои процедуры анализ собственных понятий и приемов оперирования с ними. Математика не только создает абстрактные понятия, но вычленяет и анализирует различные типы абстракций — абстракцию отождествления, абстракцию бесконеч-

⁴ Цит. по: Варден Ван дер. Пробуждающаяся наука. М., 1959, с. 395.

⁵ Кант И. Соч., т. 6, М., 1966, с. 58.

⁶ Гейзенберг В. Физика и философия. М., 1963, с. 140—141.

⁷ Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX в. М., 1937, с. 83.

⁸ Аристотель. Соч., т. I. М., 1976, с. 439.

⁹ Реньи А. Диалоги о математике. М., 1969, с. 34.

ности, абстракцию потенциальной осуществимости. Это вычленение и анализ представляют собой методологические процедуры, ибо в них математическое знание обращается к самому себе. Более того, известно, что работы по математической логике и основаниям математики являются методологическими исследованиями специального характера, развиваемыми внутри математики. Без этих исследований, берущих свое начало еще в античности, математика в качестве теоретической дисциплины не могла бы существовать и развиваться.

Итак, абстрактность и возможность систематизации — таковы первейшие особенности языка науки. Вместе с выработкой методологического мышления они способствуют теоретизации знания. Необходимо, однако, подчеркнуть, что не только математика, но и естественный язык являются условием теоретичности науки. В так называемых эмпирических науках, таких, например, как физика, химия или биология, естественный язык составляет необходимый компонент языка науки. Слова естественного языка могут, при соответствующем уточнении, служить и фактически служат терминами абстрактного теоретического языка. Известная смысловая неопределенность этих слов придает необходимую гибкость системе знания. Открытость, свойственная системе естественного языка, обеспечивает возможность систематизации изменяющихся, все возрастающих знаний.

Язык математики и естественный язык, можно сказать, находятся в дополнительном отношении. Математика позволяет более определенно выразить, отобрать именно те явления, которые входят в предмет данной науки. Это осуществляется, в частности, посредством математической формулировки принципов запрета, составляющих основание ограничения области исследования. Это ограничение — существенный признак теоретического знания вообще. Математика открывает возможность выразить эти принципы количественно. И вместе с тем она позволяет представить найденные в науке закономерности в их общности, применяя язык преобразований. Тем самым математика способствует организации знания. Естественный язык в дополнении к этой тенденции открывает возможность выразить нарушение запретов и тем самым ввести в науку новые данные из неисчислимого поля человеческих представлений и не-

престанно пополняющегося человеческого опыта.

Результаты эмпирической деятельности в так называемых эмпирических науках входят в содержание знания посредством теоретического языка науки, термины которого могут иметь не только математическую природу, но и быть уточненными терминами естественного языка. Такой двойственный состав научного языка дает порою повод к тому, чтобы относить эмпирическое в науке к знанию, выраженному естественным языком, а теоретическое — к знанию, выраженному языком математики. Однако такое деление было бы грубым упрощением.

В истории методологической мысли известны многочисленные попытки найти убедительные основания для деления научного знания на два существенно различных типа. Р. Карнап, например, ввел различие между языком наблюдения и теоретическим языком. То, что непосредственно эмпирически наблюдаемо, выражается в языке наблюдения — показание стрелки прибора, трек на фотопластинке и т. п. То, что непосредственно ненаблюдаемо — элементарная частица, поле и т. д., выражается в теоретическом языке. Однако детальный анализ этой проблемы в многочисленных методологических исследованиях, в том числе и в работах Карнапа, выявил непрерывный характер перехода между так называемыми наблюдаемыми и ненаблюдаемыми объектами. Имея в виду проблему поисков границы между эмпирическим и теоретическим в науке, Карнап пишет, что в «этом континууме нельзя провести никакой резкой разграничительной линии»¹⁰. Но это и означает, что упомянутые исследования показали нечто противоположное своим первоначальным посылкам и целям. А именно, язык науки при всей разнородности его состава един, но теоретичен по своему существу. Эта теоретичность принимает разные формы в комплексном языке науки, в котором язык математики составляет лишь одну, хотя, быть может, и существенную часть.

В деятельности ученого встречаются факты и наблюдения, которые не укладываются в известные теоретические предположения. Можно сказать, что в своей научной деятельности ученый часто сталкивается с данными, которые не вписыва-

¹⁰ Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971, с. 302.

ются в существующую систему знания, являются ненаучными. Его задача — возвести их в ранг научных данных, иначе говоря, включить их в сферу теоретического знания. Экспериментатор стремится зафиксировать результаты своей работы в теоретическом языке. Теоретик стремится развивать существующую систему знания, учитывая результаты работы экспериментатора. Размышляя над особенностями этого стремления и обращаясь к структуре науки, мы приходим к выводу, что область теоретического в науке полиморфна. Теория — лишь одна из форм теоретичности. Теоретическое знание — это нечто большее, чем просто данная теоретическая система или даже совокупность теорий. Нет необходимости сводить процесс теоретизации к прямой линии логической организации знания или даже строить лишь ветвящееся дерево различных теорий. Всматриваясь в современное научное знание, мы можем видеть скорее обширное поле теоретического, с его разнородными областями. Можно заметить по крайней мере три такие области теоретического знания в науке — это область гипотез, область моделей и аналогий и, наконец, область логически организованных теорий.

Современная физика элементарных частиц выглядит, например, как постоянно изменяющаяся картина разнобразных, в том числе и математических моделей. Для новейших исследований в области биологии характерны также поиски специфических моделей, в том числе и таких, где существенно применение ЭВМ. Объект исследования в этих областях теоретического знания предстает как инвариант преобразований множества модельных представлений, каждое из которых вносит свой вклад в общую картину теоретического знания. Эта полиморфность современного теоретического знания распространяется не только на многообразие моделей и гипотез, но и на многообразие теоретических систем. Известно, например, что существует несколько десятков вариантов современных теорий гравитации. Среди них ставшая уже классической релятивистская теория гравитации. Далее, обширный класс теорий, использующих понятие псевдоевклидова пространства, класс скалярно-тензорных теорий и множество других. Аналогичная ситуация множественности теорий констатируется и в физике элементарных частиц. Внутри теоретической физики этот факт множественности теорий относительно одного и того

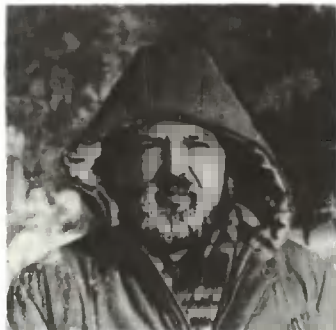
же объекта исследования вызвал к жизни проблему построения своеобразной теории, предметом которой является множество теорий, их критический анализ и объединение. Проблема эта, в сущности, является методологической, хотя и разрабатывается внутри специального знания.

Такая ситуация множественности теорий относительно одного и того же объекта исследования в классической науке считалась совершенно неудовлетворительной. В силу этого важнейшее значение приобрела методологическая проблема выбора теорий. Предполагалось, да и сейчас еще предполагается, что среди множества теоретических систем только одна может претендовать на ранг научности, истинности. Опыт современной науки заставляет нас пересмотреть эту методологическую установку. Множество теорий — нормальное явление в научном развитии. Важнейшая методологическая проблема, выдвигаемая особенностями современного теоретического естествознания, — это не проблема выбора, а проблема синтеза теоретических систем, разрабатываемая как в рамках специальной науки, так и в области методологии научного знания.

Обширное поле теоретического знания с его различными областями — гипотезами, моделями, теориями — объединяется общими методологическими принципами. Методология служит генетическим и организующим началом теоретического знания. Наука развивается в системе культуры, существенным элементом которой выступают исторически изменяющиеся формы методологического мышления. Эти исторически определенные формы, их изменение и взаимодействие в составе современной методологии — предмет особого рассмотрения.

Кавказский тетерев — эндемик Кавказских гор

Р. Л. Потапов



Роельд Леонидович Потапов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Зоологического института АН СССР, орнитолог. Изучает систематику, распространение, биологию развития птиц (в частности отряд куриных), а также происхождение орнитофауны Центральной Азии. Автор статей в «Природе» (1968, № 6; 1971, № 5).

В последнее время настолько сократилась численность некоторых видов птиц, что появились серьезные опасения за их будущее. Один из них — кавказский тетерев (*Lygurus mlokosiewiczii*) — является эндемичным для самобытной фауны Кавказа.

В связи с постоянным ростом интенсивности пастбищного скотоводства и туризма, давление антропогенного фактора усилилось, и с каждым годом кавказский тетерев становится все более редким и малочисленным видом. В Кавказском, Тебердинском, Лагодехском заповедниках, а также в Иране, где он находится под строгой охраной, численность его близка к оптимальной и составляет 10—15 птиц на 100 га. В неохраямых местах численность кавказского тетерева снизилась в 6—10 раз, и в некоторых местах он уже исчез, поэтому численность популяции кавказского тетерева в упомянутых заповедниках явно недостаточна для сохранения вида в целом. Занесение этого вида в «Красную Книгу СССР» подразумевает принятие экстренных мер для его охраны.

Кавказский тетерев имеет черную окраску оперения, белые пятна («зеркала») — только на нижней поверхности крыла. Самки имеют рябую окраску с преобладанием коричневого цвета. Край-

ние же перья хвоста удлинены и загнуты не вбок, а скорее вниз, причем опахала такого пера расположены под углом, образуя своеобразный желоб. У молодых самцов кавказского тетерева первый осенний наряд серо-коричневый, с тонким поперечным рисунком, крайние перья хвоста удлинены, но не загнуты — возможно, что примерно так выглядела та древняя форма, которая дала когда-то начало роду тетеревов. От этого древнего предка кавказский тетерев унаследовал еще одну особенность, до сих пор не обратившую на себя внимание исследователей, строение «бровей», особых кожных образований над глазами, окрашенных в красный цвет и весной наливающимися у самца кровью. Эти «брови», столь характерные для лесных тетеревиных — тетерева-косача, глухарей, рябчиков и др., — устроены у кавказского тетерева совершенно иначе. Тип строения «бровей» кавказского тетерева такой же, как у белых куропаток и степных тетеревиных птиц Северной Америки, и вполне определенно указывает на то, что родоначальная форма тетерева происходит от этой группы тетеревиных, а не от лесных форм типа глухаря или рябчика.

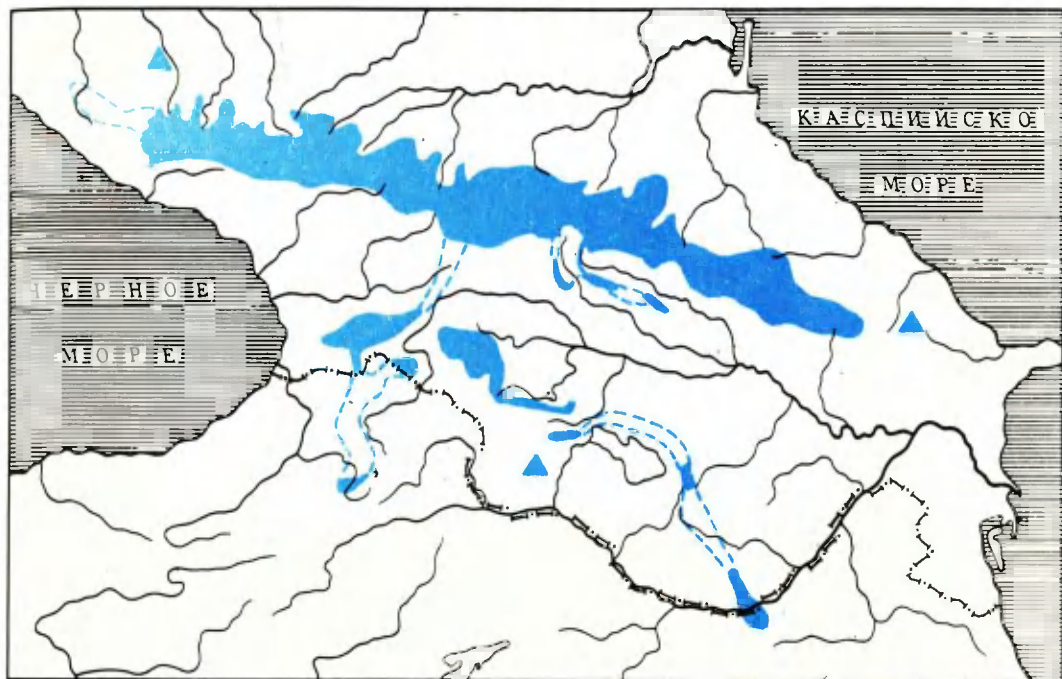
Кавказский тетерев заметно меньше косача. Вес взрослых самцов колеблется в

пределах 800—1000 г, самок — 650—750 г.

Распространение этого вида также указывает на его большую древность. Он населяет только горы Кавказа, и весь ареал почти целиком расположен в пределах СССР, лишь немного заходя на территории Турции и Ирана. Ареал этот — самый маленький из ареалов остальных тетеревиных птиц Евразии. Он охватывает Главный Кавказский хребет от горы Шесси до Добрар, но восточная граница ареала до сих пор точно не выяснена. Севернее Главного Кавказского хребта этот вид еще недавно

тетерев проникает к югу за Аракс, в пределы Ирана, где встречается только в небольшом пограничном горном массиве.

Кавказский тетерев — единственный высокогорный вид среди тетеревиных птиц Евразии. Он населяет только альпийский и субальпийский пояса начиная от 1500—1800 м над ур. м. (зимой иногда спускается ниже — до 1000 м над ур. м.). Вверх он поднимается до самой границы вечных снегов. Х. Т. Моламусов сообщает о находке гнезд этого вида на высотах в 3000 и 3500 м над ур. м., но все же ос-



Ареал кавказского тетерева (пунктир — не вполне выясненная граница ареала, треугольники — места, где кавказский тетерев исчез за последние 50 лет).

населял вершины Скалистого хребта, где в 30-е годы его находил Ю. В. Аверин¹. В горах Закавказья районы распространения его до сих пор известны плохо. Он встречается также в высокогорных районах Турции и Ирана. По южной оконечности Зангезурского хребта кавказский

новная масса птиц гнездится в более узких пределах субальпийского пояса, на высотах 2200—2600 м над ур. м.² По всей области распространения кавказский тетерев особенно тесно связан со сравнительно узкой полосой субальпийского пояса вдоль верхней границы леса из бука и березы (реже сосняка). Наиболее благоприятно для вида сочетание субальпийских и альпийских лугов с рощицами низкорослых берез, зарослями можжевельника и рододендрона. Крутизна склонов не имеет для этой горной птицы особого значения, но все же она оказывает предпочтение тем местам, где имеются сравнительно

¹ Аверин Ю. В. Кавказский тетерев. — «Труды Кавк. гос. запов.», 1938, вып. 1.

² Моламусов Х. Т. Птицы центральной части Северного Кавказа. Нальчик, 1967.



Самец кавказского тетерева.

Фото автора

плоские участки в верховьях долин — здесь на лугах в летнее время держатся самки с выводками.

Для этого тетерева характерен довольно скрытый образ жизни, и за исключением времени токования он редко попадает на глаза. Возможно, именно поэтому он был описан как новый вид только в 1875 г., хотя сведения о каких-то тетеревах в горах Кавказа появились еще в 1840 г. Новый вид тетерева был назван именем натуралиста Л. Ф. Млокошсевича, который послал добытые им экземпляры кавказского тетерева для описания зоологу В. К. Тачановскому. За сто с лишним лет, прошедших со времени описания вида, изучение его шло очень медленно, и до сего дня мы еще не имеем полных сведе-

ний о распространении и биологии кавказского тетерева. Это тем более тревожно, ибо вид исчезает буквально на глазах.

Кавказские тетерева живут небольшими группами, сбиваясь на холодное время года в небольшие стаи. Каждая микропопуляция, обитающая обычно в верховьях какой-нибудь речки, ежегодно группируется вокруг токовища (места, где весной токут самцы), которое становится как бы репродуктивным центром популяции. Сам процесс токования этого тетерева исключительно своеобразен и не имеет аналогов среди брачных игр остальных тетеревиных. С началом брачного сезона самцы ежедневно собираются на токовище, размеры и расположение которого могут быть самыми различными. Обычно оно устраивается на открытом, нередко довольно крутом травянистом склоне немного выше границы леса. Токовище у каждой микропопуляции отличается большим постоянством и не меняет своего расположения десятки лет.

Весеннее возбуждение у птиц стано-



Самка кавказского тетерева.

Фото автора

вится заметным с начала апреля, наиболее же азартно токование протекает с конца апреля и до середины мая. Самцы прилетают на токовище затемно, а некоторые там же и ночуют. С первыми признаками рассвета (а иногда и в полной темноте) начинается своеобразное токование. Каждый взрослый самец (старше одного года) имеет на токовище свой участок, который во время токования охраняется им от вторжения посторонних самцов. Наиболее сильные и активные самцы занимают ключевые участки в центре токовищ, участки остальных располагаются на периферии, а некоторые самцы вообще не имеют участков. Это в основном молодые самцы, легко узнаваемые по серой окраске оперения. Несмотря на

отсутствие своих индивидуальных участков, они тем не менее принимают участие в токовании, нередко выполняя весь брачный ритуал и даже вступая в драки со старыми птицами.

Основная особенность токования кавказского тетерева — почти полное отсутствие каких-либо звуков. Токование происходит в молчании, и единственные звуки — короткий свист или цирканье от взмахов крыльев взлетающих птиц, слышные на расстоянии до 100 м, и очень редко — особые хриплые звуки, издаваемые возбужденными самцами, которые Ю. В. Аверин сравнивал с криком коростеля. Столь же редко бывают слышны щелчки, издаваемые самцами во время особых прыжков. Эти щелчки, по наблюдениям О. А. Витовича, слышны иногда за 200 м и являются самым громким звуком, издаваемым самцами в пору брачных игр. Однако эти редкие звуки, как и свист от крыльев, отнюдь не нарушают общего впечатления полной тишины, царящей на токовище. Этот «немой ток» кавказского

тетерева резко отличается от тока всех остальных тетеревиных, имеющих групповое токование, и прежде всего от тока тетерева-косача, брачное пение которого слышно на расстоянии до 3 км.

Основная токовая поза тоже своеобразна — сложенный хвост слегка приподнят, ноги поджаты, крылья слегка приспущены, а грудь, как надутый черный шар, выпячена вперед. Из этой позы самец то и дело совершает токовой взлет — основную часть брачного ритуала. Приготовившись к взлету, птица с выпяченной вперед грудью ставит свое тело в вертикальную позицию, напоминая в этой позе голубя-дутьша, и затем взлетает вверх и вперед на высоту до полутора метров. При взлете самец делает 3—4 взмаха крыльями и в верхней точке полета обычно делает разворот на 90—180°, после чего приземляется. Приземлившись, тетерев замирает на несколько секунд как бы в оцепенении. По наблюдениям О. А. Витовича в Тебердинском заповеднике, некоторые самцы изредка выполняют особый прыжок — птица резко подпрыгивает вверх на высоту 60—80 см, делая один взмах крыльями и издавая громкий щелчок в верхней точке прыжка. Этот прыжок выполняется редко, и мне, например, за 75 часов, проведенных на токовище кавказского тетерева, ни разу не удалось его наблюдать.

Самцы начинают совершать токовые взлеты с первыми признаками рассвета. Обычно взлет одного самца провоцирует и остальных, которые также начинают совершать взлеты. Такую же реакцию вызывает прилет на токовище новых самцов, их перемещение по току и особенно появление самок. По наблюдениям О. А. Витовича, они идут на токовище пешком и при этом громко кричат. Крик их, протяжное «ке-ке-ке-ки-ки», слышен за 1 км. Самки бродят по токовищу поодиночке или попарно, выбирая себе партнера, но большей частью они ведут себя довольно индифферентно и избегают ухаживания самцов. Самок в популяциях кавказского тетерева вообще меньше, чем самцов, токовище они посещают не каждый день, обычно до восхода солнца или же во время вечернего тока после заката. Если учесть, что каждая самка спаривается только один раз, то легко понять, что увидеть на току спаривание можно только при длительных постоянных наблюдениях. Поскольку вплоть до настоящего времени таких наблюдений не проводилось, возникло даже предполо-

жение, что спаривание у этого вида происходит вне токовища.

Оживление самцов достигает максимума перед восходом солнца. Самцы то и дело взлетают вверх, временами выполняя целые серии взлетов. Нередко между соседними самцами возникают стычки, а иногда и настоящие драки. В воздухе все время слышен прерывистый свист взмахов крыльев взлетающих самцов, напоминающих в сумерках прыгающие черные мячики. С восходом солнца активность токования быстро угасает и к 9 часам утра обычно заканчивается.

В первой декаде мая, еще в разгар токования, самки приступают к устройству гнезда и откладке яиц. Гнездо помещается обычно на крутом склоне южной экспозиции и располагается таким образом, что бывает целиком скрыто сверху куртиной нависающей травы. Гнездо — небольшая ямка в земле — скудно выстилается сухой травой. Кладка состоит из 5—10 яиц, размером несколько мельче куриных и окрашенных в желтовато-серые тона с большим количеством точек и крапин бледно-коричневого цвета. Самка насиживает около 23 дней, причем сидит она на гнезде настолько крепко, что не взлетает, даже если человек проходит совсем рядом.

Вylупившиеся птенцы первые часы проводят в гнезде, быстро обсыхают и затем навсегда покидают его, уводимые тетеркой в густые заросли луговых трав. С первого же дня птенцы начинают склевывать с земли и травы мелких насекомых, часто делая «холостые» клевки. Главную роль в их питании в это время играет желточный шар, который заполняет значительную часть брюшной полости птенца и рассасывается только через несколько дней. На первых порах насекомые играют основную роль в питании птенцов, но уже к месячному возрасту главным становится растительный корм. В конце лета подросшие тетереята вместе со взрослыми птицами переходят на ягодный корм. Брусника, черника, водяника, кизильник — главная пища птиц вплоть до поздней осени, когда температура воздуха становится отрицательной и устанавливается снежный покров.

Зимнее время — наименее изученный период в жизни кавказских тетеревов. Обильный снег, выпадающий в местах обитания этих птиц, и частые снежные лавины сильно затрудняют изучение зимней экологии вида. Все холодное время года, с ноября и до начала апреля, тетерева концентрируются вдоль верхней границы

леса, где кормятся в основном хвоей можжевельника, сережками, почками и концевыми побегами березы и ивы.

Зимние ночи тетерева проводят в специально вырываемых птицами подснежных норах — «лунках», как и остальные тетеревиные птицы, только подробного описания этих ночевок и самих лунок еще не сделано. Не исключено, что в особенно морозные дни кавказские тетерева, как и косачи, могут проводить под снегом большую часть суток, затрачивая на кормежку только 1—2 часа.

Кавказский тетерев хорошо приспособлен к обитанию в условиях высокогорья, среди крутых склонов и глубоких долин. Особенное внимание привлекает своеобразный полет этой птицы, причем характер полета заметно разнится у самцов и самок. Полет самца прежде всего отличается специфическим звучанием, производимым крыльями. Летящий самец чередует в правильной последовательности активную и планирующую фазы, причем на последнюю приходится большая часть полетного времени (около 70%). При планировании слышен тонкий громкий свист, издаваемый расправленными крыльями. При взмахах этот свист прерывается и тогда вместо него слышны отрывистые свистящие звуки, почти такие же, какие производят машущие крылья во время токового взлета.

Когда самцы кавказского тетерева перемещаются со склонов вниз, в долину, они почти целиком переходят на планирующий полет, снижаясь по эллипсоидной спирали, переходя в пикирование на поворотах и затем делая спуск более пологим на подходе к следующему выражу. Повороты выполняются резко, так что при этом видна белая поверхность нижней стороны крыльев. Полет самок менее специфичен, планирующая фаза в нем почти не выражена и никакого специального звукового эффекта не слышно. Это дает хорошую возможность легко отличать на слух летящего самца от самки, что особенно существенно в густых сумерках.

Там, где их не пугают, тетерева мало боятся человека. Самки, например, могут подпустить медленно приближающегося наблюдателя на 10 м. Самцы также могут подпускать человека довольно близко, особенно в туманную и дождливую погоду.

Для правильного прогнозирования состояния численности того или иного вида нужно хорошо знать не только условия, необходимые данному виду для нор-

мального существования, но и нормальную структуру его популяций, т. е. соотношение в них самцов и самок, старых и молодых птиц. В этом отношении кавказский тетерев изучен совершенно недостаточно. Если на весенних токовищах довольно легко подсчитать процентное соотношение молодых и старых самцов, а также их общее количество, то общее число самок, а тем более процентное соотношение старых и молодых птиц определить крайне трудно. Мы не располагаем даже данными о соотношении самцов и самок в отдельных выводках. Процентное соотношение старых и молодых птиц в популяции может сильно меняться из года в год, в зависимости от степени успеха размножения, изменения смертности взрослых птиц и т. д. Процентное же соотношение полов — величина значительно более постоянная. Так, процент молодых самцов тебердинской популяции кавказского тетерева колеблется от 14 до 30%. Общее количество самок в той же популяции, по данным В. И. Ткаченко³, составляет всего 25%. Эти данные говорят об ограниченных возможностях воспроизводства популяций этого вида, что, в свою очередь, требует особо действенных мер по его сохранению. Особенно тревожит наблюдающаяся у кавказского тетерева большая гибель птенцов. По данным того же В. И. Ткаченко, до осени доживает только 40% вылупившихся цыплят. Одна из наиболее серьезных причин высокой смертности молодых птиц — деятельность человека, которая проявляется как в беспокойстве птиц (интенсивный выпас скота, туризм), так и в прямом уничтожении птиц и их гнезд браконьерами и пастушьими собаками.

Для охраны кавказского тетерева настоятельно требуется создание цепи заказников по всему протяжению основных хребтов Кавказа, и прежде всего Главного Кавказского хребта. Необходимость в таких заказниках тем более очевидна, что последние будут играть важную роль в охране всего природного комплекса кавказского высокогорья, где есть немало редких, исчезающих и уникальных представителей как фауны, так и флоры.

³ Ткаченко В. И. Экология куриных птиц высокогорной области северо-западного Кавказа. — Труды Тебердинского гос. зап. охр., 1966, вып. 6.

Космические исследования

«Вертикаль-6»

25 октября 1977 г. в 15 ч 15 мин по московскому времени с территории Европейской части СССР в средних широтах произведен запуск геофизической ракеты «Вертикаль-6» на высоту 1500 км. В подготовке эксперимента принимали участие специалисты Народной Республики Болгарии, Венгерской Народной Республики, Советского Союза и Чехословацкой Социалистической Республики.

Цель запуска — комплексные исследования параметров верхней атмосферы и ионосферы Земли, а также взаимодействия коротковолнового излучения Солнца с атмосферой Земли. В отделившемся на высоте 173 км стабилизированном приборном контейнере установлена научная аппаратура, изготовленная в Болгарии, Венгрии, Советском Союзе и Чехословакии.

Для измерения концентрации заряженных частиц и температуры электронов вдоль траектории полета «Вертикали-6» болгарские специалисты изготовили блок электроники, работающий совместно с советскими датчиками — цилиндрическим зондом Лэнгмюра и сферической ионной ловушкой.

Второй прибор, разработанный в НРБ, — оптический фотометр, предназначен для измерения радиации в «красной» области спектра (~6300 Å). Эта линия связана с рекомбинационными процессами в ионосфере, которые трудно проконтролировать с помощью радиофизических и зондовых методов. Эксперимент позволит получить информацию о взаимодействии электронов с нейтральными частицами и ионами на высотах от 150 до 700 км.

Венгерские специалисты разработали блок электроники для советского анализатора фотоэлектронов. Прибор предназначен для регистрации солнечного излучения в диапазоне от ближнего ультрафиолета до мягкого рентгена (600—1300 Å) и его поглощения в земной атмосфере. По результатам измерений определяются параметры нейтральной атмосферы и скорость ионообразования, концентрации молекулярного и атомарного кислорода и атомарного азота.

Второй прибор, разработанный венгерскими и советскими специалистами, предназначен для регистрации потоков ионов. Он состоит из блока электроники и пяти ионных ловушек, которые установлены под разными углами, что позволяет измерить дрейф заряженных частиц в ионосфере. По соотношению сигналов, поступающих с ионных ловушек, определяются также концентрация и температура заряженных частиц.

Чехословацкие специалисты изготовили электронный блок прибора для измерения температуры электронов в ионосфере высокочастотным методом. Прибор работает с двумя советскими датчиками: один установлен перпендикулярно направлению движения ракеты, а другой — параллельно. Это позволяет измерять анизотропию распределения температур. Радио-частотный масс-спектрометр повышенной чувствительности, разработанный советскими и чехословацкими специалистами, предназначен для измерения нейтральной и ионной компоненты в верхней атмосфере. По результатам измерений определялся массовый состав ионов водорода, гелия, азота, кислорода, а также малых концентраций атомарного азота, окиси азота и др.

Советские специалисты проводили исследования ионо-

сферы с помощью радиоволн. Дисперсионный радиointерферометр, установленный на борту ракеты «Вертикаль-6», излучал сигналы на частотах 48 и 144 МГц; сигналы регистрировались затем наземными станциями. По изменению разности фаз определялась концентрация электронов в ионосферной плазме. Во время полета ракеты «Вертикаль-6» на Земле работала специальная станция измерения поглощения радиоволн. Одновременно в районе запуска геофизической ракеты проводились запуски метеорологических ракет М-100 и ММР-06-«Дарт». На борту ракет М-100 была размещена группа оптических фотометров, разработанных специалистами ГДР и СССР для измерения концентрации озона и аэрозолей на высотах 20—90 км.

На высотах до 30—35 км измерение концентрации озона осуществлялось на баллонах с помощью электрохимических зондов, разработанных в ГДР. Таким образом, в результате комплексных измерений на ракетах М-100 и баллонах определялось вертикальное распределение озона от поверхности Земли до высот порядка 80 км.

Л. А. Ведешин
Москва

Космические исследования

Спутник «НЕАО-1»

12 августа 1977 г. в 6 ч. 29 мин по гринвичскому времени с космодрома на м. Канаверал (США) произведен запуск спутника «НЕАО-1», предназначенного для исследований в области астрофизики высоких энергий. Ракета-носитель «Атлас-Кентавр» вывела спутник на орбиту с высотой в перигее 441 км, в апогее —

452 км, наклонением $22,8^\circ$ и периодом обращения 93,5 мин.

Спутник «НЕАО-1» массой около 3200 кг предназначен, в первую очередь, для поиска высокоэнергетических источников рентгеновского излучения при обзоре всей небесной сферы; его приборы позволяют регистрировать потоки излучения с малой интенсивностью, составляющей до 10^{-6} от уровня самого интенсивного из известных рентгеновских источников — объекта X-1 в созвездии Скорпиона. Кроме того, спутник будет использован для регистрации источников гамма-излучения и космических лучей галактического происхождения.

На борту спутника «НЕАО-1» установлены четыре прибора:

прибор для картографирования небесной сферы в рентгеновских лучах (рабочий диапазон 0,1—20 кэВ); используется семь блоков пропорциональных счетчиков, каждый с чувствительной поверхностью $0,47 \text{ м}^2$; определяется амплитуда импульса, его спектральные характеристики и полный поток энергии (Научно-исследовательская лаборатория ВМС США);

прибор для определения размеров и точного (до $10''$) положения источников рентгеновского излучения в диапазоне 0,15—3,0; 1,5—15; 3—60 кэВ (Космический центр им. Годдарда (НАСА) и Калифорнийский технологический институт);

прибор для определения вклада отдельных источников рентгеновского излучения в общий фон; используется два точных ($5\text{—}10''$) звездных датчика, позволяющих локализовать излучения, а также служащих для определения ориентации спутника (Смитсоновская астрофизическая обсерватория и Массачусетский технологический институт);

прибор для определения временных изменений характеристик рентгеновских источников с энергией до 500 кэВ и гамма-источников с энергией до 10 Мэв (Калифорнийский университет и Массачусетский технологический институт).

Первые три прибора используют пропорциональные

счетчики, наполненные различными смесями газов, четвертый прибор, предназначенный для регистрации излучения более высоких энергий, использует сцинтилляционные счетчики на кристаллах иодистого натрия и иодистого цезия.

После трех месяцев работы в режиме сканирования небесной сферы (вращение со скоростью 2 об/ч) спутник «НЕАО-1» может периодически прекращать вращение и функционировать в режиме наведения приборов на определенные объекты для их более детальных исследований.

Программа НЕАО в целом предусматривает проведение астрофизических исследований для получения новой информации об излучаемых небесными объектами рентгеновских, гамма- и космических лучах, для изучения, в частности, таких объектов и явлений, как черные дыры, пульсары, квазары, всплески гамма-излучения. Одна из основных задач этой программы — раскрытие механизмов генерации различными небесными объектами излучений высоких энергий.

Предусматриваются также запуски трех спутников — астрономических обсерваторий: спутник «НЕАО-B» планируется запустить в 1978 г. для более детального изучения спектральных характеристик и структуры источников рентгеновского излучения, а также для точного определения их положения (спутник снабжается телескопом с точной системой наведения). Спутник «НЕАО-C» планируется запустить в 1979 г. для измерения потоков гамма-излучения, регистрации спектральных характеристик этого излучения и грубого определения положения его источников, а также для изучения изотопного состава космических лучей.

«Sky and Telescope», 1977, v. 53, № 4, p. 252—253 (США); «Air et Cosmos», 1977, v. 14, № 667, p. 38—39 (Франция); «Spacewarn Bulletin», SPX-281, p. 7; SPX-286, p. 1 (КОСПАР).

Астрофизика

Оптический двойник рентгеновского источника Орел X-1

Орел X-1 (3U 1908+00) — яркий и сильно переменный рентгеновский источник. Его интенсивность в диапазоне 0,5—20 кэВ меняется примерно в 20 раз. В периоды активности, продолжающиеся несколько десятков дней, источник в этом диапазоне не уступает по интенсивности самому яркому объекту на рентгеновском небе — Крабовидной туманности.

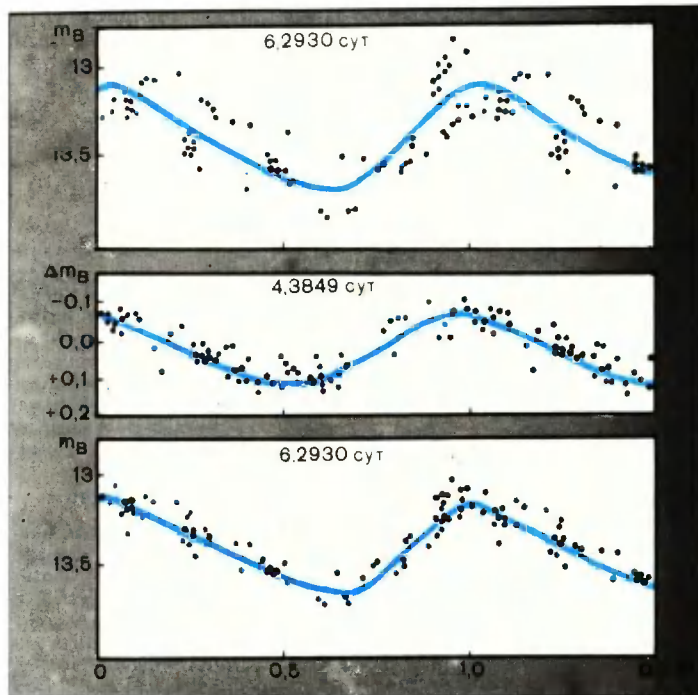
Дж. Торстенсен, П. А. Чарлз и С. Бауэр (Калифорнийский университет в Беркли, США) обнаружили на фотоснимках этой области неба, в $10''$ от центра вероятного расположения рентгеновского источника, очень слабую звезду 20-й звездной величины, у которой временами наблюдаются вспышки, при этом блеск ее увеличивается примерно на 3 звездные величины (в 15—20 раз). Вспышки звезды совпадают с периодами высокой активности источника Орел X-1 в рентгеновском диапазоне в июне 1975 г. и в июле 1976 г., что указывает на правильность отождествления, сделанного американскими исследователями.

«Circular of the International Astronomical Union», 1977, № 3088 (США).

Астрономия

Ключ к эволюции цефеид

Многолетние усилия шведских, советских, канадских и британских астрономов позволили окончательно установить природу переменной звезды V 367 Щита. Как оказалось, это крайне интересный представитель самого важного типа переменных звезд — цефеид, которые благодаря существующей у них зависимости между периодом изменения



Кривые блеска цефеиды V 367 Щита по фотоэлектрическим наблюдениям: сверху — средняя кривая блеска, построенная с периодом 6,2930 сут; в середине — отклонения от этой кривой, представленные периодом 4,3849 сут; внизу — кривая блеска с периодом 6,2930, положение точек которой исправлено в соответствии с отклонениями, вызванными вторым периодом. Видно, как уменьшилось рассеяние точек, обусловленное на верхнем рисунке неучтенным вторым периодом. По оси абсцисс — фаза (время, отсчитываемое в долях периода), по оси ординат — изменения блеска [в звездных величинах, в силе лучах].

блеска и светимостью служат базисом шкалы расстояний во Вселенной¹. V 367 Щита — одна из десятка цефеид, которые входят в рассеянные скопления и по которым калибруется зависимость период — светимость. Кроме того, она обладает сразу двумя периодами изменения блеска — фундаментальным периодом и периодом первого обертона. Таких цефеид известно сейчас 11, при-

чем у V 367 Щита эти периоды наибольшие. По отношению этих двух периодов можно найти пульсационную постоянную таких звезд $Q = P \sqrt{\rho}$, среднюю плотность ρ , а затем, зная светимость и температуру поверхности, — их массу. V 367 Щита — единственная двухпериодная цефеида, принадлежащая к скоплению. Это дает возможность определить ее светимость и эволюционную стадию, оставшуюся до последнего времени неясной для подобных цефеид. Принадлежность к скоплению позволяет также

сравнить различные способы оценки масс цефеид (прямых определений не существует, а теория эволюции звезд и теория пульсации дают несколько отличные значения масс). Все это делает V 367 Щита чрезвычайно важной цефеидой, и приятно отметить, что решающий шаг в ее исследовании сделан советскими астрономами.

История изучения этой звезды весьма интересна. Перемежность ее блеска была обнаружена шведскими астрономами К. Рослундом и В. Преторусом при измерении блеска звезд в рассеянном скоплении HGC 6649. Они предположили, что это цефеида с периодом в 5—6 сут, входящая в состав скопления. Со следующего года сотрудники Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга, и в том числе автор, начали фотографирование области NGC 6649 на 40-сантиметровом астрографе Крымской станции ГАИШа. Блеск новой переменной звезды, получившей вскоре обозначение V 367 Щита, оценил по нашей просьбе директор Одесской обсерватории В. П. Цесевич, используя пластинки, полученные начиная с 1909 г. на Симеизской обсерватории.

Все эти данные позволили в 1967 г. П. Н. Холопову и автору найти ее период — 6,2930 сут. Однако рассеяние точек на средней кривой изменения блеска оказалось аномально велико, кривая маялась от цикла к циклу, и мы предположили, что у звезды имеется второй период, но найти тогда его значение оказалось невозможным из-за недостаточного числа наблюдений.

Тем временем наши коллеги безуспешно пытались найти лишь один-единственный период, соответствовавший наблюдениям: в 1969 г. швейцарский астроном Г. Таммани предложил период в 5,118 сут, а в 1975 г. канадский астроном С. Ван ден Берг и его ученик Б. Мадор нашли период 5,2551, но оба они опровергались нашими фотографически-

¹ С помощью этой зависимости по легко определяемому из наблюдений периоду находят абсолютную светимость (блеск) звезды, которую она имела бы на расстоянии 10 пс; сопоставление абсолютной светимости с видимым блеском дает расстояние до звезды. Подробнее см.: Ефремов Ю. Н. Верстовые столбы Вселенной. — «Природа», 1966, № 8.

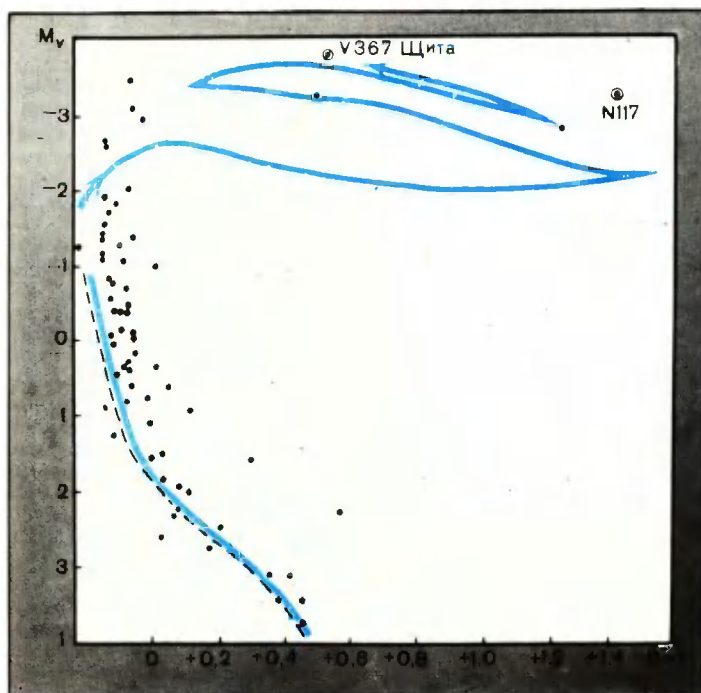


Диаграмма цвет—светимость для рассеянного скопления NGC 6649. Приведены главная последовательность (пунктир) и эволюционный трек для звезды с массой $5 M_{\odot}$. Положение V 367 Щита указывает, что она является потомком звезд главной последовательности с массой около $5-6 M_{\odot}$. Высокая светимость ярчайших звезд скопления свидетельствует о его молодости (вторая переменная звезда — N 117 — еще не изучена). По оси абсцисс — показатель цвета (B—V), по оси ординат — светимость M_v (в абсолютных звездных величинах, в желтых лучах).

ми наблюдениями. Данные канадских астрономов подтвердили принадлежность V 367 Щита к скоплению и вдвое увеличили число фотозлектрических наблюдений; фотографических же оценок блеска накопилось теперь уже 320. Вновь проведенные Н. П. Холоповым и автором расчеты подтвердили наши предыдущие выводы и показали, что единственным значением второго периода, хорошо отражающим

наблюдения, может быть лишь значение 4,3849 сут.

Мы заключили, что период 6,2930 является фундаментальным, а период 4,3849 соответствует первому обороту. Отношение этих периодов составляет 0,696, что очень близко к наблюдающемуся у других двухпериодных цефеид. В сентябре 1977 г. наши результаты были полностью подтверждены Б. Мадором, Р. Стоби и С. Ван ден Бергом.

Теперь на эту звезду обращены взоры крупнейших специалистов по теории пульсации звезд. Дело в том, что из отношения двух ее периодов следует, что масса V 367 Щита около $2 M_{\odot}$, а теория звездной эволюции предсказывает для таких периодов массу около $6 M_{\odot}$. Диаграмма цвет—светимость скопления NGC 6649 показывает, что скопление молодо, а положение на этой диаграмме V 367 Щита говорит о том, что эта цефеида — потомок массивной звезды главной последовательности. Это означает, что V 367 Щита и, следовательно, двухпериодные цефеиды вообще представляют собой разновидность

классических цефеид звездного населения I-типа, т. е. это молодые звезды большой массы. Таким образом, ошибку, очевидно, следует искать в теории пульсации. Стоби предполагает, что скорее всего она связана с недостаточным знанием структуры внешних слоев цефеид.

До сих пор неясно, почему у некоторых цефеид наблюдаются два периода пульсации. Постоянство амплитуд V 367 Щита за интервал порядка 50 лет показывает, что в данном случае нельзя говорить о том, что эти звезды находятся в процессе перехода от одного типа пульсаций к другому.

Автор давно заподозрил, что переходный период от пульсаций в первом обороте к пульсациям с фундаментальным периодом составляет 2—3 дня (а не 7 дней, как следует из теории). Вероятно, не случайно, что именно в этом интервале периодов (и масс) доля двухпериодных цефеид максимальна и составляет 40%. V 367 Щита поможет решить и этот вопрос.

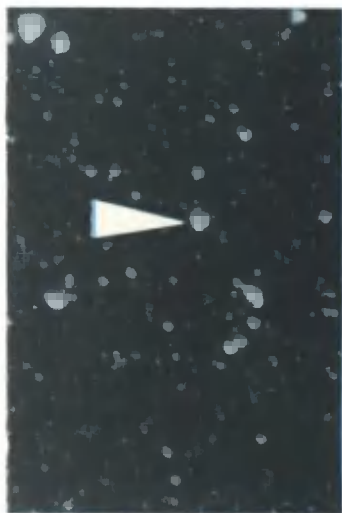
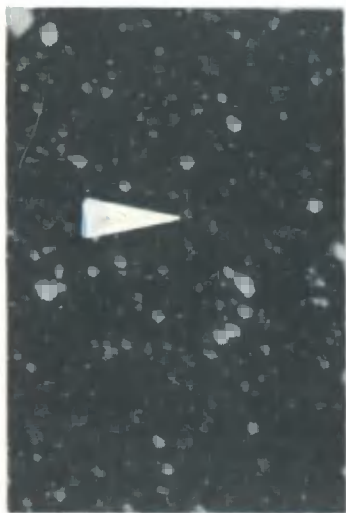
Ю. Н. Ефремов

Кандидат физико-математических наук
Москва

Астрономия

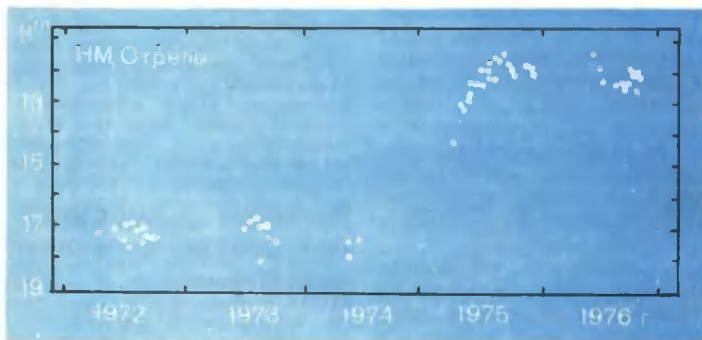
Вспышка эмиссионной звезды в созвездии Стрелы

На спектральных снимках неба, полученных на горной обсерватории Пишкестето (Венгрия) по программе исследований планетарных туманностей, совместно осуществляемой Государственным астрономическим институтом им. П. К. Штернберга и Будапештским университетом, О. Д. Докучаева обнаружила в созвездии Стрелы новый яркий эмиссионный объект 11-й звездной величины. На фотографиях Паломарского атласа неба на его месте найдена слабая (17-й звездной величины) очень красная звезда.



Фотографии НМ Стрелы из коллекции ГАИШа: слева — снимок, полученный в сентябре 1973 г., за два года до вспышки [переменная звезда расположена в 12" к северу от звезды 14-й величины]; справа — снимок, полученный в сентябре 1975 г., когда НМ Стрелы находилась в максимуме блеска.

График кривой блеска НМ Стрелы, построенный О. Д. Докучаевой по негативам из коллекции ГАИШа. По оси абсцисс — время наблюдений, по оси ординат — блеск в звездных величинах.



Большая коллекция негативов этой области неба, полученных на 40-сантиметровом телескопе-астрографе Крымской станции ГАИШа в 1960—1977 гг., помогла восстановить историю этой интересной звезды.

Оказалось, что до весны 1975 г. звезда была очень слабой и показывала лишь небольшие флуктуации блеска. В течение весны и лета 1975 г. наблюдалась вспышка звезды, во время которой ее блеск возрос в несколько сот раз.

С осени 1975 г. звезда остается яркой, и ее блеск колеблется около 12-й величины. Новая переменная звезда получила обозначение НМ Стрелы.

В мае 1977 г. П. Фелдман (Институт астрофизики им. Г. Герцберга, Канада) на 46-метровом радиотелескопе обсерватории Алгонквин обнаружил радиоизлучение от НМ Стрелы на частоте 10,5 ГГц.

Детальное исследование спектра звезды было проведено О. Д. Докучаевой,

В. П. Архиповой и В. Ф. Есиповым (ГАИШ), а также Р. Стовером и С. Сивертсеном (Техасский университет), К. Дэвидсоном, Р. Хэмфри и М. Мерриллом (Университет штата Миннесота) и др. В спектре хорошо видны многочисленные линии излучения водорода, гелия, кислорода, серы, азота, аргона и других элементов в различных состояниях ионизации. Спектр сильно напоминает спектр планетарной туманности, однако интенсивные линии ионизованного железа, наблюдающиеся у НМ Стрелы, в спектрах туманностей отсутствуют. В результате исследования выяснилось, что непрерывный спектр в видимой области принадлежит горячей звезде с температурой не менее 30 000°. В инфракрасной области НМ Стрелы является мощным источником излучения, которое соответствует температуре около 950 К. Природа этого инфракрасного излучения пока остается неясной: оно может принадлежать либо пылевой оболочке, либо очень красной звезде — спутнику горячего компонента. Эмиссионные линии образуются в обширной газовой оболочке, ионизуемой ультрафиолетовым излучением горячей звезды.

Науке известны еще два подобных редких случая сильных вспышек эмиссионных звезд: V 1016 и V 1329 Лебедя. Многие специалисты склоняются к мысли, что все три объекта — это планетарные туманности на самых ранних стадиях своего формирования. По мнению большинства исследователей, пылевые оболочки могут присутствовать у наиболее молодых планетарных туманностей. Одновременно дискутируется гипотеза двойной звезды, окруженной газовой оболочкой (так называемой симбиотической звездой).

По материалам: «Астрономический циркуляр», 1976, № 929, 930; 1977, № 946, «Circular of the International Astronomical Union», 1977, № 3081, 3083, «Astrophysical Journal», 1977, v. 214, L. 33 (США).

Планетология

Истинный облик марсианской Эллады

С помощью орбитального отсека космического аппарата «Викинг-1» получены фотографии поверхности равнины Эллады (Hellas) — крупной круговой впадины диаметром 2000 км, расположенной в Южном полушарии Марса. На снимках, сделанных в предыдущие годы с помощью

Мозаика телефотоснимков района равнины Эллады. Стрелка показывает направление солнечных лучей. В правом верхнем углу — снимок того же района, полученный ранним утром; сверкающий иней скрывает детали поверхности.

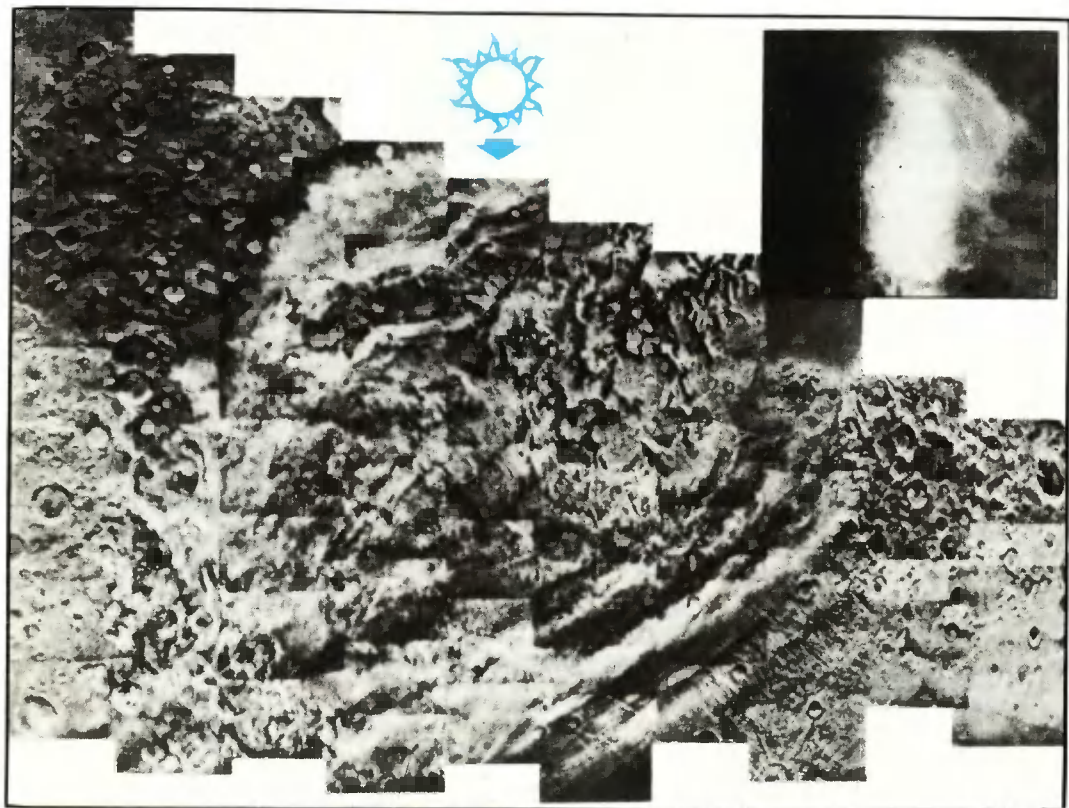
станций «Маринер-7 и -9», на этой равнине не было обнаружено каких-либо деталей рельефа, что считалось результатом накопления во впадине мощного слоя песчано-пылевого материала, скрывавшего детали поверхности.

Сейчас на днище впадины Эллада обнаружены кратеры различного диаметра и четкости, пологие извилистые гряды, напоминающие лунные морские гряды, а также участки сильно расчлененного рельефа, похожие на хаотическую местность в районе марсианского большого Каньона. Эти участки, на которых расположены гряды с крутыми склонами, находятся в восточной части Эллады — там, где в нее «впадают» две довольно крупные долины, имеющие, вероятно, водно-эрозионное происхождение. На южном склоне впадины видны веерообразные системы борозд и гряд, указывающие на

то, что здесь во впадину стекала лава или вода, причем направление потоков изменялось.

По мнению специалистов, отсутствие деталей рельефа на снимках Эллады, полученных с помощью станций «Маринер-7 и -9» объясняется тем, что в период их работы в атмосфере над впадиной находилась пыль (или туман), скрывавшая от телекамер поверхность впадины. Известно, что после крупной пылевой бури 1971 г., совпавшей с началом работы на околомарсианской орбите станции «Маринер-9», пыль дольше всего оседала в пониженных участках — внутри крупных кратеров, каньонов, долин. Во впадине Эллада, глубина которой 4—5 км, пыль, видимо, так и не успела осесть за время работы «Маринера-9».

«Science News», 1977, v. 111, № 3, p. 36 (США).



Астрономия

Новые астероиды группы Аполлона

В немногочисленную группу малых планет, называемую группой Аполлона, входят астероиды, движущиеся по вытянутым орбитам, перигелий которых расположен внутри орбиты Земли. Эти астероиды замечательны тем, что они ближе других подходят к Солнцу и временами сближаются с Землей, пересекая ее орбиту. Первый из таких астероидов был обнаружен в 1932 г. К 1975 г. их число достигло 19. Самым же «урожайным» годом оказался 1976-й, когда было открыто еще 4 астероида этой группы.

Один из них — 1976 WA — был обнаружен 19 ноября 1976 г. астрономом Г. Шустером (ФРГ) на фотографиях, полученных на метровом телескопе системы Шмидта Южной европейской обсерватории. Вычисления, выполненные Б. Марсденом в Гарвардско-Смитсоновском астрофизическом центре (Массачусетс, США), показывают, что это небесное тело приближается к Солнцу на 122,7 млн км; наиболее удаленная точка его орбиты лежит за пределами орбиты Марса. Новый астероид совершает один оборот вокруг Солнца за 2,67 земных года, наклонение его орбиты к плоскости эклиптики составляет 23°. В 1976 г. астероид прошел незамеченным в 24 млн км от Земли и был открыт уже на расстоянии 84 млн км.

Еще один астероид этой группы, известный как быстро движущийся объект 1977 NA, был открыт студентом Калифорнийского технологического института (Пасадена, США) С. Басом. Он обнаружил его на фотографиях, полученных Э. Хелин (тот же институт) на 45-сантиметровом телескопе системы Шмидта Паломарской обсерватории. Вычисления показывают, что 1 апреля 1977 г. этот астероид прошел всего лишь в 4,8 млн км от Земли. Его орбита вытянута от пояса

астероидов почти до орбиты Венеры.

На сегодня число астероидов группы Аполлона достигает 24, если не считать одного-двух случаев, требующих подтверждения.

«Science News», 1976, v. 110, № 24, p. 375; 1977, v. 111, № 21, p. 325 (США).

Физика

Исчезающая сверхпроводимость

Группа американских физиков из Калифорнийского университета во главе с Б. Т. Маттиасом впервые синтезировала сложное соединение эрбия, родия и бора — ErRh_4B_4 — и исследовала его низкотемпературные свойства: электросопротивление, магнитную восприимчивость и теплоемкость. Оказалось, что это соединение ведет себя необычно. После охлаждения образца до температуры 8,7 К его электросопротивление падает до нуля, т. е. наступает сверхпроводимость. Но когда температура доходит до 0,9 К, сопротивление появляется снова.

Первооткрывателю сверхпроводимости Г. Камерлинг-Оннесу сохранение сверхпроводимости своего нулевого сопротивления вплоть до температуры абсолютного нуля вовсе не представлялось очевидным, и он провел некоторые исследования в этом направлении. Результаты свидетельствовали, что возврата в нормальное (т. е. несверхпроводящее) состояние не происходит, хотя в связи с недоступностью абсолютного нуля температуры полную определенность в этот вопрос внести не удалось. В последующие десятилетия интерес к подобным исследованиям угас, и физики стали считать сохранение сверхпроводимости вплоть до абсолютного нуля чем-то само собой разумеющимся. То, что это не всегда так, впервые было продемонстрировано М. Б. Мэплом в 1972 г. на сплаве, содержащем

небольшое количество магнитного металла¹. Это явление было объяснено сложной температурной зависимостью электронного строения сплава с магнитными примесями, т. е. зависимостью, тесно связанной с так называемым эффектом Кондо (существованием при низких температурах минимума сопротивления).

Соединение ErRh_4B_4 , в котором обнаружена «исчезающая» сверхпроводимость, не относится к кондовским системам — магнитный элемент эрбий находится не в виде малой добавки, а входит в качестве одного из трех основных компонентов, и минимум на кривой температурной зависимости сопротивления отсутствует. Тем не менее качественно понять природу эффекта в данном случае значительно легче. Дело в том, что сверхпроводимость и магнитное упорядочение (т. е. ферромагнетизм или антиферромагнетизм), как известно, взаимно антагонистические явления, а атомы эрбия обладают ярко выраженными магнитными свойствами. При достаточно низких температурах (в данном случае, ниже 0,9 К) тепловое движение уже не в силах нарушить упорядоченное расположение системы магнитных моментов атомов эрбия, и это магнитное упорядочение «пересиливает» сверхпроводимость, разрушая ее основу — куперовские электронные пары.

Какое именно возникает упорядочение, ферромагнитное или антиферромагнитное, пока не известно, но что упорядочение имеет место, видно как по характерному пику в виде буквы λ на кривой температурной зависимости теплоемкости, так и из того, что возникающее при самых низких температурах сопротивление значительно меньше (почти в два раза), чем при температурах выше 8,7 К (упорядоченные магнитные моменты почти

¹ «Solid State Communications», 1972, v. 9, p. 1663.

не рассеивают электронов проводимости, и, следовательно, их вклад в сопротивление невелик). В магнитных полях выше 0,3 Т сверхпроводимость соединения полностью подавляется: в этом случае уже при температуре первого сверхпроводящего перехода 8,7 К ориентирующего действия внешнего магнитного поля достаточно для внесения порядка в систему магнитных моментов.

Американские исследователи синтезировали также и родственные ErRh_4B_4 соединения, отличающиеся лишь заменой эрбия на другие лантаноиды. Как и можно было предположить для менее магнитных элементов, эти соединения обнаруживают «чистую» (т. е. без возврата нормального состояния) сверхпроводимость, а у элементов с более ярко выраженными, чем у эрбия, магнитными свойствами, сверхпроводимость вообще отсутствует — GdRh_4B_4 и HoRh_4B_4 ферромагнитны.

«Physical Review Letters», 1977, v. 38, p. 987 (США); «New Scientist», 1977, v. 74, p. 778 (Великобритания).

Физика

Электропроводность выше, чем у серебра и меди

Известно, что самые лучшие проводники электрического тока — серебро и медь. Меньшее (нулевое) сопротивление имеют только сверхпроводники. Однако ни откуда не следует, что не может быть материалов с нормальной (т. е. не в сверхпроводящем состоянии) проводимостью, более высокой, чем у серебра и меди.

Первым такой материал получил Ф. Л. Фогель (Пенсильванский университет, США). Материал относится к классу так называемых интеркалированных соединений графита, т. е. соединений, в которых графитовые плоскости, состоящие из атомов углерода, чередуются с атомно-тонкими слоями других элементов. Рекордсменом

оказался графит, интеркалированный пентафторидом сурьмы (SbF_5). В силу своего характерного кристаллического строения как сам графит, так и его интеркалированные соединения сильно анизотропны, например, электропроводность вдоль слоев гораздо выше, чем в поперечном направлении.

Фогель синтезировал новый материал с помощью реакции между графитовым порошком и пентафторидом сурьмы. Реакция проводилась внутри медной трубки, которая затем вместе со своим содержимым была подвергнута волочению до диаметра 1 мм и отожжена. Для электропроводности вдоль слоев получено значение $1 \cdot 10^6 \text{ ом}^{-1}$, что в 40 раз больше, чем для поперечного направления, и примерно в 1,5 раза выше, чем у чистой меди. Были также получены образцы с еще более высокой проводимостью, выше, чем у серебра.

Однако думать о переводе электротехники с меди на интеркалированный графит рано. Во-первых, сама технология получения таких соединений довольно сложна, во-вторых, материал весьма неустойчив как по отношению к механическим, так и атмосферным воздействиям, и, в-третьих, само рекордное значение проводимости измерено не прямым путем: определялась полная проводимость медной трубки с «начинкой», затем был вычтен вклад трубки, введена поправка на несплошность соединения и на долю его кристаллитов, ориентированных в неблагоприятном направлении (т. е. с графитными плоскостями, расположенными поперек измеряющего тока).

«New Scientist», 1977, v. 74, № 1057, p. 707 (Великобритания).

Физика

«Прыгающие атомы»

В 1970 г. А. В. Грэве (Институт им. Э. Ферми, Чикаго, США) с помощью растрового электронного микроскопа

впервые сфотографировал отдельные атомы урана и тория, а в 1976 г., после усовершенствования аппаратуры, ему удалось заснять движение атомов урана, находившихся на поверхности графита.

Диаметр электронного пучка составлял 10^{-6} см. За время ~ 20 с удалось сделать более 100 отдельных снимков одного и того же участка поверхности графита.

В результате было установлено, что, по-видимому, атомы урана «прыгают» с места на место, причем не однозначно, а попарно.

В дальнейшем Грэве, улучшив разрешающую способность аппаратуры, надеется сделать видимыми атомы более легких элементов, например серебра, железа и меди. Подобного рода снимки были бы весьма важны при изучении химических реакций, роста кристаллов и др.

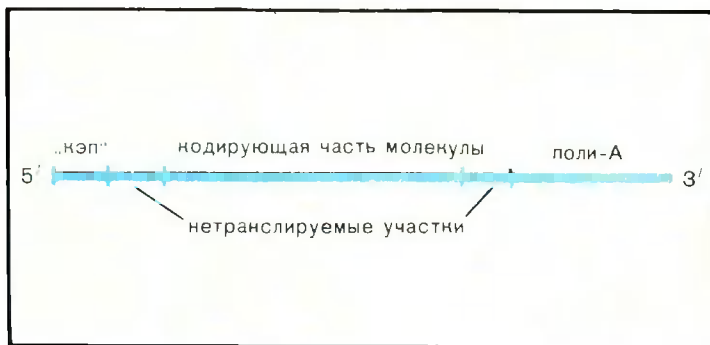
«Naturwissenschaftliche Rundschau», 1976, № 11, S. 406 (ФРГ).

Молекулярная биология

Роль полиаденилатности в молекулах иРНК

Как известно, иРНК переносит генетическую информацию от ДНК, расположенной в ядрах эукариотов, в цитоплазму. Здесь иРНК связывается с рибосомами, направляя синтез тех клеточных белков, которые закодированы в последовательности ее нуклеотидов.

Помимо кодирующей, или смысловой, части иРНК в ее составе имеются так называемые нетранслируемые участки. Например, на 5'-конце молекулы располагается «кэп» — несколько метилированных нуклеотидов, необычным образом расположенные фосфатные группировки и т. п. В «хвостовой» же части молекулы иРНК (на 3'-конце) имеется монотонная последовательность, состоящая только



Схематическое изображение молекулы иРНК эукариотов.

из адениловых остатков,— это полиаденилатная последовательность, или поли-А. Длина ее достигает сотни и более нуклеотидов. Поли-А обнаружена в иРНК, кодирующих глобин, иммуноглобулины, овальбумин, фибринон, шелка и множество других белков. Интересно, что эта последовательность нуклеотидов не синтезируется вместе со смысловой частью иРНК на матрице ДНК, а добавляется позднее, когда образование смысловой части иРНК закончено. Присоединение поли-А к иРНК происходит в ядре клетки до того, как иРНК транспортируется в цитоплазму.

Существование поли-А значительно облегчает выделение иРНК в лабораторных условиях. Если к нерастворимому в водных растворах носителю (например, целлюлозе или сефарозе), «пришить» поли-У или поли-дезоксиг-Т, к которым поли-А обладает высоким сродством, то из суммарной смеси разных РНК можно «выловить» те, которые имеют в своем составе поли-А последовательности достаточной длины.

Для чего нужна поли-А? Может быть, она необходима для проявления кодирующих свойств иРНК? Чтобы проверить это предположение, поли-А отщепили от глобиновой иРНК. Однако и после этого иРНК сохраняла способность стимулировать синтез белка глобина в бесклеточной системе. Тогда решили срав-

нить длительность жизни глобиновой иРНК, содержащей поли-А и лишенной этой последовательности. В ооциты лягушек вводили иРНК, определяя ее способность стимулировать синтез глобина спустя разные промежутки времени. Оказалось, что иРНК, лишенная поли-А, быстро теряет кодирующие свойства, а поли-А, содержащая иРНК, продолжает стимулировать синтез глобина в течение нескольких дней.

Таким образом, одна из функций поли-А последовательности — предохранение смысловой части иРНК от расщепления. Возможно, стабилизирующий эффект связан с тем, что с поли-А быстрее соединяются ферменты рибонуклеазы, гидролизующие РНК. Связывая эти ферменты, поли-А тем самым стабилизирует кодирующую часть иРНК.

«Trends Biochemical Science», 1977, v. 2, № 5, p. 106—107.

Биохимия

Корни бобовых «приманивают» клубеньковые бактерии

Всем хорошо знакомы многочисленные клубеньки на корнях бобовых растений (гороха, сои, клевера, люпина и т. д.). Образование клубеньков вызывают специальные бактерии ризобии, проникающие через корневые волоски. В этих клубеньках бактерии живут и превращают азот атмосферы в аммиак, жизненно необходимый для растений. Сейчас известно, как проникают бактерии в корень, как

зарождаются и развиваются клубеньки. Однако до недавнего времени оставалось неясным, каким образом в корень попадает именно тот вид клубеньковых бактерий, который специфичен для данного растения, иными словами, как бактерии узнают корни «своего» растения.

Оказалось, что корневые волоски растений выделяют специальный белок-«приманку». Бактерии устремляются из прикорневой почвы на этот белок и буквально облепляют корневые волоски перед началом образования клубеньков¹. На этом этапе белок-«приманка» выступает в роли ловушки: он связывается с полисахаридом, находящимся на поверхности клеток бактерий, и таким образом удерживает их. Но самое интересное и важное заключается в том, что белок связывается с полисахаридом только той бактерии, которая специфична для данного растения. Получается, что белок и полисахарид подходят друг к другу, как ключ к замку. Для доказательства того, что клубеньковые бактерии реагируют на белок-«приманку», корневые выделения поместили вблизи капилляра с клубеньковыми бактериями, и бактерии начали тянуться, двигаться к «приманке»². Такого рода движение называется хемотаксисом, поэтому вещество корней, служащее «приманкой», получило название хемотактина. Особенно «привлекательным» для бактерий оказался хемотактин, выделяемый корнями лядвенца. Его удалось получить в чистом виде³. Это — типичный гликопротеид, т. е. белок, содержащий углеводную часть.

В. Р. Шаткилов

Кандидат биологических наук
Москва

¹ Dart P. J., Mercer F. V. — «Arch. Microbiol.», 1964, v. 47, № 5, p. 344—378.

² Currier W. W., Strobel G. A. — «Plant Physiol.», 1976, v. 57, № 5, p. 820—823.

³ Currier W. W., Strobel G. A. — «Science», 1977, v. 196, № 4288, p. 434—435.

Медицина

Раковые клетки превращаются в нормальные

В последнее время стало известно несколько случаев, когда в лабораторных условиях в культуре раковых клеток наблюдалось перерождение раковых клеток в здоровые.

Один из таких примеров приводят М. В. Мак-Берни (Оттавский университет, Канада), а также Б. Минтц (Институт по исследованию рака, Филадельфия, США). Эти исследователи в течение 8 лет поддерживали культуру раковых клеток, называемую тератомой, путем ее трансплантации на белых лабораторных мышах. Недавно с этой культурой был проведен следующий эксперимент. Раковые клетки ввели в эмбрион мыши, находящийся на ранней стадии развития. Эмбрион продолжал нормально развиваться, и из него вырастала здоровая мышь. Было установлено, что введенные в эмбрион раковые клетки не погибают, а перерождаются, нормально дифференцируясь в различные ткани мыши. Известно, что в раковых клетках прежде всего нарушаются именно процессы дифференцировки.) В данном случае восстанавливается контроль за нормальной экспрессией генов, который раковыми клетками утрачивается.

О другом примере перерождения раковых клеток в нормальные сообщил С. Силаги (Медицинский колледж при Корнеллском университете, США). Силаги вводил в злокачественную опухоль мышей 5-бромдезоксимуридин, который включается в ДНК вместо тимина. После трех циклов клеточного деления в присутствии 5-бромдезоксимуридина злокачественные клетки начинали превращаться в нормальные. Однако, если введение 5-бромдезоксимуридина прекращается, происходит обратное превращение нормальных клеток в раковые. Важно отметить, что в клетках, утративших свойства злокачественности после обработки 5-бромдезоксимуридином, обнаружи-

ваются вещества с антираковой активностью. Эти вещества, являющиеся компонентами клеточной мембраны, Силаги пытается выделить в настоящее время, надеясь использовать их в клинической практике. По мнению Силаги, они могут эффективно предотвращать образование метастазов после хирургического вмешательства.

Х. К. Питет (Висконсинский университет, США), работающий с клетками рака печени, установил, что на ранних стадиях развития раковой опухоли существует обратимая фаза, когда дальнейшее развитие опухоли можно предотвратить, заставив клетки превратиться в нормальные. Позже наступает фаза необратимого перерождения.

Следует, однако, подчеркнуть, что перечисленные выше данные получены в условиях эксперимента в лаборатории и говорить об их применении в клинике преждевременно.

"Science News", 1977, v. 111, № 16, p. 246 (США).

Физиология

Половое влечение у приматов

У большинства млекопитающих спаривание происходит лишь во время овуляции (выхода яйцеклетки из яичника). У человека, также как и у других приматов, спаривание возможно в любой фазе менструального цикла. Р. П. Михаэль и Р. В. Бонсалл (Медицинская школа при Университете Эмори, США), изучавшие поведение макаков-резусов на разных стадиях менструального цикла, пришли к выводу, что половое влечение как самца, так и самки значительно возрастает в период, когда самка наиболее способна к зачатию, т. е. в ближайшее время после овуляции.

Была сконструирована специальная клетка, состоящая из двух отсеков: в одном помещалась самка, в другом — самец. В клетке имелась

дверца, открывающаяся лишь в одном направлении: из отсека самки в отсек самца. Причем, чтобы открыть дверцу, самка должна была нажать на рычаг, расположенный в ее отсеке. Таким образом, самка при желании могла проникать в отсек к самцу, в то время как самцу отводилась пассивная роль.

Используя такую клетку, американские исследователи провели эксперименты на 17 парах макаков-резусов. Оказалось, что половое влечение у самки возрастает непосредственно перед овуляцией или во время овуляции. В это время зарегистрировано наибольшее количество визитов самки в отсек самца. Но, пожалуй, более неожиданным оказалось другое наблюдение: частота извержений семени самцов также значительно возрастает в этот период.

Михаэль и Бонсалл отбирали образцы крови у самок и определяли в них содержание половых гормонов. Они обнаружили, что наиболее высокое половое влечение у самки, а также наиболее высокая частота извержения семени у самца совпадают; обе активности имеют максимум на следующий день после максимального содержания полового гормона — эстрогена — в крови самки.

"Science News", 1977, v. 111, p. 118 (США)

Биохимия

Предбиологический синтез аминокислот

Японские исследователи К. Харада и С. Сузуки обнаружили образование аминокислот из бикарбоната аммония (NH_4HCO_3) и муравьинокислого аммония (HCOONH_4). Реакция протекала в водном растворе аммиака при прохождении слабого тока; напряжение на электродах составляло 400—600 В (30—45 мА); объем реагирующей смеси, равнялся 15 мл, температура — 20—30°C.

Было обнаружено шесть аминокислот: глицин, аспаргин, треонин, серин, глутаминовая кислота и аланин, причем в наибольшем количестве образовывался глицин. Полученные результаты указывают на возможность предбиологического синтеза аминокислот из простых неорганических или органических солей аммония в те далекие времена, когда на нашей планете протекала химическая эволюция, приведшая в конечном счете к возникновению жизни.

«Naturwissenschaften», 1977, v. 64, № 9, p. 484 (ФРГ).

Этология

Лангусты маршируют колонной

Западноатлантический лангуст *Panulirus argus* распространен в Карибском море, у Багамских и Антильских о-вов и южной Флориды. Как и большинство лангустов, этот вид предпочитает одиночество, хотя и не избегает присутствия соседей. Лангусты живут в норах на коралловых рифах. Целый день проводят они в норе, с заходом солнца выходят на охоту, а перед рассветом — в 4—5 часов утра — возвращаются в свои жилища, которые хорошо знают и защищают от «пришельцев». Обычно в норе живет по одному лангусту, реже по 2—3, в исключительных случаях до 15¹.

Осенью, собираясь большими стаями, лангусты уходят на юг. Во время миграции в ловушки попадаетея вдесятеро больше лангустов, чем обычно. Рыбаки утверждают, будто лангусты в эти дни ходят, «сцепившись как вагоны поезда».

В начале 60-х годов гидробиологи-аквалагисты про-

верили и подтвердили наблюдения рыбаков. Было установлено², что осенью у Бимины (Багамские о-ва) лангусты постепенно перемещаются в некоторые районы и скапливаются там большими массами. В конце октября или начале ноября после первого сильного осеннего шторма, сопровождаемого резким понижением температуры воды, вся масса лангустов — до сотни тысяч особей — разом пускается в путь. Массовая миграция длится дней пять. Длинными цепочками будто выстроившись в очередь, лангусты шествуют по дну «пешком», приподняв хвост и держа тело горизонтально, примерно в 5 см от дна. Каждый лангуст основными своими мощными длинными усом — антенн и ножками 1-й пары все время касается хвоста впереди идущего, как дети из детского садика на прогулке. Средняя длина цепочки лангустов — 5—10 особей, но на ровном, лишенном препятствий дне цепочки могут насчитывать 30, 40 и даже 65 животных.

В миграции участвуют только взрослые лангусты, но разных размеров (длина панциря 5—13 см). Среди них есть и самцы, и самки. «Лидер» цепочки часто меняется, так что во главе ее может оказаться животное любого размера.

В дни массовой миграции лангусты проводят в движении до 14 часов в сутки, питаются прямо на ходу. В разгар миграции 98% лангустов, увиденных исследователями, входили в состав «ходовых» цепочек. В обычное время лангуст проходит за ночь не более 100—300 м, а во время миграции — несколько километров в день. Скорость движения цепочек в среднем 28 см/с, т. е. около 1 км/ч. Эта средняя скорость близка к максимальной скорости движения одиночных лангустов, но средняя

скорость перемещения одиночек ниже, 21 см/с. Во время движения лангусты все время приводят растопыренными антеннами. Угол между антеннами 30—150° (в среднем 90°) и тем меньше, чем быстрее движется лангуст. С помощью антенн лангусты ощупывают путь и балансируют, поддерживая равновесие, поэтому даже при самом быстром движении антенны остаются растопыренными.

Вопрос о том, для чего нужен лангустам столь экстравагантный способ передвижения, долго дискутировался, но был разрешен простым экспериментом³. Животных, зафиксированных формалином и тщательно расправленных, опускали в бассейн, прикрепляя к ним тонкую леску и протягивали с помощью шпильки с электроприводом, измеряя на натяжном ролике силу сопротивления. Чтобы лангусты не волочились пассивно по дну бассейна, под их панцирь подсовывали кусочки пенопласта, так что они как будто «шли» по дну, касаясь его лишь кончиками ног. Животных протягивали шпилькой с постоянной скоростью, близкой к естественной — 15—35 см/с. Потом ту же процедуру проделывали с цепочкой из 19 лангустов, нанизанных на проволоку. Оказалось, что величина сопротивления в расчете на одно животное при движении цепочкой со скоростью 35 см/с на 65% меньше, чем при движении с той же скоростью, но поодиночке. Коэффициент сопротивления у лангустов в цепочке при скорости 35 см/с такой же, как у отдельной особи при 25 см/с, а при скорости 25 см/с — как у одиночки при 15 см/с. Сопротивление мало зависит от расстояния между лангустами, пока они тесно сближены, но резко возрастает, если расстояние между соседними животными больше 30 см. Эта величина близка к максимальному расстоянию между соседними лангустами по наблюдениям цепочек в при-

¹ Herrnkind W. F., McLean R. — «Ann. New York Acad. Sci.», 1971, v. 188, p. 359—377; Herrnkind W. F. et al. — «Bull. Nat. Hist. Mus.», 1975, v. 20, p. 31—45.

² Herrnkind W. F., Cummings W. C. — «Bull. Mar. Sci.», 1964, v. 14, p. 123—125; Herrnkind W. F. et al. — «Proc. 25th Annu. Sess.», 1973, p. 79—98.

³ Bill R. G., Herrnkind W. F. — «Science», 1976, v. 193, № 4258, p. 1146—1148.

роде. Величина угла между антеннами влияет на сопротивление, но это влияние сказывается лишь при высокой скорости.

Таким образом, лангусты выстраиваются в «колонну по одному», чтобы снизить сопротивление воды при движении. Движение колонной позволяет значительно повысить скорость при тех же затратах энергии. Конечно, при этом облегчается ориентация и выбор направления (лангусты ориентируются при движении главным образом по течению и направлению прибойной волны) и снижается опасность нападения хищных рыб, пугающихся целого леса шевелящихся усов, но главное — экономия энергии при быстром движении. Такой вывод подтверждается наблюдениями над молодью лангустов⁴. Молодые лангусты обычно перемещаются поодиночке, но когда необходимо пересечь пустое, лишенное укрытий пространство, да еще днем, они сразу выстраиваются в короткие цепочки (2—3 животных). Пройдя опасное место и достигнув укрытия (риф, заросли морской травы), лангусты расходятся в разные стороны.

Массовые миграции и образование временных скоплений известны у разных видов лангустов, но «походные колонны» до сих пор не отмечены ни у кого, кроме *P. argus*. Такое изобретение кажется удивительным, если учесть, что остальные черты поведения этого вида такие же, как у других. Хорошо известно, что в стае определенной формы легче и летать, и плыть⁵. Описанный здесь случай показывает, что формирование упорядоченных стай, в данном случае цепочек, выгодно и для тех, кто путешествует пешком.

К. Н. Несис

Кандидат биологических наук

Москва

Геология

51-й рейс «Гломара Челленджера»

В рамках Международного проекта глубоководного бурения с 28 ноября 1976 г. по 17 января 1977 г. совершало свой 51-й рейс научно-исследовательское буровое судно «Гломар Челленджер»¹. Научное руководство рейсом осуществляли Т. Донелли (Государственный университет Нью-Йорка) и Ж. Франшито (Океанологический центр Бретани, Брест, Франция); от Советского Союза в рейсе принимал участие автор этого сообщения.

В задачу рейса входило бурение глубокой скважины для изучения второго слоя океанической коры, залегающего под слоем неуплотненных осадков. Место для скважины было выбрано в районе южного окончания Бермудского поднятия, в точке с координатами $26^{\circ}06,63'$ с. ш. и $68^{\circ}02,48'$ з. д. Здесь, по геофизическим данным и по аналогии с пробуренными в соседних участках скважинами, толщина первого слоя (осадочных пород) небольшая и базальты залегают неглубоко под дном океана. Предыдущие 4 скважины, пройденные в районе Срединно-Атлантического хребта и углубившиеся в породы второго слоя более чем на 100 м, вскрыли базальты молодого возраста (около 3—10 млн лет). В 51-м рейсе предполагалось впервые возможно больше углубиться в относительно древние вулканические породы, возраст которых составляет не менее 100 млн лет.

Изучение этих базальтов и сравнение их с породами Срединно-Атлантического хребта имеет большое значение для выяснения условий формирования и эволюции земной коры под океанами. В частности, предполагалось получить подтверждение модели расширяющегося дна океанов, согласно которой по-

роды второго слоя вблизи срединно-океанических хребтов имеют более молодой возраст, увеличивающийся по направлению к материкам.

Были пробурены две глубокие скважины — 417 А и 417 D, расположенные на расстоянии 450 м друг от друга. В районе этих скважин глубина океана соответственно составляет 5468 и 5482 м; глубина проникновения в породы дна — 417 и 532,5 м; из них 211 и 343 м пройдены сквозь осадки, а 206 и 189,5 м — сквозь базальты второго слоя.

Во время рейса проводились измерения геомагнитного поля (палеонамагнитных образцов пород), ориентировка которого довольно близко соответствует предполагавшейся в этом районе для нижнемелового времени. Были проведены также некоторые виды геофизических исследований (каротажа) в скважине: гамма-каротаж, определения нейтронной плотности, плотности пород, скорости распространения звуковых волн, электрического сопротивления.

По керну скважин установлена следующая последовательность пород первого и второго слоев. Под четвертичными коричневыми глинами залегают радиоляриевые и цеолитовые глины третичного и верхнемелового возраста. В скважине А эти глины залегают непосредственно на сильно измененных базальтах второго слоя, а в скважине D под ними лежат черные глины, богатые сульфидами и органическим веществом, с прослойкой известковых илов нижнемелового возраста. Ниже этих глин расположены базальты. В основании разреза осадочных пород встречаются обломки измененных базальтов; их диаметр 2—6 см, края и углы сильно сглажены. Округлая форма обломков и их размещение непосредственно над покровом базальтов в осадках, обогащенных мелко-обломочным базальтовым материалом, позволило высказать предположение, что эти обломки — результат волновой эрозии и разрушения вулканических пород на мелководье.

Вулканическая толща

⁴ Berrill M. — «Bull. Mar. Sci.», 1975, v. 25, p. 515—522.

⁵ Шувейкин В. В. Очерки по физике моря. Изд. 4-е. М., 1962, гл. XI.

¹ «Geotimes», 1977, v. 22, № 6.



Расположение глубоководных скважин (417 А и 417 В), пробуренных в 51-м рейсе научно-исследовательского судна «Гломар Челленджер» (скважины, находящиеся на расстоянии 450 м друг от друга, на карте показаны кружком).

сложена потоками шаровых лав, пластовыми телами (силлами) долеритов, лава-брекчиями, заполняющими промежутки между потоками лав и отдельными шарами. Базальты шаровых лав и долериты по химическому составу мало отличаются от пород Срединно-Атлантического хребта. Для минерального состава характерно обилие плагиоклаза во вкрапленниках и сравнительная редкость в них пироксена и оливина. Базальты из пробуренных скважин отличаются своей сильной измененностью, особенно на малой глубине. По мере углубления в вулканическую толщу степень переработки пород уменьшается,

однако в скважине А измененные породы отмечаются вплоть до забоя. В самой верхней части разреза, в зоне контакта с осадочными породами, базальты превращены в бурую легко разминаемую в руках массу, которая сохраняет лишь реликты порфировой структуры. Под микроскопом видно, что эти породы сложены глинистыми минералами, участками измененного (девитрифицированного) стекла и калиевым полевым шпатом, замещающим вкрапленники плагиоклаза. От неизмененных базальтов породы отличаются высоким содержанием калия (K_2O до 6%), несколько повышенным — кремнезема и несколько пониженным — кальция. С увеличением глубины облик базальтов меняется: бурая окраска встречается лишь в краевых, закаленных, частях некоторых шаров, в обломках стекла и в лава-брекчиях. Центральные части шаров сложены темно-серым крепким базальтом — либо вовсе

неизмененным, либо измененным частично. Среди продуктов вторичного изменения базальтов наиболее обычны цеолиты, анальцит, монтмориллонит, гидрослюда, хлорит, кальцит. Редко встречается пирит, образующий вместе с хлоритом тонкие прожилки в долеритах.

Характер изменений вулканических пород свидетельствует о том, что они подверглись интенсивному выветриванию. Признаков воздействия на породы глубинных гидротермальных растворов не наблюдается. Некоторые особенности, например следы гематитизации (покраснения) в верхней части базальтов, позволяют предполагать существование окислительных процессов в период происшедших изменений. Вместе с находкой «галека» в кровле вулканитов этот факт подтверждает гипотезу о том, что теперешнее океаническое дно приблизительно 100 млн лет назад было поднято над уровнем или почти до уровня океа-

на. Значит, с того времени данный участок коры опустился на 5,5 км, причем, судя по различиям в изменениях, наблюдаемых по двум пробуренным скважинам, это опускание шло дифференцированно. Если блок пород, в котором расположена скважина D, опустился быстро и его базальты оказались погребенными под слоем осадков, то блок со скважиной A, по-видимому, погружался медленнее, осадки сносились с поверхности базальтов течениями, а сама поверхность длительное время подвергалась волновой эрозии и химическому выветриванию. Этим можно объяснить относительную свежесть базальтов в керне скважины D.

В исследованных подводных базальтах совершенно отсутствуют признаки изменений, вызванных взаимодействием расплавленной лавы с морской водой. Все наблюдавшиеся изменения произошли в остывшей, уже затвердевшей породе и, вероятнее всего, после формирования всей вулканической толщи. Вопреки распространенному мнению, что изменения подводных базальтов связаны с внесением в них натрия, оказалось, что в описываемых базальтах, наоборот, сильно возрастает содержание калия, а отношение натрия к калию уменьшается.

Таким образом, уже предварительные результаты изучения керна скважин 51-го рейса «Гломара Челленджера» выявили некоторые новые моменты в проблеме исследования океанического дна.

В. Я. Русинов

Кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Сейсмология

Уроки Кызылкумских землетрясений

Разрушительные землетрясения магнитудой 7,0 и 7,3, происшедшие в апреле и мае 1976 г. в районе пос. Газ-

ли, в юго-западной части пустыни Кызылкумы, для многих сейсмологов оказались полной неожиданностью: столь сильные землетрясения — и на платформе! (для сравнения напомним, что магнитуда известного Ашхабадского землетрясения 1948 г. — 7,0, а Ташкентского — всего 5,3).

Однако, по мнению Б. А. Петрушевского¹ (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР), газлийские землетрясения — не такое уж необычное явление. Основываясь на анализе сейсмических и сейсмогеологических данных по этим областям Кызылкумов, он приходит к выводу, что возможность катастрофических землетрясений здесь достаточно очевидна.

Прежде всего, сейсмостатистика показывает, что сильные землетрясения происходили в Кызылкумах и раньше: в 1929 г. землетрясение магнитудой около 8 произошло в безлюдных районах северо-восточных Кызылкумов; затем в пределах всего региона до 1971 г. зафиксировано 14 ударов средней силы; есть также исторические данные о разрушительных землетрясениях в районе Бухары в 818 г. и в 1821—1822 гг. Об общей значительной сейсмической опасности Кызылкумов свидетельствуют такие сейсмотектонические факторы, как существование продольных и поперечных разломов и их перекрещивание, зоны контрастных новейших движений, большая величина современных движений земной коры, стягивание в поднятие пониженных участков пустыни и т. д. Кроме того, землетрясения на молодых платформах, к числу которых и относятся Кызылкумы, — вообще не редкость. Случаются они и на древних платформах, как, например, Западно-Деканское 1967 г. или Пекинское 1976 г.

Все эти данные снимают вопрос об исключительности общей обстановки газлийских землетрясений весной 1976 г.

Новые подземные толчки силой 6—7 баллов (по 12-балльной шкале), зарегистрированные в июле 1977 г. в пустыне Кызылкумы с эпицентром близ Газли, лишь подтверждают сказанное. Кстати, построенные в Газли уже после землетрясения 1976 г. жилые кварталы и культурно-бытовые объекты, несмотря на сильные толчки, не пострадали.

Конкретные геологические условия землетрясений Кызылкумов пока неясны. Их эпицентры расположены на плоской равнине, на поверхности которой развит довольно мощный песчаный чехол. Ближайшие выходы коренных палеозойских пород (гряда Кульджуктау) располагаются в нескольких десятках километров севернее. Наиболее вероятно связь этих толчков с зоной крупного поперечного разлома, проходящего вблизи от восточного края Кульджуктау.

К. Б. Сеславинский

Кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Сейсмотектоника

Следы древних землетрясений на Курильских островах

Хорошо известно, что Курильские о-ва расположены в непосредственной близости к одной из наиболее сейсмически активных зон мира — Курило-Камчатской сейсмофокальной зоне. Сильные землетрясения происходят здесь сравнительно часто. В XX в. они регистрируются сетью региональных сейсмических станций; некоторые из сильных землетрясений XIX и даже XVIII в. известны по историческим данным, но до сих пор на Курилах не были отмечены следы более древних, «доисторических» землетрясений, известные для большинства других сейсмоактивных районов в виде сейсмоди-

¹ «Бюлл. МОИП. Отд. геол.», 1977, т. 52, вып. 1.

сложения на поверхности. Однако уже первые рекогносцировочные работы автора показали их присутствие и в этом районе.

Как и в других сейсмически активных областях, здесь можно выделить сейсмогравитационные и сейсмотектонические дислокации. К сейсмогравитационным принадлежат обвалы; один из таких обвалов хорошо виден на северо-восточном берегу о-ва Парамушир. Стенка отрыва циркообразной формы отчетливо сохранилась в обрыве лавового потока, имеющем высоту около 200 м. Обвальная масса образует целое поле хаотически расположенных холмов диаметром в несколько сот метров и высотой в 50 м и более. Тело обвала, перегораживающее устье долины, выброшено в море на несколько сот метров — этого не могло произойти при обычном обвале без сейсмического воздействия.

Решающим фактором для определения возраста обвала и породившего его землетрясения являются следы волноприбойного воздействия на обвальном теле, отмеченные до высоты приблизительно 10 м над современным уровнем моря, хотя в стороне от обвала морские террасы прослеживаются до высот около 40 м. Следовательно, обвал возник в то время, когда береговая линия располагалась на уровне нынешней 10-метровой террасы, т. е. в голоцене и, вероятнее всего, в первой его половине.

Значительно более ранний возраст следует приписать обвалу на о-ве Итуруп, восточнее вулкана Богдана Хмельницкого: здесь обвальное тело площадью около 1 км² лежит на террасе высотой 80—100 м, а нижележащая 60-метровая терраса частично в этом обвале выработана, т. е. обвал произошел в период между образованием площадок этих двух террас.

На восточном берегу о-ва Итуруп, возле пос. Куйбышевка, отмечен свежий уступ, который на протяжении нескольких сот метров наискосок пересекает склон

в субширотном направлении. В соседней Японии и других сейсмоактивных районах подобные уступы возникали на глазах во время сильных землетрясений.

На более крупном из островов Малой Курильской гряды, о-ве Шикотан, давно известны трещины — рвы неопределенного происхождения. По аналогии с современными формами, возникающими при землетрясениях в других сейсмически активных областях, им также следует приписать сейсмотектоническое происхождение. На Шикотане найдены разрывы и в молодых отложениях, не выраженные в рельефе. Так, в пос. Крабовое в крупной канаве, рассекающей позднеплейстоценовые или раннеголоценовые морские суглинки в теле 12-метровой террасы, хорошо виден на глубине 4 м от поверхности не только общий наклон суглинков к западу и юго-западу под углом до 30°, но заметны также и разрывы, наклоненные к юго-западу и северо-востоку под углом 60—70° со взбросовыми смещениями примерно на 15 см к юго-западу. В этой связи нельзя не обратить внимания на аналогичное смещение, возникшее на северо-восточном берегу о-ва Парамушир в древних алевролитах во время сильного землетрясения (магнитудой 7,4) 1973 г. с эпицентром под дном океана в нескольких десятках километров к востоку от острова.

В северной части о-ва Шикотан, на окраине пос. Малокурильское, карьер вскрыл в теле 50—60-метровой террасы дельтово-речные и, вероятно, морские горизонтально-слоистые отложения, которые прорезаны вертикальной глиняной «жилой» запад-северо-западного простирания, т. е. поперек к геологическим структурам острова. Такие «жилы» (кlastические дайки) обычно возникают как заполнения трещин. Их появление или раскрытие в неконсолидированных отложениях скорее всего должно быть связано с землетрясениями. Весьма вероятно, что и в этом случае мы имеем дело с проявлением

позднеплейстоценового землетрясения.

Таким образом, даже первые целенаправленные наблюдения не оставляют сомнений в высокой сейсмической активности Курильской островной дуги на протяжении десятков тысяч лет. Несомненно, что дальнейшие поиски и изучение сейсмодислокаций в этом регионе дадут новые результаты, которые можно будет использовать для более полной и надежной оценки сейсмической опасности.

А. А. Никонов

Кандидат географических наук
Москва

Сейсмология

Гидродинамические предвестники землетрясений на Курильских островах

Новые возможности в прогнозировании землетрясений открывает гидродинамический метод исследования. В соответствии с современными представлениями о механизме землетрясений следует ожидать изменения гидродинамического режима подземных вод не только в моменты землетрясений, но и в предшествующей им стадии: активной деформации земной коры в области очага готовящегося землетрясения неизбежно должна вызывать изменение порового и пластового давления в жидкой подземной среде, что и приводит к изменению уровня воды в скважинах.

Систематические наблюдения за режимом грунтовых вод проводятся с 1976 г. на курильском о-ве Кунашир. Здесь имеется целая система гидрогеологических скважин; три из них, расположенные на расстоянии 2,5—3 км от Тихоокеанского побережья, используются для наблюдений за колебаниями уровня воды. Первоначально уровень измерялся один раз в сутки в одно и то же время, но затем в двух скважинах были установлены

уровнемеры постоянного действия.

Прежде чем определять наличие связи между колебаниями уровня воды в скважинах и землетрясениями, необходимо было оценить влияние на режим подземных вод внешних факторов, главные из которых — атмосферное давление и осадки. Анализ наблюдений показал, что эти эффекты не вызывали колебания уровня воды более чем на 3—4 см.

Сопоставление наблюдений за гидродинамическими предвестниками южнокурильских землетрясений с механизмом самих землетрясений позволяет утверждать, что по реакции глубинных вод можно предсказать готовящееся землетрясение. Установлено, что накануне землетрясений падение уровня воды приостанавливается; землетрясения происходят либо во время наиболее низких уровней, либо в начале подъема; после землетрясения наблюдается всегда резкий подъем уровня воды.

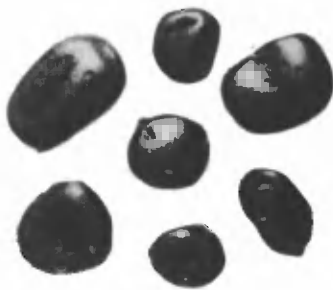
Таким образом, колебание уровня воды в скважинах есть гидродинамическое отражение физико-механических процессов, происходящих в очагах землетрясений как в период подготовки толчка, так и после него. Полученная информация поэтому полезна не только для прогноза землетрясений, но и для построения модели очага землетрясения.

«Доклады Академии наук СССР», 1977, т. 236, № 1, с. 50—53.

Геология

Галька, окатанная рудообразующими растворами

Окатанная и отшлифованная галька возникает, как хорошо известно, в зонах прибоя, в руслах рек и ручьев. Весьма необычным поэтому оказалось обнаружение автором своеобразных «галечни-



Галька пирита из рудных зон (увел. в 2 раза).

ков» в рудных столбах одного из месторождений Средней Азии, образование которого происходило в недрах вулкана каменноугольного возраста.

Как выяснилось, в составе гальки преобладает пирит (FeS_2), но встречается также галька других сульфидных минералов и раннего жильного кварца. Галька пирита имеет округлую или овальную форму, хорошо окатана и отшлифована, размер ее достигает 1—2 см. Иногда встречается пиритовый «песчаник», в котором можно проследить все переходы — от кристалла через полуокатанные формы к мелкой гальке. В тех же зонах попадаются окатанные обломки окружающих пород — аднезитов, дацитов, вторичных кварцитов и сульфидных руд; размер этих валунов до 30—40 см.

Окатыванию подвергались крупные кристаллы пирита, сформировавшиеся на ранней стадии рудообразования: при травлении полированной гальки отчетливо проступает кубическая зональность, характерная для раннего пирита. Цементирована галька поздними минералами — блеклой рудой, мелкозернистым пиритом, кварцем, чешуйчатой слюдой.

Образование подобных галек и валунов в рудных зонах, по-видимому, связано с интенсивной циркуляцией гидротермальных растворов при рудоотложении. Циркуляция раствора, в свою очередь, обусловлена его вскипанием вследствие резкого сни-

жения давления в крупных подземных полостях. Сульфидная галька встречается в наиболее богатых рудных зонах, приуроченных к верхним горизонтам месторождения. Очевидно, крупные трещины выступают в качестве «рудных ловушек»: в них происходит резкое нарушение термодинамического равновесия рудоносных растворов, приводящее к образованию рудных минералов.

Интенсивное перемешивание воды в зонах вскипания может сопровождаться механическим перемещением и локальным накоплением тонкозернистого рудного золота, что и объясняет появление участков, аномально богатых драгоценным металлом.

А. М. Портнов

Кандидат геолого-минералогических наук

Москва

Геохимия

Золото в породах мантии

С. В. Головня и В. П. Хвостова (Центральный научно-исследовательский геолого-разведочный институт Министрства геологии СССР, Москва) определили содержание золота в ультраосновных породах (гарцбургитах и дуниитах), а также в хромитовых рудах массива Рай-Из на Полярном Урале.

Установлено, что среднее содержание золота возрастает от гарцбургитов ($8 \cdot 10^{-7}\%$) к крупнокристаллическим дуниитам ($24 \cdot 10^{-7}\%$) и хромитовым рудам ($66 \cdot 10^{-7}\%$); в хромите содержание золота достигает $320 \cdot 10^{-7}\%$. Эта закономерность подтверждает предположение о концентрации рудных элементов при дифференциации мантии и указывает на связь золоторудных месторождений с глубинным подкоровым веществом.

«Геохимия», 1977, № 4, с. 631—634.

Охрана природы

Птицы, отравленные дробью

Шведские биологи К. Данелл, О. Андерсон и В. Маркштрём изучали случаи заболевания и гибели водоплавающих птиц в результате отравления дробью.

Если принять, что лишь один выстрел из четырех попадает в цель, то на каждую убитую птицу приходится не менее 900 дробин, рассеивающихся по берегам рек, озер или упавших на дно. Дикие утки и гуси весьма часто заглатывают такие дробинки. Часть их быстро проходит по пищеварительному тракту, а часть надолго задерживается в мускульном желудке. Здесь дробь благодаря механическому и химическому воздействию подвергается эрозии. Образуются растворимые соли свинца, при определенном содержании которых в организме птиц наступает острое свинцовое отравление. Подобные случаи отмечены в Австралии, Великобритании, Дании, Италии и Франции; в Северной Америке по этой причине гибнет от 2 до 3% популяции водоплавающих.

Шведские специалисты исследовали 928 уток, принадлежащих к девяти различным видам. Наибольшее количество проглоченных дробин (в среднем более 20) обнаружено в организме кряквы, красногловых нырков и хохлатой чернети. Ни одной дробинки не найдено в желудках уток-широконосок и чирков, что, по-видимому, объясняется иным процессом кормежки.

По мнению исследователей, в Швеции смертность от свинцового отравления не ниже 2% всей популяции водоплавающих. Специалисты обращают внимание на необходимость создания нетоксичной дробы. В Канаде, например, разработана технология изготовления свинцово-железной (по 50%) дробы, которая резко снижала степень отравления у подопытных птиц.

«Ambio», 1977, v. VI, № 4, p. 235—236 (Швеция).

Охрана природы

Диатомит очищает водную поверхность от нефти

А. Стафей (Университет им. М. Кюри-Склодовской, Люблин, ПНР) разработал метод, позволяющий предотвратить распространение нефти по поверхности воды в результате аварии танкера или самопроизвольного ее фонтанирования. Для этого используются гранулы из диатомита — слабо сцементированной кремнистой породы, состоящей из створок раковин диатомов с небольшой примесью обломочного материала. Поскольку диатомит обладает большой пористостью и абсорбционными свойствами, препарат из него хорошо впитывает нефть и вместе с ней опускается на морское дно. Таким способом можно собрать всю разлившуюся нефть. Метод применим и для гашения горячей в воде нефти и нефтепродуктов.

«Польское обозрение», 1977, № 41, с. 6.

Археология

Мастодонт, раненый человеком

В августе 1977 г. в торфяном болоте, расположенном около городка Секим (крайний северо-запад США, штат Вашингтон), был найден отлично сохранившийся, почти целый скелет мастодонта, жившего, по предварительной оценке, 11—14 тыс. лет назад.

Особенно ценной делает находку тот факт, что в одном из ребер мастодонта обнаружен воткнувшийся костяной наконечник копья. Это первый случай столь непосредственного свидетельства охоты древнего человека на мастодонта.

К раскопкам привлечены видные специалисты — археолог Р. Дозэрти и палеозоолог К. Густафсон, оба из Универси-



Ребро мастодонта с торчащим из него обломком костяного наконечника копья.

Обломок бивня мастодонта с нанесенными на него зарубками.

тета штата Вашингтон в Пулмене, где и будет продолжено изучение этой уникальной находки.

Даже в полевых условиях оказалось возможным определить, что это уже немолодое животное с массивными бивнями и сильно стертymi зубами; судя по костяку, мастодонт страдал артритом.

Как показала рентгеноскопия, костяной наконечник копья проник в ребро на 2 см и сломался. Затем рана затянулась и животное прожило еще несколько месяцев.

На факультете антропологии Университета штата Вашингтон производится радиоуглеродное датирование находки. Для изучения илстых осадков, глины и гляциальных отложений, связанных с этим захоронением, привлечены геологи; палинологи исследуют споры, семена растений, торф, перекрывающий место находки.

«Smithsonian Institution Natural Science Event Bulletin», 1977, v. 2, № 8, p. 14; № 9, p. 14—15 (США).

Археология

Порядок в расположении археологических памятников

Давно замечено, что большинство археологических памятников находятся поблизости от водных источников. Особенно четко такая приуроченность выявляется в аридных районах, например в Средней Азии. Здесь после определения высот местонахождения памятников (культурных слоев) и уточнения их абсолютного возраста (в том числе по ^{14}C) удалось установить определенные закономерности в их расположении.

Основная закономерность состоит в увеличении возраста памятников по мере увеличения относительной высоты их современного расположения над ближайшим водотоком. Изучались стоянки и местонахождения открытого типа, а также некоторые пещерные стоянки. По возрасту большая часть этих археологических памятников относится к эпохам мустье, мезолита и неолита. Раздельно систематизированы данные по бассейнам рек Амударьи, Сырдарьи и Зеравшана.

Анализ показал, что памятники мустьерской и верхнепалеолитической эпох расположены на верхнеплейстоценовых террасах, памятники мезолита и неолита — на голоценовых террасах рек. Одно-возрастные памятники находятся над руслами местных рек в расчлененных предгорьях выше, чем на равнине, а в горах — выше, чем в предгорьях. Исключение составляют Памирское нагорье и Алайская долина, где, несмотря на большие высоты (3000—4000 м), памятники в условиях плоского рельефа незначительно возвышаются над водотоками.

Приречные непереотложенные памятники располагаются преимущественно на следующих высотах над ближайшими водотоками (не ниже): относящиеся к эпохе мустье — 15—20 м на равнине, 25—60 м в предгорьях, 60—100 м и более в

горах; к эпохе мезолита — 25—35 м в предгорьях и горах; к эпохе неолита — 5—10 м на равнине, 15—25 м в предгорьях и горах.

Трудно предположить, что люди каменного века в течение палеолита и неолита просто селились все ближе и ближе к водотокам. Объяснение найденной закономерности надо искать в последовательном, по мере тектонического воздымания, врезании рек и углублении долин в течение позднего плейстоцена и голоцена. Соответственно, стоянки древних людей, основанные во время их заселения вблизи водотока (обычно на высокой пойме или первой надпойменной террасе), постоянно оказывались как бы все более приподнятыми над реками. Стоянки на равнинах, в предгорьях и горах потому ныне расположены последовательно выше над урезами рек, что, соответственно, более интенсивными были тектонические движения и, пропорционально этому, — врезание рек.

Приведенные закономерности, наряду с известными закономерностями планового и ландшафтного расположения археологических памятников, облегчают их целенаправленные поиски в различных районах Средней Азии.

«Бюллетень Комиссии по изучению четвертичного периода», 1977, № 47, с. 58—66.

История науки

Уникальный экземпляр книги Коперника

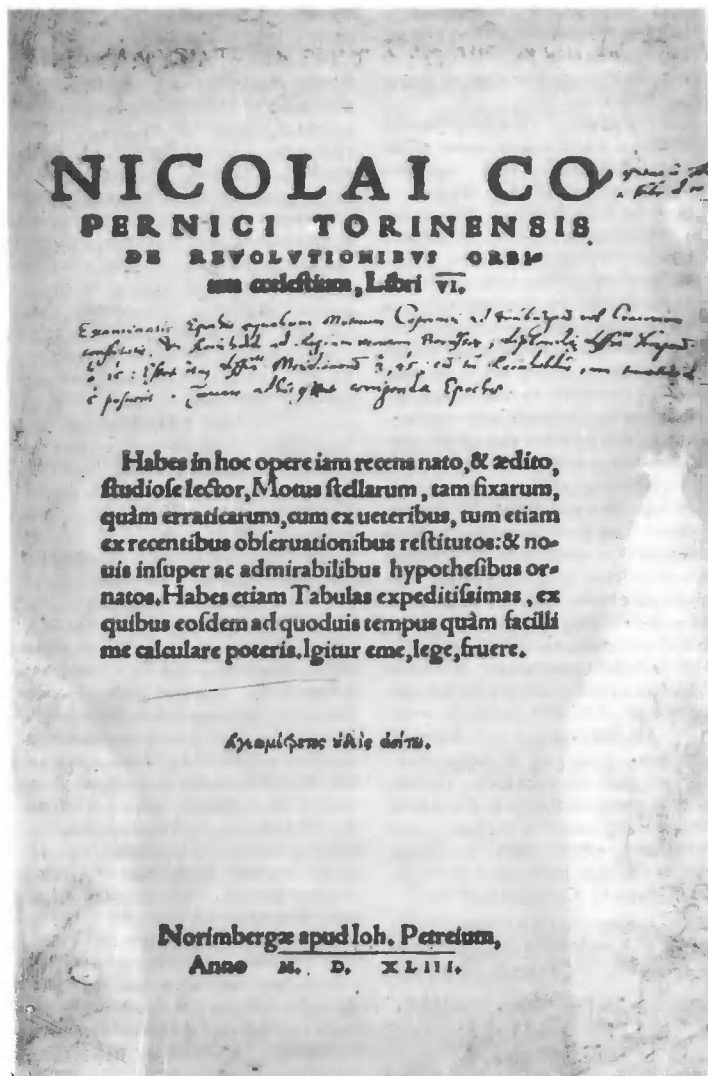
Просматривая экземпляр первого издания книги Н. Коперника «Об обращениях»¹, принадлежащий Государственной публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щед-

рина в Ленинграде, О. Гингерич (Гарвардский университет, США) обнаружил на полях книги множество пометок, сделанных крупнейшими астрономами XVI—XVII вв., — Э. Рейнгольдом, Тихо Браге, а, возможно, также И. Кеплером. Проведенное советскими исследователями изучение печатных и архивных материалов, содержащих сведения о том, как была приобретена книга, а также расшифровка сохранившихся на ней владельческих записей и некоторых пометок позволили проследить судьбу уникального экземпляра.

Первым владельцем книги оказался профессор математики Виттенбергского университета Эразм Рейнгольд, автор знаменитых «Пруссских таблиц», изданных в 1551 г. Это были первые таблицы движения планет, основанные на теории Коперника. Штудирова труд великого ученого, Рейнгольд скрупулезно проверял и уточнял приведенные в нем наблюдения, вычисления и особенно таблицы движения небесных тел. Критические замечания Коперника убедили Рейнгольда в несостоятельности геоцентрической гипотезы Птолемея, однако он не решился полностью встать на сторону новой гипотезы. Пытаясь «примирить» Коперника с существовавшими в то время взглядами, Рейнгольд наметил контуры компромиссной гипотезы, объединявшей геоцентрическую и гелиоцентрическую системы мира. Позднее гипотеза Рейнгольда была разработана датским астрономом Тихо Браге и получила его имя; в ней Земля (как и у Птолемея) покоилась в центре мира, вокруг которого двигалось Солнце. Зато остальные планеты (как у Коперника) обращались вокруг нашего светила.

Намечая основные положения своей гипотезы, Рейнгольд до самой смерти не расставался с книгой Коперника, на полях которой он оставил множество пометок. Спасаясь от эпидемии чумы, Рейнгольд уехал из Виттенберга к себе на родину, в маленький городок Заальфельд. Однако и здесь он заразился и умер в 1553 г.

¹ Copernicus N. De Revolutionibus..., Norimbergae, 1543.



Титульный лист книги Н. Коперника «Об обращениях», принадлежащей Государственной публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина в Ленинграде.

Понимая ценность принадлежавшей отцу книги Коперника, сын Рейнгольда спас ее от уничтожения, которому обычно подвергались все вещи погибших от чумы. В 1575 г. в Заальфельд, чтобы купить

эту книгу, специально приезжал Тихо Браге. Однако сын Рейнгольда наотрез отказался ее продать, разрешив лишь снять копии с пометок своего отца, которые Тихо Браге и внес в свой экземпляр книги Коперника. Этот экземпляр сохранился до наших дней, и также был изучен Гингеричем, который считал, что Тихо Браге так и не удалось приобрести принадлежавшую Рейнгольду книгу. После находки ленинградского экземпляра стало ясно, что Тихо Браге все-таки заполучил заветную книгу, с

которой он, в свою очередь, не расставался до самой смерти, тщательно изучая текст Коперника с пометками Рейнгольда. На полях книги появилось много новых пометок, сделанных уже рукой Тихо Браге. Некоторые он подписал, что помогло установить его авторство. На одной из страниц датский ученый подтвердил авторство Рейнгольда, указав, что пометки «R» или «R_x», принадлежат Рейнгольду.

Умирая в 1601 г. в Праге, Тихо Браге завещал все записи своих астрономических наблюдений, а возможно, и эту книгу, Кеплеру, которого он просил обосновать свою гипотезу с помощью уже накопленных к тому времени данных. Однако Кеплер, как известно, не разделял взглядов Тихо Браге и блестяще использовал его наблюдения для обоснования системы Коперника. На ленинградском экземпляре сохранились немногочисленные пометки, сделанные, по-видимому, рукой Кеплера. Они в основном содержат ссылки на те или иные работы Кеплера, изданные уже после смерти Тихо Браге, в которых разрабатывались идеи Коперника.

Пока неизвестно, где находился уникальный экземпляр со второй половины XVII до первой половины XVIII в. В дальнейшем книга поочередно побывала в частных библиотеках геттингенского математика и историка науки Г. Кестнера, барона Фусса и естествоиспытателя из Мангейма К. Хейлигенштейна. После его смерти ценное издание было куплено у наследника Хейлигенштейна берлинским книготорговцем Ю. Фридендером для Публичной библиотеки в Петербурге, куда она и была передана по акту от 7 июня 1853 г.

Сейчас изучение уникального экземпляра ведется совместными усилиями советских и американских ученых.

Н. И. Невская
Кандидат
физико-математических наук
Ленинград



Зоология

Камчатский краб — новый житель Баренцева моря

Ю. И. Орлов

Кандидат биологических наук

Москва

Идея вселения камчатских крабов в Баренцево море возникла еще в конце 20-х годов, и уже в начале 30-х годов было сделано несколько попыток доставить в Мурманск живых камчатских крабов. Поддерживая идею вселения камчатских крабов в Баренцево море, П. В. Ушаков писал об этом районе: «На небольших глубинах у восточных берегов Мурмана и на Канинском мелководье условия для нереста краба, вероятно, весьма благоприятные. В прибрежной зоне наблюдается достаточно высокий летний прогрев поверхностных вод. Кроме того, здесь богато развита эпифауна в виде зарослей гидроидов, губок, мшанок, встречаются заросли донных высших водорослей, что имеет существенное значение для выживаемости молоди на первых ее стадиях»¹. Однако в то время эти работы не вышли из стадии опытных, и акклиматизации камчатских крабов в Баренцевом море не произошло.

В 60-х годах работы по переселению камчатских крабов были возобновлены.

Изучение биологии камчатского краба показало, что оптимальная температура их обитания $+2-7^{\circ}\text{C}$. Однако их встречали и при температуре от $+18$ до $-1,6^{\circ}\text{C}$. Пища краба состоит в основном из моллюсков, ракообразных, червей, асцидий и иглокожих. Крабы перемещаются со скоростью до 1,8 км/ч. Косяки мигрируют медленнее — около 4 км/сут. Наибольшее расстояние, пройденное меченым

крабов в районе Кольского залива. С 1961 по 1969 г. в Баренцево море было выпущено 10 тыс. молоди в возрасте 1—3 года и около 3 тыс. крупных крабов в возрасте от 6 до 15 лет.

В самом начале работ по вселению камчатских крабов в Баренцево море все страны — участники Международного совета по исследованию моря были оповещены о проведении этого мероприятия.



Самка камчатского краба, выловленная в Баренцевом море в 1974 г. По подсчету сотрудника ПИНРО Ю. А. Симукова, число икринок у этой самки краба достигало 460 тыс.

Фото Ю. А. Симукова.

крабом за один год, составило около 500 км. В 1959—1961 гг. сотрудники Центральной производственно-акклиматизационной станции провели опыты по выяснению возможности транспортировки живых крабов на дальние расстояния. Транспортировка прошла успешно, и было решено начать выпуск

В 70-е годы в Полярный научно-исследовательский институт морского рыбного хозяйства и океанографии (ПИНРО) стали поступать сведения о крабах, попавших в снасти рыбаков. Выловленные крабы довольно крупные (18—24 см по ширине панциря), в возрасте около 20—25 лет. Вероятно, это — потомки крабов первых лет вселения. В норвежской печати также появились сообщения о «русских» крабах, попадающих в сети норвежских рыбаков.

Акклиматизация камчатских крабов вселяет надежду, что они в Баренцевом море смогут создать стойкую и массовую популяцию. Какова будет максимальная численность этой популяции и будет ли она промысловой — покажет время.

¹ Цит. по: Галкин Ю. И. О причинах сокращения численности камчатского краба у западного побережья Камчатки — «Рыбное хозяйство», 1959, № 4.

Зоология

Пернатые санитары африканских саванн

Н. Н. Дроздов

Кандидат биологических наук
Московский государственный
университет им. М. В. Ломоносова

В знойный полдень, проезжая по выгоревшей травянистой саванне с редкими зонтичными акациями, мы всегда видим парящих в небе крупных пернатых хищников. Они медленно кружат над равнинами Серенгети, почти не шевеля крыльями, и в восходящих потоках нагретого воздуха постепенно поднимаются до высот в 1—2 км. Можно подумать, что эти птицы отдыхают в таком пассивном полете. Но нет — они заняты тщательным патрулированием; пользуясь своим феноменально острым зрением, высматривают среди бесконечных стад копытных жвачных, не появится ли возможность присоединиться к чьей-либо трапезе. Ведь за копытными охотятся и львы, и леопарды, и гепарды, и гиеновые собаки, а с их «стола» что-нибудь да и останется и птицам-падальщикам. Еще лучше, если удастся выследить животное, погибшее от старости или болезни, — тогда не надо дожидаться своей очереди после более сильного хищника.

Грифы и стервятники, парящие в воздухе, тщательно следят не только за местностью в целом, но и за отдельными хищниками, организуя охоту на антилоп или других травоядных. Увидев успешную охоту, падальщики сразу же снижаются и рассаживаются по соседним деревьям или на земле, стараясь подобраться поближе. Нередко гепарду приходится яростно отгонять грифов, подбигающих вплотную, а леопард затаскивает добычу на дерево — там грифы не смогут его беспокоить.

Рано утром птиц-падальщиков в небе не увидишь — они еще отсиживают на ветвях деревьев или на скалах. Казалось бы, уже светло и пора вылетать на охоту. Но птицы ждут, пока солнце взойдет повыше и прокалит приземные слои воздуха. Только тогда, пользуясь восходящими токами, птицы почти без усилий набирают нужную для обзора высоту. А ранним вечером, когда солнце уже не так палит, грифы и стервятники уже планируют вниз и занимают места ночлега среди ветвей.

Между хищниками на земле и падальщиками в воздухе налажена четкая коммуникация. Парящие падальщики следят за охотящимися четвероногими, перемещаются за ними следом. Они не спускают глаз и друг с друга: стоит одному из грифов, обнаружив добычу, пойти на снижение, как парящие поодаль птицы бросаются вниз за ним вслед, стараясь даже обогнать его. А нередко стая гиен или голодный лев, не добыв ничего самостоятельно, следят за направлением полета падальщиков и бегут туда, чтобы вмешаться в чужую трапезу или разделить с грифами свежую падаль.

С появлением охотников в Африке грифы быстро поняли, что там, где идут люди с ружьями, будет и им добыча. Поэтому следом за охотничьими сафари всегда парили падальщики. Теперь же роли поменялись: современные «бескровные сафари» с фототуристами не приносят ничего голодным грифам, зато гиды сафари-групп наблюдают за полетом падальщиков и быстро находят среди саванны какого-нибудь хищника со свежей жертвой — желанную «добычу» фототуристов.

Равнины Серенгети и саванны других национальных парков Восточной Африки поражают обилием травоядных, и соответственно их обилию здесь многочисленны крупные хищники, четвероногие и пернатые падальщики. Шакалы, гиены, грифы и стервятники выполняют важную роль в утилизации животной био-

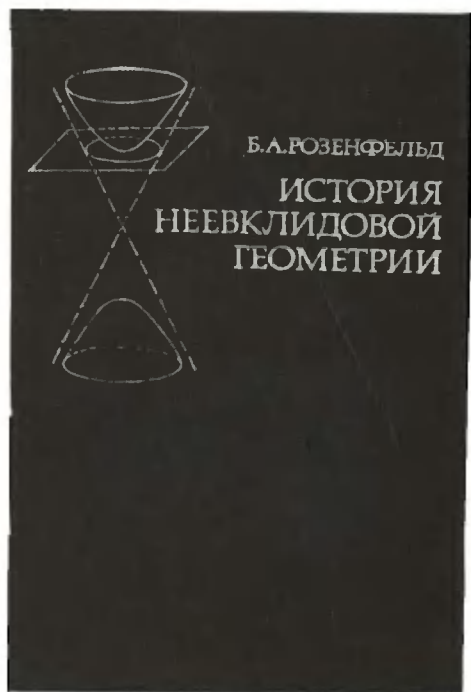
массы на самых верхних уровнях экологической пирамиды. Только в этих районах можно увидеть одновременно шесть видов птиц-падальщиков. Самый крупный — ушастый гриф (*Torgos tracheliotus*), весом до 13 кг и с размахом крыльев до 2,6 м. Гриф (или сип) Рюппелля (*Gyps rueppellii*) поменьше — до 9 кг, его видишь чаще других. Белоспинный (*Pseudogyps africanus*) и белоголовый (*Trigonoceps occipitalis*) грифы еще мельче — весом 5—7 кг. Самые мелкие падальщики — это стервятники: обыкновенный (*Neophron percnopterus*) и бурый (*Necrosyrtes monachus*). Поедая падаль, все эти виды специализируются и тем самым уменьшают конкуренцию между собой. Гриф Рюппелля и белоспинный поедают в основном внутренности, ушастый и белоголовый предпочитают пожирать мясо, а стервятники чаще довольствуются обрывками туши по периферии сцены пиршества. Но, конечно, несмотря на некоторую специализацию, голодные падальщики устраивают у туши крупного копытного отвратительную свалку, толкая друг друга, бросаясь сверху в «кучу-малу», забираясь с головой внутрь гниющей туши. Особенно усердствуют в этом занятии грифы Рюппелля, иногда целиком скрывающиеся внутри разверстого брюха буйвола.

Хотя пиршество грифов у падали — зрелище отталкивающее с эстетической точки зрения, но полезную роль падальщиков в регуляции равновесия в экосистеме саванны трудно переоценить.

От элементарной геометрии — до современной топологии

И. Л. Аккурин

Кандидат философских наук
Москва



Б. А. Розенфельд. ИСТОРИЯ НЕЕВКЛИДОВОЙ ГЕОМЕТРИИ. Развитие понятия о геометрическом пространстве. М., «Наука», 1976, 408 с.

Значение открытия неевклидовой геометрии, как известно, выходит далеко за пределы собственно науки о пространстве. Оно представляет собой поворотный пункт в истории математики, а возможно, и всего человеческого познания в целом. Поэтому монография Б. А. Розенфельда,

в которой собран относящийся к этой области исторический материал, может быть использована более широко, в конечном счете даже для решения некоторых непосредственных задач, возникающих перед современным естествознанием.

Построение монографии весьма своеобразно, можно сказать, что оно объемно, многомерно, даже напоминает чем-то «расслоенное пространство». Автор выделяет три хронологических среза: предыстория, неевклидова геометрия и дальнейшие выводы и обобщения. Через эти исторические пласты, или срезы, он просматривает восемь линий расширения представлений о пространстве. Получается довольно сложная архитектура, но она в книге соответствующим образом аргументирована и «работает».

Первая линия: сферика (первая геометрия, отличная от евклидовой), эллиптическая неевклидова геометрия и обобщение эллиптической геометрии в виде геометрии компактных пространств групп Ли. Вторая линия: теория параллельных линий, геометрия Лобачевского и другие гиперболические неевклидовы геометрии, дальнейшее обобщение гиперболических геометрий в виде геометрии некомпактных простых групп Ли. Третья линия: различные геометрические преобразования в евклидовом пространстве, исследования групп геометрических преобразований и геометрий с различными фундаментальными группами, краткий очерк групп Ли и соответствующих им геометрий. Четвертая линия: геометрическая алгебра, многомерная геометрия, геометрия многомерных пространств различного рода и появление бесконечномерных пространств. Пятая линия: различные обобщения понятия пространства, сюда относится искривленное пространство и различные топологические (в том числе и столь важные для всей современной физики расслоенные) пространства и пространства со связностями

различного рода. Шестая линия: пространства, получаемые предельными переходами из эллиптических и гиперболических; в этой связи евклидова геометрия рассматривается как предельный случай геометрии Лобачевского и сферической геометрии, и далее прослеживается история геометрий квазипростых и К-квазипростых групп Ли. Седьмая линия: применение алгебры к геометрии — начинается с геометрической алгебры, продолжается в виде появления теории алгебр и их применения к геометрии и в виде развития теории алгебр и геометрии пространств над алгебрами. Восьмая линия: философия пространства, сюда входят специальные главы и параграфы о пространстве Лобачевского, Пуанкаре и Эйнштейна. Во многих разделах работы рассматривается влияние астрономии, механики и физики на развитие геометрии, взаимоотношение неевклидовой геометрии и физики и т. д.

Книга, как видно уже из краткого описания ее структуры, отличается необычайно широким масштабом исследования. Развитие геометрии прослеживается за весь многовековой период ее истории — от древнего Вавилона и Египта до наших дней, а по своей проблематике — от элементарной геометрии до современной топологии и общей теории расслоенных пространств.

Автор проделал колоссальную работу по систематизации историко-научных фактов, книга поражает огромной насыщенностью материала, в обиход историков науки и математиков вводится большое число незаслуженно забытых или ранее неизвестных имен и исследований.

Основные проблемы изложены весьма основательно — со ссылками на важнейшие первоисточники и обширными цитатами. Многие из трудов, относящихся к прошлым векам, стали сейчас почти недоступными для читателя ввиду библиографической редкости или ввиду языковых преград — в таких случаях обильное цитирование вполне оправдано. Хотя книга при этом местами становится похожей на хрестоматию, зато читатель знакомится с духом и особенностями первоначальной трактовки вопроса, с деталями доказательств и хода рассуждений.

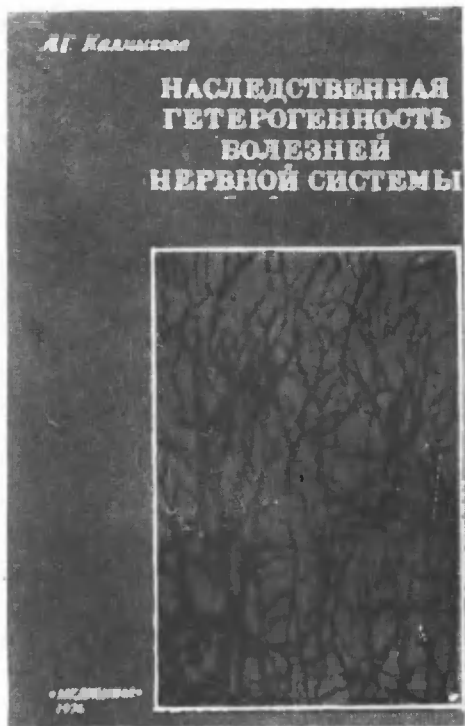
Учитывая большой объем работы, можно отметить некоторые неровности в изложении. Местами встречается некоторая перегрузка в характеристике многочисленных отдельных результатов, излишняя увлеченность подробностями.

Но не вызывает сомнений тот факт,

что книга уводит читателя от узкого, примитивного пространственного мышления, раскрывает мир «многомерных» связей многообразных, неисчерпаемо сложных геометрических форм, которые могут послужить основой для построения адекватных математических моделей таких весьма необычных объектов современного естествознания, как партоны или кварки, «черные дыры» или развивающиеся биологические структуры.

Медицина сквозь призму популяционной генетики

Профессор М. И. Рейдерман
Донецк



Л. Г. Калмыкова. НАСЛЕДСТВЕННАЯ ГЕТЕРОГЕННОСТЬ БОЛЕЗНЕЙ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ. М., «Медицина», 1976, 320 с.

Содержание этой монографии значительно шире и глубже ее названия. В области генетики она охватывает множество проблем помимо проблемы наследственной неоднородности болезней, а в области клинической медицины перешагнула далеко за пределы неврологии. Монография написана на стыке генетики и неврологии, при этом автор весьма компетентен в этих вопросах.

Со времени выхода классической ра-

боты С. Н. Давиденкова о наследственной полиморфности нервных болезней прошло 30 лет. Монография Л. Г. Калмыковой — заметное событие в отечественной литературе по нейрогенетике.

Популяционная генетика человека в настоящее время привлекает растущее внимание биологов-эволюционистов, математиков, антропологов, социологов, философов и врачей. Она обогащает смежные науки и сама обогащается ими, и это особенно хорошо видно на примере рецензируемой книги.

Автор с первых же страниц вводит нас в самую суть проблемы. За последние полвека описаны сотни наследственных заболеваний нервной системы. Благодаря раскрытию генетического кода, благодаря успехам биохимической генетики расшифрованы интимные механизмы многих — хотя далеко не всех — заболеваний этой группы. Большей частью они являются энзимопатиями, «наследственными ошибками обмена веществ», связанными с нарушением кодирования ряда ферментов, без которых невозможна нормальная жизнедеятельность. Для организма существенно не то, что изменена структура фермента, важно, что вследствие этого либо происходит накопление патологического, либо образуется дефицит жизненно важного вещества. Известно, что большинство обменных процессов представляет собой последовательные цепи химических реакций, которые регулируются каскадом ферментов, имеющих строгую специфичность. Разрыв любого звена цепи приводит к сходному эффекту, например нарушению концентрации конечного продукта. Поэтому одна и та же патологическая картина может быть следствием мутаций в различных локусах, кодирующих разные ферменты данного «каскада».

Монография содержит большое количество конкретных доказательств того, что механизм каждого из многих наслед-

ственных заболеваний нервной системы может зависеть от нескольких аллелей или даже нескольких различных локусов.

В главе, посвященной нарушениям обмена жироподобных веществ — липидам, наиболее ярко представлен анализ литературных данных об амавротической идиотии Тея—Сакса и ее вариантах. При этом заболевании в нейронах накапливается особое жироподобное вещество — ганглиозид. Накопление ганглиозида происходит вследствие нарушения функции любого из ферментов, катализирующих распад этого вещества. Разные формы заболевания связаны с нарушением разных ферментативных звеньев общей цепи. Автор раскрывает наследственную гетерогенность и других липидозов, которых становится известно все больше и больше.

На основе огромного литературного материала автор показывает наследственную, а также тонкую клиническую гетерогенность болезней экстрапирамидной системы мозга (болезнь Вильсона, хорея Гентингтона, паркинсонизм и др.), наследственных атаксий и параличей, болезней с преимущественным поражением двигательного нейрона. Особое внимание уделено мало разработанной в нашей стране проблеме — генетике болезней мышц.

Как уже говорилось, книга заинтересует, безусловно, не только невропатологов. Например, описанные в ней дефекты обмена аминокислот входят в компетенцию и педиатров, и эндокринологов, и биохимиков. Автор приводит данные о наследственных нарушениях обмена почти всех аминокислот; пути метаболизма каждой представлены в виде схем, показывающих возможность «блокады обмена» на любом уровне.

Со времен С. С. Четверикова, а затем благодаря работам Э. Фишера, С. Райта, Дж. Холдейна стала известна судьба рецессивных мутаций в популяции. Большинство из них быстро исчезает, очень редко их подхватывает отбор, чаще же — случайные процессы, происходит так называемый дрейф генов. Как удачно заметил известный американский генетик-популяционист Л. Кавалли-Сфорца, «случай в форме случайного дрейфа генов стал победителем в эволюционных работах последних лет». И в монографии Л. К. Калмыковой отчетливо показано значение генетического дрейфа.

Автор рассматривает различные конкретные варианты генетического дрейфа — эффект быстрых смен численности

популяции, из-за чего некоторые генотипы исчезают, другие, наоборот, достигают частот, значительно превышающих их частоты в других популяциях (в специальной литературе это явление названо «эффектом горлышка бутылки»), а также влияние многодетности отдельных семей, благодаря чему отдельные мутации получают неожиданно громадное распространение («эффект родоначальника»).

В книге приведены как широко известные примеры генетического дрейфа, ставшие хрестоматийными, классическими (например, распространение порфирии среди потомков первых переселенцев — буров в Южной Африке), так и менее известные — высокая заболеваемость ауто-сомно-рецессивным нефрозом в Финляндии, хореей Гентингтона в Канаде и многие другие.

В последней главе автор подводит итог собранным фактам. Здесь еще раз анализируются причины, играющие роль в распространении мутантных генов, — мутационное давление, селекция, дрейф, причем главное значение придается дрейфу. Вместе с тем подчеркивается влияние различных форм изоляции на частоту тех или иных генов, что иллюстрируется исследованиями автора книги, проведенными в Тульской области.

Рецензируемая монография нисколько не нарушает нозологического принципа в медицине, согласно которому элементом медицинского познания является представление об отдельных болезнях (нозологических формах). Автор расширяет это представление, говоря о нозологической форме как о групповом понятии, базирующемся на едином биохимическом дефекте.

Надо отметить, что представление о гетерогенности наследственных заболеваний вовсе не ограничивается рамками неврологии: известен полилокусный характер глухоноты, доказана гетерогенность эллиптоцитоза и других форм гемолитических анемий, широко известна генетическая гетерогенность гемофилии и т. д.

Книга Л. Г. Калмыковой заставляет задуматься и над возможной гетерогенностью многих заболеваний детского возраста, равно как и внутренних заболеваний у взрослых. Она, безусловно, окажет положительное влияние на развитие медицинской генетики в нашей стране.

Разгадка географического парадокса

Профессор О. Е. Агаханянц

Минск



В. М. Котляков. ГОРЫ, ЛЬДЫ И ГИПОТЕЗЫ. Л., Гидрометеиздат, 1977, 168 с.

Можно считать, что на популярную литературу Памиру повезло. Только за последнее десятилетие о нем писали геологи, географы, ботаники, зоологи, археологи, альпинисты. Рецензируемая книга принадлежит перу гляциолога. Насколько мне известно, это произошло впервые.

Есть ли необходимость многократно описывать путешествия по одной и той же горной стране? Прочитав многие научно-

популярные книги о Памире, приходишь к выводу, что все они нужны. Каждый автор преподносит читателю свое видение страны, у каждого свои цели и объекты исследования, свои проблемы, свои маршруты. И наконец, эти книги, взятые вместе, устраняют территориальные проблемы: Памир велик, и если один автор пишет в основном о нагорье Восточного Памира, другой рассказывает о западнопамирских долинах или о влажных северо-западных окраинах горной страны. Все это обеспечивает широкому читателю полноту представлений о «Крыше мира».

Но вернемся к рецензируемой книге. В подзаголовке к ней сказано: «Повесть о том, как среди «вечных» льдов Памира была найдена разгадка одного географического парадокса Средней Азии». Суть парадокса заключается в том, что сухость климата, пустынный характер ландшафтов Средней Азии не соответствуют полноводности ее рек. И действительно: осадков на равнинах Средней Азии выпадает мало, примерно 100—150 мм/год, в горах — иногда столько же, иногда меньше (70 мм/год), чаще — больше (400—1000 мм/год), но не настолько, чтобы обеспечить могучий сток среднеазиатских рек. Их полноводность поражала воображение не только путешественников древности, но и современных исследователей, располагавших материалами гидрометеорологической сети. К сожалению, эта сеть раскинута преимущественно на равнинах и в горных долинах, а склоны и водоразделы самих гор, за редким исключением, метеорологическими наблюдениями не охвачены. Рассчитанный по данным метеорологической сети слой осадков оказывался ниже слоя (модуля) речного стока. Баланс не сходился.

Поскольку максимум стока в среднеазиатских реках приходится на самое жаркое время года, очевидно, что рассчитанный «излишек» воды поступает в

реки с тающих ледников. Именно от них, следовательно, зависит поливное земледелие Средней Азии. Но в таком случае ледники должны непрерывно сокращаться. Наблюдения показывают, что сейчас они действительно сокращаются. Но так было не всегда: несколько десятилетий назад, судя по историческим материалам, снежность гор была значительно больше, а следовательно, площадь ледников должна была расти. Короче, наши знания о динамике горных ледников неполны. Отсюда — цель исследования, которому посвящена книга: изучение динамики ледников, условий их существования и сохранения не только по балансовым расчетам, но и непосредственно в высокогорьях экспедиционными методами.

Перед читателем — своего рода отчет о пятилетнем (1968—1973) исследовании в высокогорьях Памира. Здесь и постановка научной задачи, и выбор объектов исследования, и программа работ, их тактика, методика, результат. Но написан этот отчет как беллетристическое произведение, он отлично оформлен и читается с захватывающим интересом. Читатель видит Среднюю Азию глазами автора, совершает путешествие вместе с коллективом Памирской гляциологической экспедиции Института географии АН СССР, вместе с ним радуется находкам, сопереживает неудачи и трагедии. Типичный жанр научно-художественной литературы, такой популярный среди читателей и такой трудный для автора. Нелегко увлечься и в то же время точно донести до широкого читателя суть и логику научного исследования. В рецензируемой книге эта пропорция соблюдена удачно.

Автор посвящает свое произведение известному советскому гляциологу Григорию Александровичу Авсюку, «наставнику героев этой книги, воспитавшему в своих учениках не только любовь к льдам, но и любовь к людям». Книга не исчерпывается чисто гляциологическими проблемами. В ней встречается множество разных сведений, связывающих эпизоды рутинной полевой работы в целостное повествование. Среди них — факты из истории исследования горно-ледниковых центров Памира, этимология географических названий, рассказы о местном населении, его быте, языках, верованиях, характеристика среднеазиатских городов, горных дорог, истории разного рода научных дискуссий, сравнительное описание географических районов, атрибуты горных путешествий, характеры людей, мысли «на ходу» (например,

о необходимости создания ледниковых национальных парков), обилие «попутного» географического материала. При всем этом, как говорится, действует эффект присутствия, который усиливается благодаря прекрасным фотографиям, показывающим разнообразие ледников Памира и типичные моменты в работе экспедиции. Так научная книга превращается в научно-художественную. Следует заметить, что еще и не всякая научно-художественная книга сопровождается такими уместными эпиграфами, как эта.

Сам ход изучения динамики ледников изложен неторопливо: ведь исследование продолжалось пять лет, и читатель чувствует эти годы. Большой удачей надо признать постоянно просвечивающую сквозь текст логику исследования. Сначала первое знакомство с памирскими ледниками в натуре, новые факты, сопоставление разных морфологических типов ледников, соотношение снега и льда в горах, выяснение роли метелей и лавин в питании ледников, формулирование новых задач, поиски новой техники и методики. Затем — использование новых методов расчета вещественного баланса ледников, территориальное расширение объектов исследования, уточнение физики и гидродинамики ледников и — важнейший шаг к разгадке парадокса: на основе расчетов выясняется, что периферийные хребты Памира получают в год до 2500 мм осадков, т. е. значительно больше, чем можно было предположить по данным долинных метеостанций. Потом — территориальное расширение исследований, установление высоких сумм осадков и в Центральном Памире, в районе горно-ледникового узла (более 1500 мм/год). Наконец — выяснение особенностей циркуляции тропосферы и влагооборота над Восточным Памиром, расчет элементов питания ледников в этом районе, уточнение механизма распределения осадков в горной системе. И общий вывод: ледниковая зона Памира многоснежна, чем и объясняется многоводность рек Средней Азии. Эта многоснежность неодинакова в разных частях горной системы, что и послужило основанием для построения схемы гидро-гляциологического районирования территории Памиро-Алая.

Итак, результат сформулирован, парадокс разгадан, интуитивные предположения заменены цифрами, наши знания о природе Памира расширены. Но за этим — годы тяжелого труда, размышлений, поисков, множество опасностей, гибель

человека... Читатель видит, что работа географов — не синектура, она требует напряжения всех физических и духовных сил.

Оценивая книгу столь разностороннего содержания, не обойтись и без замечаний. Правда, их немного и касаются они деталей, досадных неточностей. Так, Марко Поло путешествовал не с отцом и братом (с. 19), а с отцом и дядей; жители Западного Памира были раньше не шиитами (с. 22), а исмаилитами; капитан генштаба Кузнецов не был первым начальником Памирского поста (с. 35), он был все-таки вторым, а первым — основатель поста полковник М. Е. Ионов; Усойское землетрясение случилось не 18 (с. 61), а 8 февраля 1911 г. Вероятно, перекомпоновка рукописи привела к тому, что по ходу маршрута экспедиция пересекла «последний перевал» Койтезек (с. 89), но далее

по тексту (с. 92) следует еще один перевал — Хабурбат. Странно, что путешественники заметили интересен только после спуска на юг с перевала Акбайтал (с. 89): ведь этот полукустарник составляет основу растительности и севернее перевала (Музкол, Каракуль). Вызывает сомнение и этимология некоторых географических названий.

Нетрудно заметить, что неточности касаются не гляциологии, а «попутного» материала, да, к счастью, их немного.

Всех нас радует великолепный список отечественных и переводных научно-художественных книг, выпущенных в свет за последние годы Гидрометеоиздатом. Книга В. М. Котлякова — это, несомненно; новый успех, с которым можно поздравить автора, издательство, а главное — читателя.

НОВЫЕ КНИГИ

Космические исследования

В. В. Верещетин. МЕЖДУНАРОДНОЕ СОТРУДНИЧЕСТВО В КОСМОСЕ (Правовые вопросы). М., «Наука», 1977, 264 с., ц. 1 р. 70 к.

В книге подробно проанализированы правовые основы международных космических программ СССР, США, стран Западной Европы и других государств, в том числе многостороннего сотрудничества социалистических стран по программе «Интеркосмос». Отражена также роль ООН и международных неправительственных организаций в разработке и осуществлении космических программ.

Особый интерес для читателей представляет вторая часть книги, посвященная сложным и малоизученным правовым проблемам международных прикладных космических программ, предназначенных для народнохозяйственных целей.

Космические исследования

ПИОНЕРЫ РАКЕТНОЙ ТЕХНИКИ. Гансвиндт, Годдард, Эсно-Пельтри, Оберт, Гаман. Избранные труды (1891—1939). М., «Наука», 1977, 632 с., ц. 4 р. 29 к.

Предлагаемый читателю сборник — третий из этого цикла: в первом и втором были помещены работы Н. И. Кибальчича, К. Э. Циолковского, Ф. А. Цандера и Ю. В. Глушко, С. П. Королева и М. К. Тихонравова. Избранные труды выдающихся отечественных ученых и конструкторов, опубликованные в этих сборниках, показали глубину и богатство идей пионеров ракетно-космической техники, внесших основополагающий вклад в развитие космонавтики.

Третий сборник содержит труды зарубежных ученых и конструкторов, достигших значительных результатов в области проектирования ракетных летательных аппара-

тов и ракетных двигательных установок. Работы этих ученых заслуживают самого пристального внимания.

Обстоятельная редакционная статья знакомит с основными фактами творческих биографий зарубежных ученых и конструкторов, труды которых опубликованы в сборнике.

Физика

Макс Борн. РАЗМЫШЛЕНИЯ И ВОСПОМИНАНИЯ ФИЗИКА. Сборник статей. Сер. «Популярные произведения классиков естествознания». М., «Наука», 1977, 280 с., ц. 95 к.

Макс Борн (1882—1970) — выдающийся физик-теоретик, один из создателей квантовой механики, лауреат Нобелевской премии, иностранный член Академии наук СССР. Он широко известен также как автор ряда научно-популяр-

ных книг. В предлагаемый читателю сборник включены статьи, многие из которых впервые публикуются на русском языке. Сборник состоит из двух разделов. В первый из них — «Физика и физики» — вошли воспоминания автора о его научной деятельности и о ряде ученых — его современников (Д. Гильберт, Дж. Томсон, П. Зеeman, М. Планк, Г. Минковский). Во втором разделе — «О некоторых проблемах физики» — напечатаны статьи по квантовой механике, теории относительности, термодинамике, а также статья «О моих работах», написанная М. Борном в качестве введения к одному из собраний его трудов. В книге помещены биография М. Борна, написанная Н. Кремером и Р. Шлаппом, а также список основных работ выдающегося немецкого ученого.

Физика

В. Вайскопф. ФИЗИКА В ДВАДЦАТОМ СТОЛЕТИИ. Пер. с англ. А. Г. Беды и А. В. Давыдова. М., Атомиздат, 1977, 272 с., ц. 1 р. 56 к.

«Наука не может развиваться, если она не преследует целей чистого знания и проникновения в законы природы. Она не будет существовать, если ее не использовать широко и мудро для блага человечества...», — в этих словах всемирно известного американского физика-теоретика В. Вайскопфа — его кредо ученого. Диапазон книги широк: от проблем квантовой теории до обсуждения роли и значения науки в жизни современного общества.

Открывает книгу автобиографическое вступление «Моя жизнь физика». Затем в ряде очерков автор рассматривает принципиальные вопросы современной физики, ее основные идеи и методы. Главное внимание уделено квантовой теории («Качество и количество в квантовой физике», «Квантовая лестница», «Нильс Бор», «Квант и Мир» и др.), последним достижениям в области физики («Составное

ядро», «Проблемы ядерной структуры», «Крушение четности» и др.). Заключает книгу серия публицистических очерков («Человек и природа», «Мария Кюри и современная наука», «Значение науки»).

Книга — образец научно-популярной литературы, самые сложные физические принципы изложены в ней общепонятным языком.

Физика

АТОМ СЛУЖИТ СОЦИАЛИЗМУ. Автор-составитель Е. С. Кнорре. М., Атомиздат, 1977, 254 с., ц. 6 р. 40 к.

Книга-альбом, посвященная 60-летию Великого Октября, наглядно, на огромном количестве иллюстративного материала, знакомит с основными вехами истории покорения атомного ядра советскими учеными, начиная от зарождения атомной науки в нашей стране и кончая последними достижениями по использованию атома в различных областях народного хозяйства и здравоохранении. Перед читателем пройдут имена тех, кто стоял у истоков атомной науки, кто открывал в нашей стране ядерную эру физики, решал урановую проблему, создавал атомные центры страны.

Завершает книгу рассказ о международном сотрудничестве в мирном использовании энергии атома.

Физика

В. Красноголов. ПОДРАЖАЮЩИЕ МОЛНИИ. М., «Знание», сер. «Жизнь замечательных идей», 1977, 192 с., ц. 36 к.

Книга рассказывает об истории изобретения и применения взрывчатых веществ. Секрет черного пороха был известен древним китайцам, византийцам, арабам. Зашифрованный рецепт черного пороха был обнаружен в трудах Р. Бэкона, относящихся к середине XIII в., а уже в 1382 г. москвичи от-

стреливались из пушек от полчищ хана Тохтамыша, штурмовавших Кремль. В XIX в. были получены новые взрывчатые вещества — пироксилин и нитроглицерин.

Интереснейшая глава книги посвящена гениальному изобретателю-одиночке А. Нобелю, открывшему динамит, гремучий студень, бездымный порох. В России бездымный порох был самостоятельно разработан Д. И. Менделеевым.

В XX в. потребление взрывчатых веществ достигло гигантских размеров. Но причиной тому были не только мировые войны. Для вскрытия месторождений советские инженеры проводили взрывы зарядов общим весом более 9000 т! 5000 т взрывчатки обрушили целую гору в районе урочища Медео: гигантская плотина спасает Алма-Ату от разрушительных селевых потоков. Самый крупный в мире взрыв 9320 т взрывчатых веществ позволил пробить среди гранитных скал в Средней Азии канал длиной 14 км и глубиной 12 м.

Даже ядерные взрывы могут служить людям. Подсчитано, что современный ядерный взрыв обходится примерно в 3000 раз дешевле по сравнению с соответствующим количеством тротила. В СССР взрыв ядерного подземного заряда по мощности равного 30 000 т тротила помог затушить огненный факел на одном из газовых месторождений. В США разработан проект строительства второго Панамского канала длиной 74 км и шириной 300 м. Стоимость его сравнительно невелика, так как прокладывать канал будут ядерные взрывы общей мощностью около 170 мегатонн.

Математика

Г. Рингель. ТЕОРЕМА О РАСКРАСКЕ КАРТ. Пер. с англ. В. Б. Алексеева. Под ред. Г. П. Гаврилова. М., «Мир», сер. «Современная математика», 1977, 256 с., ц. 79 к.

В 1890 г. английский математик П. Дж. Хивуд опубликовал теорему о раскраске

карт. Теорема просуществовала в качестве гипотезы около 80 лет, и лишь в 1968 г. была полностью доказана совместно немецким математиком Г. Рингелем и американским — Дж. У. Т. Янгсом (Подробнее об этом см.: Яглом И. М. Четырех красок достаточно. — «Природа», 1977, № 6). Встретившись затем весной 1970 г. в Математическом институте в Обервольфахте, они решили написать книгу, посвященную истории доказательства теоремы о раскраске карт, набросали план ее содержания. Однако книгу пришлось писать одному Рингелю, и она стала своеобразным памятником Янгсу, умершему летом 1970 г.

Г. Рингель, внесший большой вклад в решение задачи о раскраске карт, писал книгу так, чтобы она была доступна студентам. И это ему более чем удалось: «Каскад изящных методов, искрометность глубоких идей, — говорится в предисловии к переводу, — бесспорно очаруют каждого, кто окупнется в этот животворный родник, созданный кропотливым трудом и озаренный удивительными вспышками беспокойной исследовательской мысли». Специалист найдет здесь много усовершенствований по сравнению с существующей литературой на эту тему, широкий круг читателей познакомится с одной из проблем современной математики. В книгу включен т. же набор тренировочных задач.

Химия

К. Манолов, Д. Лазаров, И. Лиллов. У ХИМИИ СВОИ ЗАКОНЫ. Изд. 2-е, стереотип. Пер. с болг. Е. В. Смирновой под ред. Р. Б. Добротина. Л., «Химия», 1977, 376 с., ц. 98 к.

В этой популярной книге болгарских авторов собрано несколько рассказов, раскрывающих некоторые физико-химические явления и закономерности. В доходчивой форме излагаются вопросы теории растворов, строения атомов и химической связи, химической кинетики, учения о скорости химических реакций, тео-

рии катализа и адсорбции. Авторы сообщают интересные сведения о жизни и деятельности многих выдающихся ученых — химиков и физиков, приводятся хронологические данные важнейших событий из истории химии.

Биология

ЖИВОТНЫЕ И РАСТЕНИЯ ЗАЛИВА ПЕТРА ВЕЛИКОГО. Отв. ред. А. В. Жирмунский, зам. отв. ред. О. А. Скарлато, Л., «Наука», 1976, 363 с., ц. 3 р. 64 к.

Залив Петра Великого — одно из самых замечательных морских угодий Советского Союза. Берега его изрезаны бухтами, вдоль них рассыпаны острова и скалы. В заливе сталкиваются струи холодного Приморского и теплого Цусимского течений, зимой его воды покрываются льдом, а летом прогреваются до 25—26°.

Богатство и разнообразие фауны и флоры залива Петра Великого исключительно велики, в нем встречается свыше 1/4 всего числа видов животных Японского моря, хотя его площадь менее 1/20 этого водоема. В нем обитают холодноводные виды рыб, такие как навага, и тропические, например, спинорог, а иногда и летучая рыба. Залив имеет и большое практическое значение, в его водах развиты рыбный промысел и марикультура. Его живописные бухты привлекают местных жителей и приезжих.

Книга содержит описания около 500 видов животных и растений, населяющих прибрежные зоны залива. Описания составлены по единой схеме крупными специалистами академий наук СССР и УССР, университетов (МГУ, ЛГУ и др.), ТИНРО, написаны доступно для неспециалистов, иллюстрированы хорошими рисунками, черно-белыми и цветными фотографиями. Книга восполняет остро ощущавшуюся нужду в такой сводке, поможет ознакомлению с морскими животными и растениями, будет полезна всем интересующимся жизнью моря — школьникам и студентам, морякам и аква-

лангистам, рыбакам и исследователям.

Книга прекрасно оформлена и украсит собою библиотеки. Ее выпуск — большая заслуга, достижение Института биологии моря Дальневосточного центра Академии наук СССР.

Академик М. С. Гиляров

Биология

Дж. Финнеан, Р. Колман, Р. Митчелл. МЕМБРАНЫ И ИХ ФУНКЦИИ В КЛЕТКЕ. Пер. с англ. под ред. чл.-корр. АН СССР Л. Д. Бергельсона. М., «Мир», 1977, 199 с., ц. 72 к.

В течение последних десятилетий изучение биохимии и биофизики живых организмов выявило огромное значение особых структур клетки — мембран, участвующих практически во всех видах физиологической активности. Сведения о различных аспектах строения и функционирования мембран очень быстро накапливаются и публикуются во многих изданиях, относящихся к весьма отдаленным друг от друга областям биологии, химии, биофизики. Как отмечается в предисловии к русскому изданию, «на нынешнем этапе ощущается настоятельная необходимость в обзоре современных достижений, не отягощенном заблуждениями прошлого и перипетиями исторического развития». Авторам удалось решить эту задачу в емкой, достаточно популярной и вместе с тем строгой в научном плане книге. Дополнительное ее достоинство заключается в многочисленных оригинальных иллюстрациях и списках литературы после каждой из шести глав (преимущественно обзоры и монографии по 1973 г.).

Можно сказать, что эта книга — своеобразное резюме того главного, что сейчас известно о функциях и — в меньшей мере — о структуре биологических мембран. Поэтому она окажется чрезвычайно полезной для широкого круга биохимиков, биологов, химиков и врачей, причем как для исследователей, так и для преподавателей и студентов.

Биология

Г. Ф. Бромлей, Н. Г. Васильев, С. С. Харкевич, В. А. Нечаев. РАСТИТЕЛЬНЫЙ И ЖИВОТНЫЙ МИР УССУРИЙСКОГО ЗАПОВЕДНИКА. М., «Наука», 1977, 173 с., ц. 88 к.

Живописны и богаты леса юга Приморья, в отрогах Сихотэ-Алиня (горы Пржевальского), разнообразна и самобытна кустарниковая и травянистая растительность. Чтобы сохранить уникальную флору, здесь в 1932 г. по инициативе крупнейшего отечественного ботаника В. Л. Комарова (1869—1945) был создан ныне носящий его имя Уссурийский заповедник. На его площади в 40,5 тыс. га произрастает свыше 820 видов сосудистых растений. В заповеднике растет тыс остроконачный, особенно редкая, ценнейшая древесная порода дальневосточных лесов, занесенная в 1975 г. в «Красную Книгу». В кедровниках Уссурийского заповедника можно встретить 500—600-летних великанов кедра корейского, а отдельные его участки представляют собой настоящие дендропарки — на площади в полгектара можно насчитать до 50—60 видов деревьев и кустарников, 4—5 лиан и не менее сотни травянистых растений.

Рассчитанная на ботаников, лесоведов, зоологов, преподавателей ботаники и на широкий круг любителей природы, книга знакомит с физико-географическими условиями, растительными сообществами и многочисленным животным миром Уссурийского заповедника. В указателях приведены русские и латинские названия растений и животных.

Ботаника

А. К. Скворцов. ГЕРБАРИЙ. Пособие по методике и технике. М., «Наука», 1977, 199 с., ц. 1 р. 8 к.

Возникновение ботаники как науки датируют 1530—1540 годами. Именно тогда, в эпоху Возрождения, в Италии появились и первые бота-

нические сады, и первый гербарий, изобретение которого приписывают профессору из Болоньи Л. Гини (1460—1556). В России первые гербарные сборы были сделаны Петром I в Москве (1706) и его лейб-медиком П. Арескиным под Москвой (1709). Коллекция последнего сохранилась до наших дней.

Перед читателем проходят интересные страницы истории гербарного дела, имена тех, кто создавал отечественный гербарный фонд, без которого немислима работа ботаника, географа, эколога и многих других специалистов.

Книга А. К. Скворцова, основанная на его 30-летнем опыте работы с гербариями, знакомит с современным состоянием и перспективами развития гербарного дела и содержит общие методические установки для специалистов. Для студентов и любителей природы рассказано, как собирать, обрабатывать и оформлять гербарные образцы.

В качестве приложения освещен вопрос об использовании в гербариях счетно-вычислительной техники, даны употребительные в гербариях латинские пометки и сокращения, список важнейших отечественных и зарубежных гербариев и большой список литературы.

Геология

А. А. Никонов. ГОЛОЦЕНОВЫЕ И СОВРЕМЕННЫЕ ДВИЖЕНИЯ ЗЕМНОЙ КОРЫ. Геолого-геоморфологические и сейсмотектонические вопросы. М., «Наука», 1977, 240 с., ц. 2 р. 10 к.

Хотя первые специальные наблюдения и измерения относительного движения суши и моря относятся к XVIII—XIX вв., только в наше время изучение молодых движений поставлено на научную основу. В последние десятилетия в разных странах мира все большее внимание обращается на измерение и изучение движений земной коры и поверхности в самый молодой отрезок геоло-

гической истории продолжительностью около 10 тыс. лет (голоцен) и в настоящее время. Интерес к такому рода движениям особенно усилился в связи с осуществлением международного геодинамического проекта, исследованиями по прогнозу землетрясений и интенсивными инженерно-геологическими работами.

Представляя первое обобщение материалов по этой теме, книга характеризует современное состояние формирующегося направления исследований. Рассматриваются медленные (вековые) и быстрые (сейсмические), вертикальные и горизонтальные движения. Количественно характеризуются движения отдельно на платформах и в подвижных поясах. Большое внимание уделено движениям гляциоизостатической природы, сейсмотектоническим вопросам. Отдельно рассматриваются движения, вызванные человеческой деятельностью. Не оставлены без внимания вертикальные и горизонтальные движения в областях рифтогенеза и активного вулканизма.

Количественные оценки движения рассматриваются с точки зрения проблем современной геодинамики, а закономерности хода движений во времени и в пространстве — с точки зрения тектоники и оценки сейсмической опасности.

География

В. С. Моложавенко. ГРЕМУЧИЙ МАНЬЧ. М., «Мысль», 1977, 158 с.

Автор предлагает читателю совершить путешествие от Дона до Каспия. Если о Донских степях мы много слышали и знаем, то Манычская долина для большинства читателей малоизвестна. Менее часа требуется, чтобы самолет перенес нас из Ростова, Краснодар или Ставрополя в центральные районы Манычской долины и мы оказались в условиях сухих степей и полупустынь с «астраханским» вет-

ром и подвижными песками. В книге показана не только суровость природы Манычи, но и ее многообразие. Здесь и степь, одетая в пышный наряд чудесного разнотравья, и выжженная «астраханцем» голая полупустыня, и замечательный ковер из цветущих маков, тюльпанов, и блестящая на солнце, ослепительно белая поверхность соленых озер.

В книге говорится о богатстве животного мира Манычской долины. До наших дней здесь сохранились степной хорек, перевязка, каменная куница, колпица, стрелет, пеликан, лебедь, белая цапля, дрофа, огарь и другие животные. Автор освещает вопросы охраны фауны, ее целенаправленной реконструкции, в результате которой к настоящему времени на Маныче резко возросла численность некогда почти полностью исчезнувшего сайгака, появились лось, ондатра, енотовидная собака.

Богата история этого края. На протяжении многих столетий Манычская долина была столбовой дорогой для переселения народов. По ней двигались пастухи-киммерийцы, скифы, сарматы, готы, гунны, хазары, половцы, печенеги. Помнит седой Маныч татаро-монгольское нашествие, набег турок.

Автор говорит и о будущем Манычской долины, знакомит нас с грандиозными проектами ее дальнейшего преобразования.

В. А. Миноранский

География

Б. Н. Комиссаров. ПЕРВАЯ РУССКАЯ ЭКСПЕДИЦИЯ В БРАЗИЛИЮ. Л., «Наука», сер. «История науки и техники», 1977, 136 с., ц. 40.

В книге рассказывается о первой русской экспедиции в Бразилию 1821—1836 гг., которую возглавлял известный натуралист и этнограф Г. И. Лангсдорф (1774—1852). Впервые он посетил Бразилию в 1803 г. в составе экипажа И. Ф. Крузенштерна и Ю. Ф. Лисянского. В 1809 г. Георгий Иванович (так стали называть Георга

Генриха Лангсдорфа в России) переехал на постоянное жительство в Петербург, был избран экстраординарным академиком и вскоре назначен генеральным консулом в Рио-де-Жанейро. Решив посвятить себя изучению Бразилии — а в одиночку обследовать такую огромную страну было немыслимо, — Лангсдорф обратился к русскому правительству с предложением организовать большую научную экспедицию. Предложение было принято.

Несмотря на огромные трудности, экспедиции удалось обследовать горные области Серра-душ-Оргауш, Минес-Жерайс, Мату-Гроссу, проникнуть в такие районы, куда не добирались даже представители местных властей. Собранные во время экспедиции ценнейшие зоологические и ботанические коллекции, а также обширные сведения о коренном населении были доставлены в Петербург. К сожалению, им суждено было затеряться. Их обнаружили только спустя столетие — в 1930 г. Книга повествует о судьбе коллекции в наше время.

История науки

Л. В. Левшин. СЕРГЕЙ ИВАНОВИЧ ВАВИЛОВА. М., «Наука», Науч.-биограф. сер., 1977, 431 с., ц. 1 р. 65 к.

Имя Сергея Ивановича Вавилова (1891—1951) прочно вошло в историю отечественной и мировой науки. Его по праву считают одним из основателей советской физики. В лице С. И. Вавилова удивительным образом сочетались замечательный физик-оптик, выдающийся организатор советской науки, глубокий исследователь истории и философских проблем науки, популяризатор научного знания, крупный государственный и общественный деятель.

Автор книги последовательно рассказывает о становлении С. И. Вавилова как ученого, о его начальной педагогической и научно-организационной деятельности в пред-

военные годы. Отдельные главы посвящены анализу ряда областей его научных исследований (излучение Вавилова — Черенкова, теория концентрационных эффектов в растворах люминесцирующих соединений, работы по микроструктуре света и нелинейной оптике и др.). Подробно рассматриваются его деятельность на посту президента Академии наук СССР, работы ученого по истории науки и в области философских проблем естествознания.

В книге использованы многочисленные воспоминания современников и соратников С. И. Вавилова.

История науки

Б. М. Кедров. Д. И. МЕНДЕЛЕЕВ. ПРОГНОЗЫ В АТОМИСТИКЕ. I. Неизвестные элементы. М., 1977, 264 с., ц. 1 р. 25 к.

«К 100-летию открытия галлия — первого из предсказанных Менделеевым неизвестных элементов», — гласит посвящение к книге. Она — о роли научного предвидения, которым, как никто, обладал великий русский химик Д. И. Менделеев.

Открыв 17.II (1.III) 1869 г. периодический закон, Менделеев одновременно предсказывает существование четырех элементов с атомными весами 45, 68, 70 и 80. Шесть лет спустя французский химик Л. де Буабодран открывает новый химический элемент с атомным весом 68 и называет его галлий. Это было первое неоспоримое подтверждение правильности предсказания Менделеевым неизвестных элементов и их свойств, за которым последовала целая цепь открытий.

Многолетнее изучение менделеевского архива позволило автору установить многие неизвестные ранее детали научного творчества ученого, проследить его международные научные контакты.

Опыт научных прогнозов Менделеева представляет в

настоящее время особый интерес в связи с задачей планировать науку и управлять процессом ее развития.

История науки

Г. К. Церава. ГЕОРГ ВИЛЬГЕЛЬМ РИХМАН (1711—1753). Отв. ред. А. Т. Григорьян. Л., «Наука», Научно-биограф. сер., 1977, 160 с., ц. 59 к.

Г. В. Рихман родился в портовом городе Пернове (ныне Пярну), окончил Ревельскую гимназию, учился в Галльском и Йенском университетах и в 1735 г. был принят «студентом» в Петербургскую Академию наук, а в 1740 г. стал ее адъюнктом по физике. 11 из 42 им прожитых лет отдает он научным исследованиям, сочетая их с преподавательской деятельностью в университете, где кроме теоретической и экспериментальной физики читает курс математики (после отъезда Л. Эйлера). За эти 11 лет он создает 40 научных работ. 17 из них опубликованы при жизни, остальные впервые увидели свет в 1956 г.

Естествоиспытатель с широким кругозором и разносторонними интересами, много сделавший для того, чтобы «российскому государству пользу учинить», — таким предстает Г. В. Рихман со страниц книги, в которой его творческое наследие рассмотрено на общем фоне развития физики в XVIII в.

Автор проделал большую работу, собирая в архивах (АН СССР, Эстонской ССР, городских и университетских архивах Галле, Йены и др.) биографические сведения об основоположнике изучения электричества в России.

Философия естествознания

В. С. Тютин. ТЕОРИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ОПОЗНАВАНИЯ И ГНОСЕОЛОГИЯ. М., «Наука», 1976, 190 с., ц. 66 к.

Научное направление, получившее название «рас-

познавание образов», возникло около двадцати лет назад из разрозненных исследований, преследовавших узкие технические цели. К тому времени выяснилось, что методы, с помощью которых автоматы распознают печатные буквы и звуки речи, имеют между собой много общего. Затем методы распознавания стали применяться для диагностики заболеваний, обнаружения полезных ископаемых, выяснения причин миграции сельского населения в города, анализа аэрофотоснимков и т. д. Универсальность и эффективность методов распознавания объясняется тем, что они моделируют одну из основных функций человеческого мозга — обнаружение эмпирических закономерностей и их использование для предсказания новых фактов. В связи с этим в настоящее время ощущается настоятельная необходимость философского осмысления соотношения распознавания образов и других научных дисциплин.

Книга В. С. Тютина, в которой содержится оценка достигнутых результатов и обсуждаются перспективы дальнейшего развития методов распознавания, интересна и полезна с разных точек зрения. Она позволяет оценить гносеологический статус современной теории распознавания, увидеть еще более выпукло нерешенные теоретические проблемы. Интересны сравнения понятия «образ» в теории распознавания и гносеологии.

По ряду пунктов с автором можно было бы поспорить. Имеющиеся сейчас неясности в соотношении объективного и субъективного в понятии «образ» сохраняются, вероятно, у читателя и после прочтения книги. Кажется не совсем последовательной позиция автора по вопросу «гомогенности» и «гетерогенности» образов.

Профессор Н. Г. Загоруйко

М., «Мысль», 1977, 567 с., ц. 2 р. 29 к.

За последние пять лет выходит второе издание собрания сочинений великого английского философа-материалиста Ф. Бэкона (1561—1626). Его называют последним мыслителем эпохи Возрождения и одним из зачинателей философии нового времени. Бэкон первым поставил задачу разработки научного метода на основе материалистического понимания природы и опытного естествознания. Им была задумана грандиозная универсальная реформа человеческого знания с помощью опытного метода исследований и открытий — «Великое Восстановление Наук», которая была частично реализована в ряде работ философа.

В первый том вошли план «Великого Восстановления Наук» и наиболее обширное и систематическое из философских произведений Бэкона сочинение «О достоинстве и приумножении наук», представляющее первую часть его грандиозного замысла. В этом сочинении он пропагандирует научное знание, разрабатывает классификацию наук того времени и их методологию, критикует суеверие и схоластический способ мышления, намечает перспективы и пути дальнейшего развития человеческого знания.

Философия естествознания

Фрэнсис Бэкон. СОЧИНЕНИЯ В ДВУХ ТОМАХ. 2-е испр. и доп. изд. Т. I. Сост., общ. ред. и вступ. статья А. Л. Субботина.

«Кто сам себе быть может господином...»

С. Д. Политыко
Москва

Доктор Филипп Ауреол Теофраст Бомбаст фон Гогенгейм прибыл в Вильну в 1520... г. И здесь, как бы ни хотелось назвать точную дату, приходится ставить многоточие. Хотя это многоточие и охватывает не все 20-е годы, а лишь их первую половину (поскольку доктор Теофраст до 1520 г. находился в Скандинавии, где служил лекарем в армии датчан, воевавших против шведов, а в 1525 г. уже был в Италии), все же дата прибытия его в Литву остается весьма приблизительной. За эти пять лет он посетил, кроме Великого княжества Литовского, Польшу, Пруссию, Венгрию, Валахию, Хорватию. Молва приписывает ему также поездку в Московию и Турцию. Доктор Теофраст не оставил потомкам мемуаров, а в своих научных трудах лишь называет страны и земли, где довелось ему быть, причем называет каждый раз в новом порядке, поэтому маршрут его странствий вряд ли можно точно установить.

В это время ему было около тридцати лет, и ученый мир его еще не знал: не знал ни под его настоящим именем, ни под несколько нарочитым академическим псевдонимом Парацельс, означающим «наравне с Цельсом» — знаменитым римским врачом. И тем не менее никому не известный молодой врач осмеливался везде, где бывал, вызывать на диспуты местных светил медицины и в спорах с ними отстаивать свои удивительные и даже кощунственные, с точки зрения приверженцев Галена и Авиценны, взгляды.



Парацельс [1493—1541].

Парацельс требовал решительного обновления гуморальной медицины, которая более тысячи лет была единственной в Европе. Представлялось, что человеческий организм содержит 4 вида жидкостей: желтую и черную желчь, слезы и кровь. Количественное соотношение этих жидкостей и определяет состояние здоровья человека. Каждая из них имеет свое особое свойство. Желтая желчь — это сухое тепло, черная, образующаяся в печени, — холодная сухость; обе они регулируют психические состояния, слезы — холодная

влажность — физическую силу, а кровь — влажная теплота — носитель духовных субстанций. Врачи считали главным для человека привести эти жидкости в равновесие с помощью любых лекарственных средств из растительного мира природы. Однако фармацевтика находилась в том же состоянии, что и во времена Авиценны. Потому главными способами врачевания были слабительные и кровопускания.

Корпорация врачей была очень замкнутой. Обучение затруднялось зубрежкой на латыни «отцов медицины». Догматическое следование древним канонам считалось обязательным во врачебном мире, причем каноны Галена и Авиценны толковались на протяжении веков схоластически, подобно священному писанию. «За евангелие принималось то, что никак ему подобным быть не может», — писал впоследствии Парацельс о том безоговорочном почитании, которым пользовались уже утратившие свою практическую ценность труды. Сам он не слишком почитал авторитеты: «Пусть не ищет себе господина в другом тот, кто сам себе быть может господином», — это его собственные слова, которыми он обычно подписывал свои портреты. Парацельс провозглашал новую медицину — «спаргическую» (от греч. *σπαρμι* — извлекаю, *αἰερίω* — собираю), основанную на применении лекарственных препаратов, созданных химическим путем, ратовал за использование опыта народной медицины (именно стремление изучить народную медицину и толкнуло Парацельса объехать почти всю Европу), за лечение ран с помощью чистых повязок. Он проявлял интерес к психологии больного, стремился демократизировать врачебное дело, вести преподавание медицины



Франциск Скорины [1491—1551]. Автопортрет. Гравюра на дереве. 1517 г. [Из изданной им книги «Иисус Сиразов».] На скатерти изображен герб Ф. Скорины: солнце и луна — символ победы света над тьмой.

не на латыни, а на живых языках: вскоре, получив кафедру в Базеле, Парацельс читал свои лекции по-немецки.

Нельзя сказать, чтобы молодому реформатору сопутствовал повсюду успех. От-

нюдь нет. Судьба не баловала Парацельса, и годы его первых странствий — не исключение. Рассказывают, что он вообще был слабым диспутантом: «Нервничал, горячился — все это шло на руку его противникам. Впрочем, сам Парацельс и не считал умение диспутировать необходимым: «Не титул, не ораторское искусство, не чтение книг создают врача, но единственно знание вещей и сил природы». Однако его не выручал и богатейший опыт практического врача, а возможно, именно опыт и мешал: ему ведь не раз приходилось оспаривать средства, с по-

мощью которых тогдашние эскулапы отправляли на тот свет тысячи несчастных своих пациентов; немногие выдерживали многочисленные обильные кровопускания или горячие «бальзамы» на открытые раны.

Неудача постигла молодого Парацельса и в Вильне, впоследствии он писал, что здесь над ним одержали «победу с триумфом». Поражение Парацельса в Вильне достаточно интересно уже само по себе: здешние медики были в большей степени свободны от религиозных предрассудков, чем их коллеги в Польше и Пруссии, где Парацельс тоже был побежден и откуда тоже был изгнан. Литва была относительно веротерпимой: здесь жили и католики, и православные. Можно вспомнить, что врач Стефана Батория итальянец Пьетро Симони вообще считался атеистом, что все же не помешало его профессиональной деятельности. Вряд ли причиной неудачи Парацельса послужили преследовавшие его потом в течение едва ли не всей жизни обвинения в безбожии, связи с нечистой силой, ереси, чернокнижии и т. д. И все же причин — даже при относительной свободе — для поражения его было достаточно. Например, Парацельс отодвигал на второй план метод прослушивания и простукивания больного, основываясь в диагностике главным образом на выделениях тела, что служило поводом для многочисленных насмешек. Так, в листовке, изданной в Базеле с сатирическим стишком против него, он назван не Теофрастом (богоречивым), а «Какофрастом» (злоречивым)...

Кто же были оппоненты Парацельса? Протокола диспута, если он и велся, не сохранилось, и достоверно назвать их имена нельзя. И все же мы позволим себе одну догадку, не претендуя, разумеется, на открытие (ее высказывал историк белорусской культуры В. П. Грицкевич¹).

¹ Грицкевич В. П. Место Белоруссии и Литвы в распространении естественнонаучных зна-



Средневековая аптека. Гравюра на дереве. 1497 г.

В это время в Вильне находился выдающийся просветитель и гуманист, основоположник восточнославянского книгопечатания доктор медицины Франциск Скорина. Виленский период не был плодотворен в его издательской деятельности, и многие исследователи полагают, что в Вильне Скорина имел большую врачебную практику. Книгоиздание вряд ли было для него доходным предприятием: известно, что он постоянно нуждался в деньгах. В середине 1520-х годов Скорина принял должность личного врача виленского епископа: маловероятно, чтобы такое предложение получил врач, не имевший до той поры широкой и удачной практики. В изданных им книгах Скорина постоянно отмечает свой титул «в лекарских науках доктора», отмечает с за-



Врач с помощником у постели больного. Гравюра на дереве. 1497 г.

конной гордостью: ведь он был одним из первых восточных славян, получивших эту ученую степень. Таким образом, профессиональный интерес должен был привести его на диспут. Кроме того, следует вспомнить, что Скорина получил степень доктора в Падуе, Парацельс же — в Ферраре, а эти итальянские университеты традиционно связаны соперничеством. Но даже если оба доктора и не встретились — ведь сведения о жизни Скорины весьма скудны, — тем не менее можно почти безошибочно утверждать, что сам факт приезда Парацельса и диспута был Скорине известен.

Как повлияло или как могло повлиять это на него?

В 1525 г. Скорина напечатал в Вильне «Апостола», свою последнюю книгу, а затем, уладив коммерческие дела умершего брата (сохранилось несколько торговых грамот, на основании которых долгое время считали, что Скорина оставил книгопечатание ради коммерции), он посвятил себя медицинской и естествоиспытательской деятельности и к книгоизданию не возвращался. Документированных объяснений этому историки не дают. И тем не менее в этом повороте судьбы Франциска Скорины нель-

зя не видеть влияния эпохи: ранняя Реформация представляла широкое поле для практической деятельности, способствовала установлению научного логического эмпиризма и, выдвигая новую догматику, ломала догматику старую — авторитет католической церкви и теократического государства. Скорина, ставивший целью своей издательской деятельности просвещение — «доброе научение людей посполитых» (простых), мог в связи с этим прийти к выводу о недостаточности просветительства и необходимости конкретной научной, исследовательской деятельности. Прогресс же медицины во второй четверти XVI в. связан, прежде всего, с именем Парацельса, чья известность уже через несколько лет после виленского диспута стала европейской: ему благоволил Эразм, быстро росла его слава удачливого врача, алхимика, едва ли не открывшего философский камень. «Теория врача — опыт. Никто не может стать врачом без науки и опыта», — учил Парацельс. Если принять во внимание время, то встреча (пусть

ний в XVI в. — В кн.: Культурные связи народов Восточной Европы. Проблемы взаимоотношений Польши, России, Украины, Белоруссии и Литвы в эпоху Возрождения. М., 1976, с. 243.



Диспут. Гравюра Ф. Скорины на дереве. 1517 г. [Из книги «Иисус Сирахов».] Свои книги Скорина обычно подписывал так: «Божьей помощью сполна переведена и отпечатана повелением и тщанием ученого мужа в ледкарских науках доктора Франциска Скорины».

и заочная) Скорины с Парацельсом перерастает обычный интерес исторического совпадения, становясь своеобразным символом эпохи. Ведь сам спор велся на совершенно новых основаниях — не на бесконечном перетолковывании

догматов, а на введении принципиально нового — опытного — подхода к медицине. Больше того, по-видимому, этот спор повлиял на формирование Франциска Скорины как ученого, одного из тех, с кем мы теперь связываем рождение

научной методологии. Да в свое время поражение Парацельс потерпел, возможно, именно от Скорины, который тоже во всем старался быть сам себе господином.

Любопытно еще одно совпадение. В конце 1530-х годов Парацельс едет из Бреслау (Вроцлава) в Вену. Путь лежит через Прагу, где живет и трудится в основанном им старейшем (втором в Европе) ботаническом саду доктор Франциск Скорина. Так, возможно, еще раз пересекся жизненный путь великого просветителя с путем великого реформатора медицины Теофраста Парацельса, одного из прообразов бессмертного Фауста.

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, Мароновский
пер., 26.
Тел. 237-50-30, 237-22-97.

Подписано к печати 10.11.1978 г.
Т—03843
Формат бумаги 70×100 1/16
Бум. л. 5
Уч.-изд. л. 17,2 Усл.-печ. л. 13,0
Тираж 85 000 экз. Зак. 3119

Чеховский — полиграфический
комбинат Союзполиграфпрома
при Государственном комитете
Совета Министров СССР
по делам издательств,
полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов, Московской области.



В следующем номере

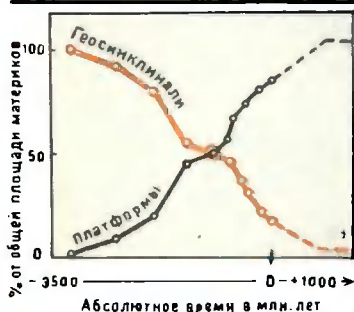
В 1912—1928 гг. космическими лучами занимались единицы, в наше время это предмет усилий многих тысяч физиков, астрономов, инженеров. Скорее нужно не удивляться тому, что проблема происхождения космических лучей пестрит еще «белыми пятнами», а поражаться достигнутым успехам.

В. Л. Гинзбург, И. В. Дорман. Природа и происхождение космических лучей (история и современность).



Начавшийся в начале 50-х годов второй этап многочисленных открытий новых форм бактерий продолжается и в настоящее время. Эти поиски открывают нам виды с неизвестной физиологией, которые, возможно, будут иметь большое практическое значение.

А. А. Имшенецкий. Новые формы микроорганизмов.



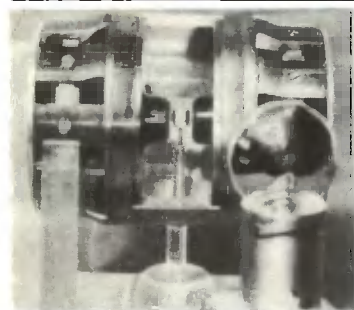
Жизнь на Земле и других планетах возможна лишь до тех пор, пока эти планеты активны и происходит обмен энергией и веществом между их недрами и поверхностью. С энергетической смертью планет неизбежно должна прекратиться и жизнь.

А. Б. Ронов. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли.



В Радиоастрономическом институте им. М. Планка (Эффельсберг, ФРГ) с помощью крупнейшего в мире 100-метрового параболического радиотелескопа получены низкочастотные карты многих галактик.

Р. Вилебинский. Радиоастрономические исследования галактик.



Луч света вращает маховик, прямое превращение световой энергии в механическую — возможно ли это? Да, возможно. Об опыте, реализующем эту идею, будет рассказано в статье, посвященной фотозлектромагнитному эффекту, открытому советскими физиками И. К. Кикоиным и М. М. Носковым.

С. Д. Лазарев. Эффект Кикоина — Носкова.



Цена 50 коп.
Индекс 70707