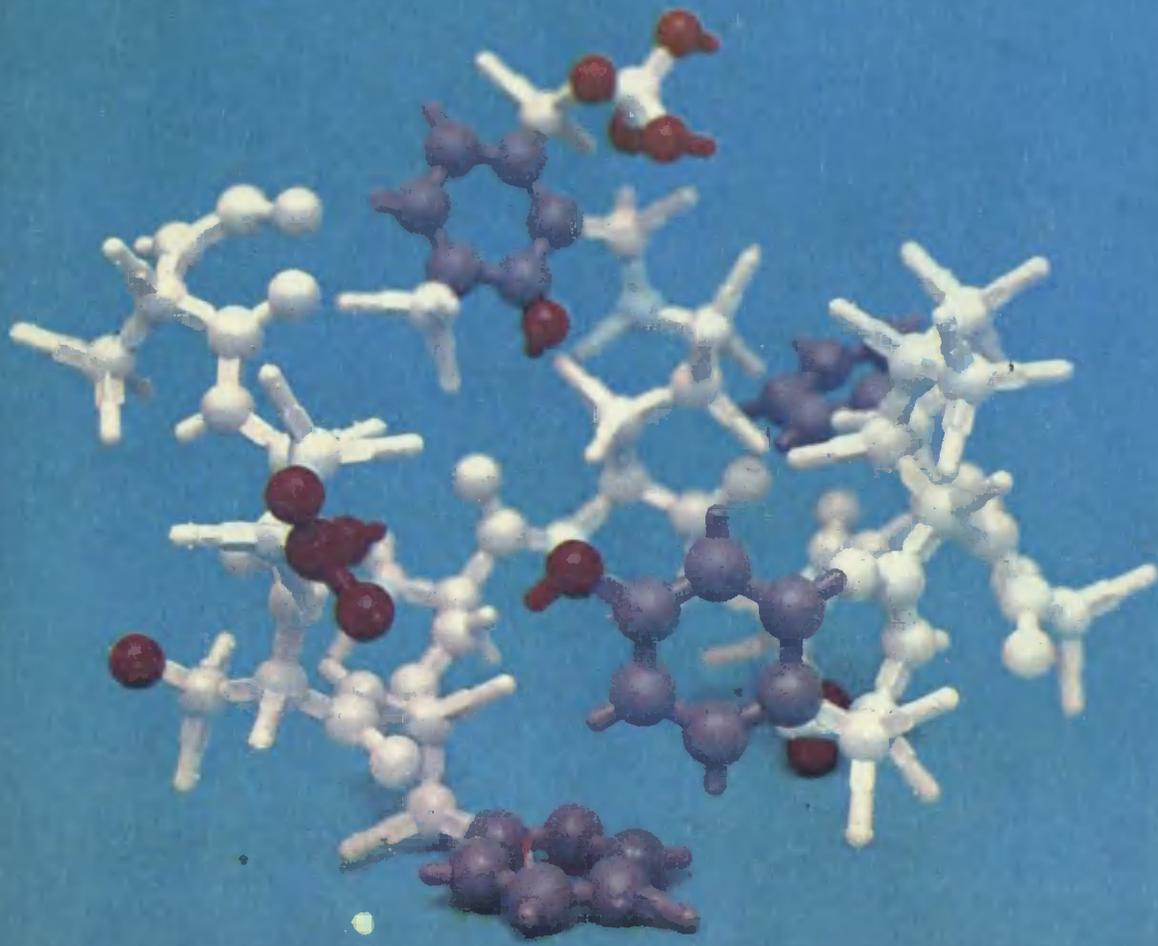


9 1978

# ПРИРОДА



Ежемесячный  
популярный  
естественнонаучный  
журнал  
Академии наук СССР



Основан в 1912 году

## РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор  
академик  
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук  
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук  
А. Г. БАННИКОВ

Академик  
Д. К. БЕЛЯЕВ

Академик  
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

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.** Фрагмент структуры фермента аспартат-амино-трансферазы в окрестности активного центра. Представлена произвольная укладка аминокислотных остатков, последовательность которых точно установлена. См. заметку В. В. Борисова «Исследуется структура аспартат-амино-трансферазы».

Фото В. Н. Машатина.

**На четвертой странице обложки.** Эдельвейсы на высоте 4 тыс. м. См. статью Л. Н. Добровольского, Г. Л. Мякишева, Ю. М. Широкова «Комплексная высокогорная экспедиция МГУ».

Фото Л. Н. Добровольского.

Редакция рукописей не возвращает.

© Издательство «Наука»,  
«Природа», 1978 г.

## В НОМЕРЕ

## ЛЕВ НИКОЛАЕВИЧ ТОЛСТОЙ

К 150-летию со дня рождения	3
<b>А. В. Кольцов</b> Л. Н. Толстой и Академия наук	4
О Толстом Из неизданного. Публикация С. Д. Политыко	7
<b>Р. Б. Добротин, Н. Г. Карпило</b> Д. И. Менделеев о Л. Н. Толстом	11

**С. А. Ахманов**

Нелинейная оптика: новые результаты и проблемы 15

**Э. С. Воронин, В. С. Соломатин, В. В. Шувалов**

Новый метод регистрации инфракрасного излучения 26

**О. В. Руденко**

Акустика интенсивных возмущений: нелинейные волны, физические эффекты и приложения 34

**Л. Б. Рубин, В. З. Пащенко**

Пикосекундная спектроскопия первичных процессов фотосинтеза 44

**Ю. А. Ильинский**

Проблема гамма-лазера 49

**В. В. Фадеев**

Лазеры в океанологии 54

**Бл. Сендов**

«Ученый должен быть организатором непременно» 60

**Л. Н. Добровольский, Г. Л. Мякишев, Ю. М. Широков**

Комплексная высокогорная экспедиция МГУ 65

**М. Б. Дюргеров, Н. А. Урумбаев**

Гляциология высочайших ледников Памира 72

## КРАСНАЯ КНИГА

**АМУРСКИЙ ГОРАЛ**

**В. В. Глебов, В. И. Животченко, Д. А. Нестеров**  
Современное состояние популяции амурского горала 80

**И. В. Волошина, А. И. Мысленков**

Поведение горалов 85

**Н. В. Соломкина**

Опыт вольерного содержания горалов 90

**Л. В. Таусон**

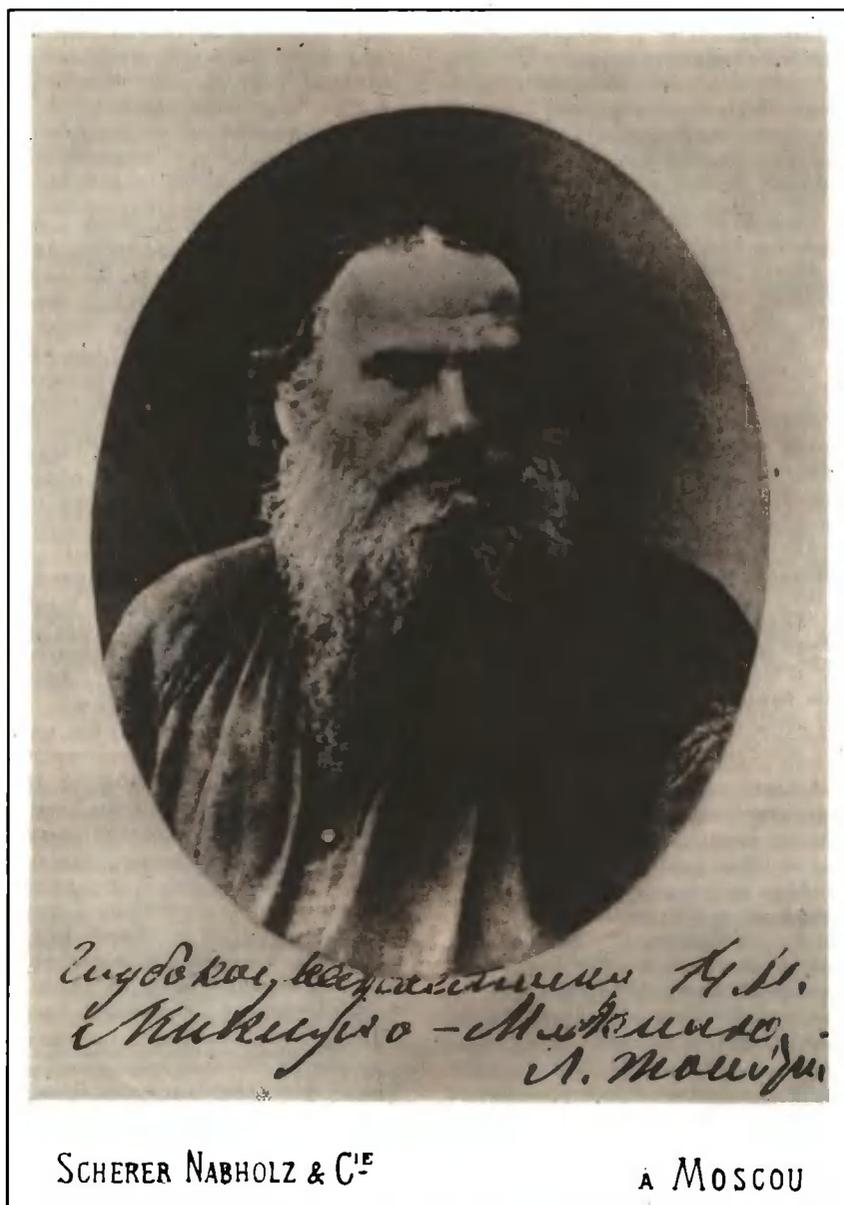
Граниты — источники руд 93

**Е. А. Колотилов**

Протозвездная эволюция 102

	<b>Г. В. Быков</b> Новые материалы к биографии А. М. Бутлерова К 150-летию со дня рождения	<b>110</b>
	<b>Л. П. Винник</b> Глубинная сейсмичность континентов	<b>121</b>
<b>НОВОСТИ НАУКИ</b>	Новый метод диагностики плазмы (130) — Пере- страиваемые лазеры в физике полупроводников (130) — Поиски свободных кварков продолжают- ся (131) — Очистка биологических растворов в ядер- ных фильтрах (132) — IUE — спутник для исследо- ваний ультрафиолетового излучения (133) — Мик- рооползень на Марсе (133) — Рентгеновские источ- ники в шаровых звездных скоплениях (134) — Раз- рушение пород на Венере (134) — Геминивирусы — новый тип растительных вирусов (136) — Один ген - один белок — пять ферментов (136) — Исследуется структура аспарат-аминотрансферазы (136) — Ли- зоцим участвует в минерализации костной ткани (137) — Водяной гиацинт — бедствие или польза? (138) — Охрана рек в США (139) — Сарматский це- лестин запада Туранской плиты (139) — Оледене- ние на шельфе Баренцева моря в плиоцене (141) — Тектоника Средиземноморского пояса (141) — Арк- тический ледник 20 тысяч лет назад (142) — Про- дукты извержения вулкана Толбачик (143) — Метео- рологические и океанологические исследования в тропиках (143) — Кольцеобразные течения в океа- не (144) — Радиотелескопы исследуют состав мезо- сферы (144) — Почему погибла цивилизация мочи- ка? (145) — Премия за научный обзор (146).	<b>130</b>
<b>РЕЦЕНЗИИ</b>	<b>С. А. Кордюкова, Н. Б. Лаврова</b> Биографические словари у нас есть	<b>147</b>
	<b>Д. В. Лебедев</b> «Кладезь генетической премудрости»	<b>151</b>
<b>НОВЫЕ КНИГИ</b>	Дж. Хей. Радиовселенная (154) — А. С. Компанец. Симметрия в микро- и макромире (154) — Р. Ле- вонтин. Генетические основы эволюции (154) — Н. А. Флоренсов. Очерки структурной геоморфо- логии (154) — В. П. Петров. Рассказы о трех необыч- ных минералах (154) — С. Картер. Королевство при- ливов (155) — А. Ф. Трешников. Их именами назва- ны корабли науки (155) — А. Г. Чикишев. Карст рус- ской равнины (155) — И. М. Забелин. Физическая география в современном естествознании (155) — В. Е. Ларичев. Поиски предков Адама (156) — М. Стингл. Тайны индейских пирамид (156) — Н. А. Григорян. Николай Осипович Ковалевский (1840—1891) — (156) — В. А. Лось. Человек и при- рода. Социально-философские аспекты экологи- ческих проблем (156) — М. Т. Кочарян. Поль Гольбах (156).	
<b>В КОНЦЕ НОМЕРА</b>	<b>В. В. Канер, В. А. Миляев</b> К истории не... оптики	<b>157</b>

**ЛЕВ НИКОЛАЕВИЧ ТОЛСТОЙ**  
28 августа (9 сентября) 1828 г.— 7 (20) ноября 1910 г.



Эта фотография Л. Н. Толстого с дарственной надписью Н. Н. Миклухо-Маклаю хранится у внука ученого Роба Маклая в Сиднее. Копия снимка с этой подписью публикуется впервые.

## Л. Н. Толстой и Академия наук

**А. В. Кольцов**  
**Доктор исторических наук**

Ленинград

Имя великого русского писателя Льва Николаевича Толстого всегда пользовалось огромным авторитетом и уважением среди ученых Академии наук. Как свидетельствуют документы, академики внимательно следили за творчеством Толстого, высоко оценивали его произведения.

12 января 1873 г. академик И. И. Срезневский<sup>1</sup> докладывал на заседании Отделения русского языка и словесности о выходе ряда книг — «замечательных явлений современной литературы». Перечисляя эти книги, ученый в первую очередь назвал «Азбуку» Толстого<sup>2</sup>, опубликованную в 1872 г. 1 февраля 1874 г. ученый сообщил Отделению, что «из числа книг, вышедших в последнее время, достойны особенного внимания: Сочинения графа Л. Н. Толстого, 3-е издание, в 8 томах — в этом издании помещены не только все повести и рассказы писателя, но и его педагогические статьи и другие рассуждения»<sup>3</sup>.

Признанием выдающихся заслуг Толстого перед русской литературой стало избрание его членом-корреспондентом Академии наук. Это избрание состоялось 7 декабря 1873 г. на заседании Отделения русского языка и словесности. Протокол об избрании подписали академики А. Ф. Бычков, Я. К. Грот, А. В. Никитенко, И. И. Срезневский и М. И. Сухомлинов. В тот же день об избрании Толстого было доведено до сведения Общего собрания Академии наук.

О том, как Толстой реагировал на избрание членом-корреспондентом Академии, можно судить на основании его писем Н. Н. Страхову и К. С. Веселовскому.

6 марта 1874 г. Толстой писал Страхову: «Получил я с месяц тому назад диплом из Академии наук на избрание меня членом. Признаюсь, что это польстило мне, несмотря на то, что Пушкин не был членом, а Пыпин — член<sup>4</sup>. Надо, кажется, написать благодарность и послать сочинения, тем более, что я вижу по Запискам А[кадемии] и Bulletins, «которые» мне присылают, что это делают. Будьте так добры, напишите мне черновое такое письмо, если это нужно; а то я не знаю»<sup>5</sup>.

11 апреля 1874 г. Толстой направил письмо непременно секретарю Академии наук академику К. С. Веселовскому: «Милостивый государь, Константин Степанович! Я получил от Вас извещение об избрании меня в члены-корреспонденты Академии наук и диплом на это звание. Прошу покорно передать высокоуважаемому собранию, удостоившему меня этой чести, мою глубокую признательность. Примите, милостивый государь, уверение в совершенном почтении и преданности.

Граф Лев Толстой»<sup>6</sup>.

Как известно, в декабре 1899 г., в связи с 100-й годовщиной со дня рождения А. С. Пушкина, Академия наук учредила

<sup>1</sup> И. И. Срезневский (1812—1880), русский славист, филолог и этнограф, с 1851 г. академик Петербургской Академии наук.

<sup>2</sup> Протокол заседания Отделения русского языка и словесности имп. Академии наук от 12 января 1873 г. — Архив Академии наук (ААН), ф. 1, оп. 1—1873, ед. хр. 156.

<sup>3</sup> «Вестн. АН СССР», 1960, № 10, с. 89.

<sup>4</sup> Как известно, А. С. Пушкин в 1833 г. был избран членом Российской Академии. Основанная в 1783 г. для изучения русского языка Российская Академия в 1841 г. вошла в состав Академии наук. А. Н. Пыпин (1833—1904) — историк литературы, славист и фольклорист ошибочно назван Толстым членом Академии. Он был избран членом-корреспондентом только в 1891 г., академиком в 1898 г.

<sup>5</sup> Толстой Л. Н. Полн. собр. соч. Юбилейное издание. Серия третья. Письма, т. 62, М., 1953, с. 71.

<sup>6</sup> Там же, с. 80.

при отделении русского языка и словесности Разряд изящной словесности. Наряду с действительными членами в его состав избирались почетные академики из числа писателей и литературных критиков.

8 января 1900 г. состоялись первые выборы почетных академиков по Разряду изящной словесности. Почетными академиками были избраны Л. Н. Толстой, А. П. Чехов, В. Г. Короленко, А. Ф. Кони, А. М. Жемчужников, А. А. Голенищев-Кутузов и В. С. Соловьев. Как писал впоследствии почетный академик К. К. Арсеньев, «чрезвычайно знаменательно было избрание Л. Н. Толстого, уже тогда опального, хотя еще формально не отлученного от церкви»<sup>7</sup>.

В связи с избранием Л. Н. Толстого 24 апреля 1900 г. председательствующий в Отделении русского языка и словесности академик М. И. Сухомлинов направил ему письмо с просьбой уведомить Академию наук о получении диплома почетного академика и списка академических изданий, а также сообщить соображения о желательных кандидатах в почетные академики по Разряду изящной словесности.

Отвечая М. И. Сухомлинову, Л. Н. Толстой писал 2 мая 1900 г.: «Милостивый государь, диплом и список книг мною получены. Благодарю вас за присылку их. Писатель, которого я предложил бы к избранию в почетные члены,— это художник и критик П. Д. Боборыкин. Если это можно, то я повторю это предложение 6 раз.

С совершенным почтением и преданностью, имею честь быть ваш покорный слуга Лев Толстой»<sup>8</sup>.

Высоко оценивая творчество Толстого, Академия наук выдвинула его кандидатуру на Нобелевскую премию.

19 декабря 1905 г. на заседании Разряда изящной словесности обсуждалась Записка почетного академика К. К. Арсеньева с обоснованием этого предложения. В Записке отмечалось, что Л. Н. Толстой — «несравненный мастер слова, остающийся художником и в своих философских и публицистических трудах и всюду

вносящий стремление к высоким идеалам»<sup>9</sup>. Автор Записки особо выделил опубликованное в 1905 г. произведение Л. Н. Толстого «Великий грех», назвав его жемчужиной «в сокровищнице, созданной Толстым». В заключение Записки говорилось: «Всегда и везде, начиная с «Детства», «Отрочества», военных рассказов и до «Воскресения», великий писатель заставлял звучать лучшие струны человеческого сердца. Присуждение ему Нобелевской премии было бы только новым признанием выдающегося места, занимаемого им во всемирной литературе»<sup>10</sup>.

7 января 1906 г. Кони представил Разряду изящной словесности новый, более обширный вариант Записки о творчестве Л. Н. Толстого.

«Соединяя глубину пронизательного наблюдения с высоким даром художественного творчества, граф Толстой создал в своих многочисленных произведениях ряд незабываемых типических образов,— указывалось в Записке.— Будучи вполне национальным писателем по мастерскому умению освещать бытовые явления народной жизни, давая понимать ее внутренний смысл и значение, он в то же время всегда был вдумчивым исследователем человеческой души вообще, независимо от условий места и времени. Его сочинения представляют собою целые эпопеи, в которых индивидуальная жизнь его героев сплетается с жизнью и движением массы»<sup>11</sup>.

Среди выдающихся творений Толстого в Записке были названы «Война и мир», «Воскресение», «Севастопольские рассказы» и «Великий грех». Авторы Записки охарактеризовали роман «Война и мир» как «удивительное по замыслу и выполнению» произведение. Они сравнивали творчество Толстого с творчеством Данте и Сервантеса. «Толстой в своей литературной деятельности,— отмечалось в Записке,— подобно двум великим мировым писателям — Данту и Сервантесу — является выразителем своего духа, разлитого по всем его произведениям и отражающего нравственный склад и облик писателя во внутреннем смысле создаваемых им образов»<sup>12</sup>.

Записка получила одобрение Разряда изящной словесности. 19 января 1906 г.

<sup>7</sup> ААН, ф. 9, оп. 5, ед. хр. 2, л. 124.

<sup>8</sup> Толстой Л. Н. Полн. собр. соч., т. 72. М.—Л., 1933, с. 350.

Академия наук поддержала предложение Л. Н. Толстого, и в декабре 1900 г. П. Д. Боборыкин был избран почетным академиком. См.: Академия наук СССР. Персональный состав, кн. 1, 1724—1917, М., 1974, с. 235.

<sup>9</sup> ААН, ф. 9, оп. 5, ед. хр. 11, л. 10.

<sup>10</sup> Там же, л. 11.

<sup>11</sup> Там же, ед. хр. 1, л. 21.

<sup>12</sup> Там же, л. 22.

она вместе с экземпляром сочинения Л. Н. Толстого «Великий грех» была направлена в Стокгольмскую академию наук<sup>13</sup>, о чем и сообщается в «Отчете» о деятельности Отделения русского языка и словесности за 1906 г.

Сам Толстой отрицательно отнесся к предложению о присуждении ему Нобелевской премии. 25 сентября 1906 г. он направил финскому писателю А. А. Эрнефельту (1861—1933) письмо следующего содержания:

«Большая к вам просьба, милый Арвид. Прежде всего то, чтобы никто не знал того, что я пишу Вам,— Просьба вот в чем: Бирюков<sup>14</sup> сказал мне, что, по словам Кони, может случиться, что премию Нобеля присудят мне. Если бы это случилось, мне было бы очень неприятно отказываться, и поэтому я очень прошу вас, если у вас есть,— как я думаю — какие-либо связи в Швеции, постараться сделать так, чтобы мне не присуждали этой премии. Может быть, вы знаете кого-либо из членов, может быть, можете написать председателю, прося его не разглашать этого, чтобы этого не делали. Конечно, я бы сам мог, узнав его адрес, написать председателю с просьбой держать это в секрете, но мне неудобно вперед отказываться от того, чего, может быть, они и не думают назначать мне. От этого очень прошу вас сделать, что вы можете, к тому, чтобы они не назначали мне премии и не ставили меня в очень неприятное мне положение — отказываться от нее»<sup>15</sup>.

А. А. Эрнефельт выполнил просьбу Л. Н. Толстого: он переслал дословный перевод его письма в Швецию, и, очевидно, вследствие этого Толстой не стал лауреатом Нобелевской премии.

Академия наук высоко оценила творчество Толстого в приветственной телеграмме, направленной писателю в сентябре 1908 г. в связи с 80-летием со дня его рождения. Ее текст гласил: «Великому художнику русского слова, безбоязненному искателю истины, неустанному проповеднику в силы добра и любви приносит поздравления от имени имп. Академии наук вице-президент Никитин»<sup>16</sup>.

8 ноября 1910 г., после кончины Л. Н. Толстого, члены Разряда изящной сло-

весности устроили заседание, чтобы почтить память писателя. Они написали С. А. Толстой телеграмму и письмо с выражением соболезнования. В письме говорилось: «Разряд изящной словесности имп. Академии наук, имевший честь и радость считать в числе своих членов графа Льва Николаевича Толстого, уже выразил Вам тяжелую скорбь свою по поводу кончины супруга Вашего, имя которого стало одним из самых дорогих достояний русского народа и останется таким навсегда, как пример и символ прекрасного, в своем нравственном величии, соединения громадного неподражаемого таланта, бестрепетного ума и горячего сердца»<sup>17</sup>. Письмо подписали почетные академики К. К. Арсеньев, И. А. Бунин, А. Ф. Кони, Д. Н. Овсянко-Куликовский, академики В. М. Истрин, Н. П. Кондаков, Н. А. Котляревский, В. И. Ламанский, А. И. Соболевский и А. А. Шахматов.

В сентябре 1911 г. Академия наук с глубокой признательностью откликнулась на предложение родственников Толстого принять на хранение рукописи писателя. В марте 1912 г. академик А. А. Шахматов и член-корреспондент Академии наук В. И. Срезневский приняли в Рукописное отделение Академической библиотеки первые рукописи из богатейшего наследия Толстого.

Общезвестно, насколько высоко ценил Толстого В. И. Ленин. В своих статьях о Толстом В. И. Ленин дал глубокий анализ творчества великого писателя<sup>18</sup>.

2 августа 1918 г. газета «Известия ВЦИК» опубликовала подписанный В. И. Лениным «Список лиц, коим предложено поставить монументы в г. Москве и др. городах Рос. Фед. Соц. Сов. Республики». Среди имен писателей и поэтов, названных в этом документе, на первом месте стоит имя Толстого.

Одним из центров изучения литературного наследия писателя являлся Толстовский музей, основанный в 1911 г. в Петербурге. В мае 1919 г. музей был передан в ведение Библиотеки Академии наук<sup>19</sup>.

<sup>13</sup> Там же, ед. хр. 11, л. 29.

<sup>14</sup> П. И. Бирюков (1860—1931) — биограф Л. Н. Толстого.

<sup>15</sup> Толстой Л. Н. Полн. собр. соч., т. 76, М., 1956, с. 201—202.

<sup>16</sup> ААН, ф. 36, оп. 1, ед. хр. 296, л. 1.

<sup>17</sup> «Вестн. АН СССР», 1960, № 10, с. 92.

<sup>18</sup> Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 17, с. 206—213; т. 20, с. 19—24, 38—41, 100—104.

<sup>19</sup> В начале 30-х годов Толстовский музей перешел в ведение Института русской литературы (Пушкинский дом) АН СССР, а впоследствии, в связи с централизацией архивных материалов о творчестве писателя в Государственном музее Л. Н. Толстого (Москва), прекратил свое существование.

В фондах музея хранились автографы писателя, принадлежавшие ему предметы, фотографии и портреты Толстого. Видное место в собраниях музея занимали произведения Толстого, изданные при жизни писателя и после его кончины. В музее широко была представлена отечественная и зарубежная литература о жизни и творчестве Толстого.

В 1928 г. исполнилось 100 лет со дня рождения Л. Н. Толстого. Эта дата отмечалась в СССР как большой праздник отечественной культуры. Знаменательному событию было посвящено торжественное заседание в Москве, в Большом театре, состоявшееся 10 сентября 1928 г. С докладом «Толстой и революция» выступил на заседании А. В. Луначарский.

В ознаменование 100-летия со дня рождения писателя 10 сентября 1928 г. Толстовский музей организовал специальное научное заседание. Вступительное слово о Толстом произнес президент Академии наук академик А. П. Карпинский. Были также заслушаны доклады академика В. Н. Перетца («Толстой — моралист и художник») и члена-корреспондента АН СССР Н. И. Кареева («Толстой и Карлейль»).

«Имя родившегося 100 лет назад великого писателя земли русской Льва Николаевича Толстого сделалось мировым за многие, многие годы до его кончины, — говорил Карпинский. — Оно было извест-

но каждому образованному человеку и не только у нас, но и за пределами нашей страны, и каждое новое художественное произведение Толстого с нетерпением и особым вниманием встречалось даже людьми, казалось бы, далеко стоящими от изящной литературы»<sup>20</sup>.

А. П. Карпинский обратил внимание на присущий Толстому дар проникновенного наблюдения окружающей действительности. «Толстой по объективности и точности наблюдений был очень близок к настоящим, большим ученым, превосходя их художественным талантом и работая в области, где точность наблюдений доступна лишь очень углубленным большим умам»<sup>21</sup>, — подчеркивал президент Академии наук. Он охарактеризовал Толстого как поборника «истины, правды и справедливости, как бы печальна эта правда ни была».

Ученые Академии наук внесли значительный вклад в осуществление замысла В. И. Ленина — издание первого полного научного собрания всех сочинений Толстого (Юбилейного). 90-томное Полное собрание сочинений Толстого увидело свет в 1928—1958 гг. Его издание стало крупнейшим достижением советской науки о Толстом.

<sup>20</sup> ААН, ф. 265, оп. 1, ед. хр. 195, л. 3.

<sup>21</sup> Там же.

## О Толстом Из неизданного

На протяжении своей долгой жизни Лев Николаевич Толстой не раз встречался с учеными самых разных специальностей. Об этом свидетельствуют сохранившиеся записи, письма, воспоминания ученых, некоторые из которых публикуются ниже.

Даты приводятся по старому стилю.  
Из «дневника» В. И. Вернадского<sup>1</sup>.

29 апреля 1893 года.

Был у нас Л. Н. Толстой — с ним продолжительный разговор об идеях, науке

etc. Он говорил, что его считают мистиком, но скорее я мистик. И я им быть был бы рад, мне мешает скептицизм. Я думаю, что в учении Толстого гораздо более глубокого, чем мне то в начале казалось. И это глубокое заключается: 1) основа жизни — искание истины и 2) настоящая задача за-

<sup>1</sup> Свои дневниковые записи В. И. Вернадский делал нерегулярно на карточках; дневника в обычном понимании он не вел. В «Летописи жизни и творчества Л. Н. Толстого» факт личного знакомства В. И. Вер-

ключается в высказывании этой истины без всяких уступок. Я думаю, что последнее самое важное, и отрицание всякого лицемерия и фарисейства и составляет основную силу учения, так как тогда наиболее сильно проявляется личность, и личность получает общественную силу»<sup>2</sup>.

Н. П. Вагнер<sup>3</sup> — Л. Н. Толстому

С. Петербург 1876, Окт. 18.

Многоуважаемый Лев Николаевич!

Осмеливаюсь обратиться к Вам с покорнейшей просьбой помочь делу, которое, как мне кажется, должно принести современному обществу несомненную пользу.

В этом обществе есть один недостаток, который сильно мешает его развитию,— недостаток связи науки с жизнью.

---

надского и Льва Николаевича не учтен. Во второй половине апреля 1898 г. Толстой находился в Москве, однако времяпрепровождение его по дням не расписано. Толстой был знаком с отцом ученого, известным русским экономистом Иваном Васильевичем Вернадским (1821—1884): 15 ноября 1856 г. они встречались в доме экономиста В. П. Безобразова. Обсуждался вопрос об издании экономического журнала (см.: Гусев Н. Н. Летопись жизни и творчества Л. Н. Толстого, т. I, М., 1959). Журнал «Экономический указатель» под редакцией И. В. Вернадского выходил в 1857—1861 гг.

Судя по дневниковым записям, В. И. Вернадский встречался с Л. Н. Толстым неоднократно. Вот запись от 10 марта 1942 г. (ученый тогда находился в эвакуации в Средней Азии): «Я раз был у Толстого в Москве и с ним вел спор о бессмертии души, которое я тогда защищал, а Толстой отрицал. Я помню когда— в это же время Толстой зашел к нам— в голод 1891 г.— и помню разговор с ним. Он говорил И. И. Петрункевичу, что я симпатичный— тогда я составлял отчет о помощи голодающим» (Архив АН СССР, ф. 518, оп. 2, ед. хр. 21, л. 68. Приводится по выписке, хранящейся в Отделе рукописей Государственного музея Л. Н. Толстого).

«Толстой зашел к нам...» — по-видимому, в комиссию помощи голодающим в Москве. Толстой приезжал в Москву в конце ноября 1891 г. и пробыл до начала декабря по вопросу помощи голодающим Самарской губернии.

<sup>2</sup> Архив АН СССР, ф. 518, оп. 2, ед. хр. 21, л. 68. Цит. по выписке в Отделе рукописей Государственного музея Л. Н. Толстого (ГМТ).

<sup>3</sup> Николай Петрович Вагнер (1829—1907) — профессор зоологии Петербургского университета, энтомолог, был награжден Демидовской премией Академии наук в 1846 г. за работу «Самопроизволь-

Общество смутно понимает, что образование, просвещение необходимы, что учение свет, а неучение тьма — но у него нет даже бледного представления; как глубоко зависимость жизни от науки. Оно не понимает, что каждый шаг в жизни должен быть сделан на основании научных данных и только тогда он будет верен и правилен. Общество допускает необходимость знания в гигиене, макробиотике, в медицине — но только в немногих случаях и почти исключительно только в медицине оно прибегает к помощи знания. Оно весьма хорошо понимает, что весь прогресс его материальной жизни держится на развитии научных данных, но обыкновенно для разработки тех или других сторон этой жизни оно прибегает просто к эмпирическим, рутинным приемам. В последнее время с Запада начало проникать понятие о необходимости статистических данных для разработки социологических вопросов — но это понятие не становится твердым убеждением, не переходит в плоть и кровь, и собиране статистических данных составляет предмет неосмысленной рутинности или той официальной науки, которая царит везде, в школах, академиях, во всяких специальных и неспециальных заведениях, науки педантской, филистерской, не имеющей с жизнью ничего общего.

В области искусства общество следует своим симпатиям и антипатиям, и немногие знают — где и в чем лежит необходимость искусства для жизни. В недавнее время начинает складываться смутное понятие о том, что в этой области разрабатываются вопросы психологические, т. е. вопросы той науки, данные которой рано или поздно должны лечь краеугольным камнем в основу социального устройства.

Перебирая различные средства, которые могли бы развивать и укреплять в обществе сознание необходимости тесной связи науки и жизни, я остановился на одном, которое мне кажется более сподруч-

---

ное размножение гусениц у насекомых». Выступал и как беллетрист (под псевдонимом Кот Мурлыка), в частности автор романа «Темный путь» (1890). Организованный Вагнером журнал «Свет» просуществовал с 1877 по 1879 год. В журнале было опубликовано значительное число научно-популярных статей известных ученых, в том числе несколько статей А. М. Бутлерова. Художественный отдел был мало интересен, за исключением того, что помещал стихи С. Надсона, «открытого» Вагнером.

ным, остановился на издании, которое постоянно проводило бы это убеждение в различных формах. В виде тенденциозных рассказов и повестей или в виде статей популярно-научных такой журнал (под названием «Свет») будет постоянно твердить и доказывать обществу одно и то же положение: вне науки нет рациональной, сознательной жизни, нет развития.

Я убежден, что исподволь, со временем это издание выполнит свою задачу — но на первых порах необходимо, чтобы оно было общедоступным и популярным. С этой целью я решил обратиться к Вам с покорнейшей просьбой — помочь ему. Все что Вы найдете из Ваших произведений сколько-нибудь подходящим к целям издания — будет принято с чувством глубокой и искренней благодарности. Одно уже Ваше имя может сделать издание популярным.

Искренне и глубоко  
уважающий Вас  
Николай Вагнер<sup>4</sup>

#### Толстой на IX съезде (естествоиспытателей и врачей)

11 января 1894 г. Толстой посещает заседание IX съезда русских естествоиспытателей и врачей<sup>5</sup>, происходившего в Москве, об этом сообщает в письме астроному С. В. Щербакову К. Д. Покровский от 12 января 1894 г.<sup>6</sup>:

«...Вчера на общем собрании на эстраде в 1-м ряду сидели два графа:

1) Граф Капнист<sup>7</sup> и 2) гр. Лев Толстой. Первый был, конечно, во фраке, под которым на белой груди красовалась красная лента, второй в штанах и в блузе, подпоясанной узким ремнем. Первого, хотя и случайно, но довольно эффектно ошикали, второго встретили страшным громом рукоплесканий.

Каким образом Лев Николаевич попал в собрание, я не успел себе уяснить. Болтают, что его приглашали, как почетного гостя, но это едва ли так. По окончании заседания Толстой долго выжидал, пока публика разведется, а она его выхода дождалась. Профессоры, хотя и бранились, что Толстой, ругающий науку, пришел на собрание, тем не менее ему представились. Я видел его в 1-й раз. Удивительно его хорошо рисуют. Его портреты тождественны, кажется, вполне с оригиналом. Толстой теперь почти совершенно седой (белый).

Об этом же посещении Толстым заседания съезда рассказывает в своих воспоминаниях врач С. А. Некрасов<sup>8</sup>:

«Мне пришлось быть свидетелем встречи Льва Толстого с Сеченовым. Это было 11 января 1894 года в Колонном зале нынешнего Дома Союзов (тогда это было дворянское собрание) на 3-м и последнем пленуме IX съезда русских естествоиспытателей и врачей, а я был тогда студентом 3-го курса естественного отделения физико-математического факультета и работал на съезде в качестве студента-распорядителя.

В этом общем собрании на повестку было поставлено четыре доклада: 1) Академика Н. Н. Бекетова «Химическая энергия в природе», 2) проф. В. Я. Цингер[а]<sup>9</sup> «Недоразумения во взглядах на основания геометрии», 3) проф. М. А. Мензбир[а]<sup>10</sup> «Современные направления в биологии» и 4) проф. А. И. Чупров[а]<sup>11</sup> «Статистика как

<sup>4</sup> Отдел рукописей ГМТ. Полностью письмо публикуется впервые.

На это пространное письмо Толстой отвечает вежливым отказом: «Вполне ценя мысль предпринимаемого издания, я, к сожалению, не могу быть вам полезен. У меня ничего нет подходящего под программу вашего издания, и я так занят совершенно другого рода работами, что не могу ничего написать годного для вас». (Толстой Л. Н. Полн. собр. соч., т. 62, с. 289).

<sup>5</sup> Так назывались съезды Московского общества испытателей природы, основанного в 1805 г. и существующего до сих пор.

<sup>6</sup> Константин Доримонтович Покровский (1868—1945) — профессор астрономии, член-корреспондент АН СССР, вице-директор Пулковской обсерватории, в то время ассистент Московской обсерватории. К. Д. Покровский — один из основателей журнала «Природа». Первый номер журнала за 1912 г. открывала его статья «О наблюдениях падающих звезд». За рекомендацию этого материала автор публикации признателен сыну ученого литератору В. К. Покровскому. Письмо хранится в Отделе рукописей ГМТ и публикуется впервые.

<sup>7</sup> Павел Александрович Капнист (1842—1904) — полечитель Московского учебного округа, знакомый семье Толстого.

<sup>8</sup> Воспоминания С. А. Некрасова написаны в 1946 г. по просьбе биографа Толстого Н. Н. Гусева.

<sup>9</sup> Василий Яковлевич Цингер (1836—1907) — с 1868 г. профессор чистой математики Московского университета. Основатель школы московских геометров. Оставил также несколько работ по систематике и географии растений.

<sup>10</sup> Михаил Александрович Мензбир (1855—1935) — зоолог, с 1929 г. академик АН СССР.

<sup>11</sup> Александр Иванович Чупров (1842—1908) — известный русский экономист.

связующее звено между естествознанием и обществоведением».

Как я узнал впоследствии, Л. Н. Толстой заинтересовался докладом В. Я. Цингера. Этот доклад был посвящен новой геометрии Лобачевского. Когда заседание началось и приток публики прекратился, то я вместе с другими студентами направился к круглому залу, чтобы через него пройти к эстраде и слушать доклады. В это время я увидел входящего Л. Н. Толстого. Находившийся среди нас студент-юрист В. А. Маклаков, впоследствии известный московский адвокат и член Государственной думы, увидел Толстого. Он был лично знаком с ним и поздоровался с ним. Студенты-распорядители не знали, куда посадить Толстого. Одни полагали, что его нужно посадить в первом ряду кресел, а другие, что лучше на эстраде. Последнее мнение взяло верх, и студенты повели Л. Н. на эстраду.

Председатель съезда К. А. Тимирязев, услышав шум шагов, обернулся и, увидев Толстого, направился к нему навстречу, протягивая ему обе руки, и сейчас же посадил его за стол между собой и академиком Н. Н. Бекетовым.

Все это увидела публика, переполнявшая зал, и, узнав Л. Н., разразилась по его адресу бурными аплодисментами и не желала прекратить их, а докладчик (Н. Н. Бекетов) не мог продолжить чтения доклада. Толстой не знал, что ему делать, но потом встал и ответил на приветствие тремя поклонами: прямо, направо и налево. Рукоплескания прекратились, и докладчик мог продолжать чтение своего доклада.

После двух докладов был сделан перерыв. Тимирязев очень заботливо провел Толстого в круглый зал и усадил его на диван. Желая предоставить Толстому наиболее интересного собеседника, Тимирязев остановил свой выбор на Сеченове и поручил распорядителям разыскать его в зале, а затем посадил Сеченова на том же диване рядом с Толстым. После этого Тимирязев распорядился, чтобы Толстому дали не чаю, а напиток с сахаром и лимоном. «Лев Николаевич чаю не пьет», — сказал он. И вот два великих старца повели между собою оживленную беседу. Это произвело на нас, студентов, очень сильное впечатление. Ведь на съезде было очень много выдающихся ученых, съехавшихся со всех концов России, но наиболее интересным собеседником для Толстого оказался Сеченов. Их беседа продолжалась в течение

всего перерыва, а затем пошли в Колонный зал слушать остальные доклады»<sup>12</sup>.

В этих материалах интересно то искреннее и глубокое уважение к Толстому, которое характеризует русских ученых. Свидетельством такого уважения является письмо В. И. Вернадского.

В. И. Вернадский — Л. Н. Толстому

Полтава

9.VII 1901

Глубокоуважаемый Лев Николаевич, Позвольте от моей жены и меня выразить Вам чувство нашего глубокого волнения при вести о Вашей болезни и чувство сердечной, искренней радости нашей, когда мы узнали о ее благополучном течении<sup>13</sup>. Нам редко приходится видеть Вас, но мы сохраняем самое сильное и дорогое нам впечатление от всякого свидания с Вами и с глубоким, искренним сочувствием всегда следим и считаемся с каждым мнением Вашим и Вашей деятельностью.

Хотя мы во многом придерживаемся других взглядов и мнений, чем какие охватывают Вас, — но не бесследно прошли и проходят в нашей духовной жизни Ваши стремления высказать правду, как Вы ее понимаете. С чувством горячей любви и искреннего, самого высокого уважения привыкли мы издавна относиться к Вам, и поэтому я решаюсь послать Вам эти несколько строк, выражающих наше чувство.

Мы верим и надеемся, что еще долго дано Вам будет жить среди нас — Ваша мысль и Ваша жизнь так нужна всем, желающим искренно понять истину, которая Вам так дорога.

Ваш В. Вернадский<sup>14</sup>

«Искренно понять истину» — это именно та движущая сила, которая объединяла и Толстого-художника, и передовых русских ученых — несмотря на их противоречия, сквозь противоречия, вызывая противоречия. Именно эти коллизии в наш «парадоксальный» XX век вызывают жгучий интерес ученых и писателей, гуманистариет и естествоиспытателей.

Публикация и комментарии С. Д. Политько  
Москва

<sup>12</sup> Отдел рукописей ГМТ (архив Н. Н. Гусева).

<sup>13</sup> В конце июня 1901 г. Л. Н. Толстой болел малярией. В это время получил много писем и телеграмм с вопросами о здоровье.

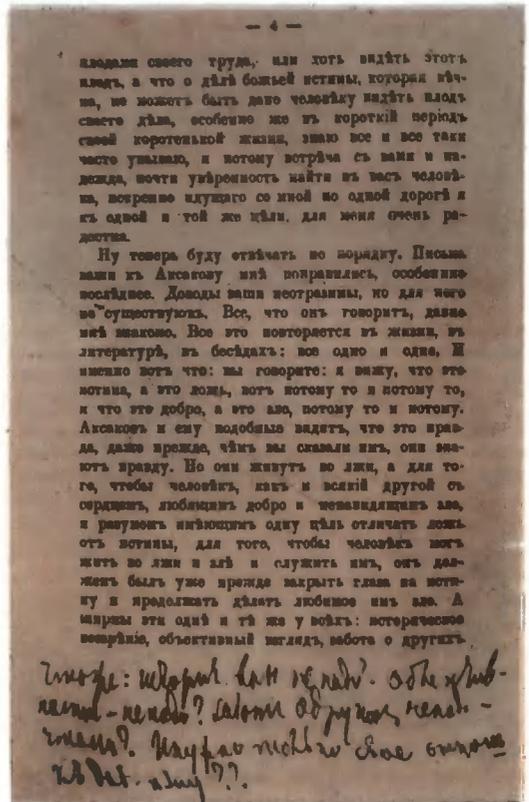
<sup>14</sup> Отдел рукописей ГМТ.

## Д. И. Менделеев о Л. Н. Толстом

Хорошо знал и высоко ценил творчество Толстого Д. И. Менделеев. Книги писателя в библиотеке Менделеева, хранящейся в музее ученого при Ленинградском университете, представлены достаточно полно. Это почти все крупные художественные произведения Л. Н. Толстого: раннее издание «Войны и мира» (1868 г.), собрание сочинений 1880 г. (ч. ч. 3, 4, 9—11), роман «Воскресение». Вполне вероятно, что многие книги Толстого, находившиеся в библиотеке, были утрачены. Так, например, известно, что 5 сентября 1878 г. Менделеев приобрел роман «Анна Каренина»<sup>1</sup>. Это издание в настоящее время в библиотеке отсутствует. С особым интересом следит Менделеев за публицистическими работами Толстого в конце 70—90-х годах.

Карточка именного каталога «Гр. Л. Н. Толстой», составленного самим Менделеевым, которая содержит 30 названий, является одной из самых больших по объему и одной из немногих, посвященных писателям. В основном в нее внесены произведения, изданные после 1886 г. большей частью в Женеве (М. Е. Елпидиным), в Берлине и Лондоне. Его описания того или иного произведения позволяют узнать, что, собственно, привлекло ученого в данном произведении. Например, рядом с названием «Письмо к NN» в скобках отмечено: «о боге», или рядом с названием «Письмо к французу» в скобках — «о труде».

В библиотеке Менделеева имеется 14 произведений Л. Н. Толстого с его маргиналиями, которые представляют собой либо отчеркивания на полях и подчеркивание слов в тексте, либо отдельные слова и целые фразы, написанные ученым на свободных местах страницы.



Маргиналии Менделеева на издании «Письмо к NN» Л. Н. Толстого.

Первая по времени книга, содержащая особенно большое число маргиналий (на 10 страницах) — это «Краткое изложение Евангелия» 1890 г. Так, в предисловии, описывая свои ощущения от процесса воссоздания Евангелия, Толстой говорит: «Я был в положении человека, который соби-

<sup>1</sup> Научный архив Менделеева (НАМ) ЛГУ, 1-Г-7-3-1.



Собрание книг из личной библиотеки Д. И. Менделеева, в которое включены произведения Л. Н. Толстого. Менделеев сшивал книги по принципу «любимых» и наиболее интересных сочинений, и чтению которых предполагал вернуться. Поэтому Толстой вполне естественно переплетался с Вальтером Скоттом или со специальными статьями по химии.

рает разбитую в куски статую... [если] кусок этот сходится с другим боковым куском и всеми линиями излома совпадается с нижним куском, то уже не может быть сомнения...» В этом месте Менделеев записывает: «Чтобы это было, надо иметь идею формы действительной, а ведь в голове толкование мнимое..!»

«...Это я испытал по мере движения в своей работе и если я не сумасшедший, то это чувство должен будет испытать и читатель», — продолжает Толстой.

Здесь Менделеев подчеркивает слова «я не сумасшедший» и записывает на полях: «не сумасшедший, а не знающий методов точного познания, утопик, фантазер, поэт». В самом тексте Евангелия слова Толстого: «Мы знаем его только в себе. Этот дух есть начало нашей жизни, и его

надо поставить выше всего, им надо жить...», — вызывают у Менделеева резкую и определенную реакцию: «эгоизм, индивидуализм». Рядом со словами Толстого: «Верующий в жизнь духа имеет жизнь бесконечную», Менделеев записывает: «это очень просто и легко».

Суть возражений Менделеева совершенно ясна. Она состоит в защите реального материалистического воззрения на жизнь и на природу против посягательств морально-религиозной системы. Против изложения заповедей Менделеев записывает на полях: «Все отрицательные, ветхи. Надо положительные».

Забегая несколько вперед, отметим, что подобные же высказывания ученого по поводу изложения заповедей имеются и в другой книге Толстого («Письмо к NN»): «Ведь это все отрицания, а положения?»<sup>2</sup> Приведенная фраза очень характерна и встречается в разных вариантах и в других местах. Так, знакомясь с философскими системами восточных народов, Менделеев читает книгу Э. Арнольда «Свет Азии» (1890) и оставляет в ней многочисленные пометы. Рядом с изложением правил буддизма Менделеев записывает: «И у Будды все отрицания. Где же полож[ительное]?».

<sup>2</sup> НАМ ЛГУ, П-А-1-1-9и

Особенно большой интерес представляют маргиналии на брошюре Толстого «Письмо к NN». Это произведение имеется в библиотеке Менделеева в двух изданиях.

Сравнивая маргиналии на обоих изданиях, можно заметить, что в основном Менделеев обращает внимание на одни и те же положения. Например, на страницах, где Толстой высказывает мысль об условности понимания исторических воззрений и социально-экономических теорий, Менделеев в раннем издании дает отчеркивание, в позднем — внизу страницы записывает: «Что же: историч[еских] возз[рений] не надо? Объективности не надо? Забот о других не надо что ли? И нужно только свое отнош[ение] к доб[ру] и злу?»

Для Менделеева Толстой выступает в первую очередь как представитель искусства, распространяющий свое видение мира на ту область, которая искусству неподвластна. Он, в глазах Менделеева, мыслитель, который опирается на одни лишь чувства, человек, недооценивающий важность реальной трудовой деятельности, направленной на преобразование природы, важность объективного познания мира.

В одной из рукописных заметок Менделеева читаем: «Пьер... Каратаев осуждали общее, оправдывая индивидуальное, а надо обратно — понять общее и уничтожить личную прихоть... Это два мира. Они теперь живут, проникают друг в друга». Критика Менделеевым Толстого опирается на различия в подходе к проблемам науки.

Известно, что толстовская критика науки имеет своим истоком критику буржуазной культуры, представляющую одну из сильнейших сторон его творчества. Потрясающие по силе разоблачения лжи и лицемерия государственного устройства России описания «рабства рабочих» и сейчас поражают читателя силой бесспорной аргументации. Но темные стороны промышленного прогресса приводят писателя к отрицанию всякого экономического прогресса. «...Русскому народу нужно продолжать жить земледельческой мирской общинной жизнью, — утверждает он. — Ему, народу, «уготована» свободная и счастливая жизнь вне промышленного, фабричного капиталистического насилия и рабства...»<sup>3</sup>

Проповедь, направленная против развития промышленности, не могла не вызвать противодействия такого активного сторонника промышленного прогресса, каким был Менделеев. «...Не удовлетворитесь Платоном Каратаевым, — писал ученый, — потому что прожито идиллическое его время и пришло другое — неизбежное, сложнее»<sup>4</sup>.

Однако страстная и заинтересованная критика науки Толстым и убежденная ее защита Менделеевым приводят к сближению их точек зрения, как бы к общему истоку.

Как можно судить по маргиналиям на работах Л. Н. Толстого 900-х годов, Менделеев в это время особо подчеркивает моменты, связанные с глубоким гуманизмом писателя. Одним из последних произведений Толстого, внимательно прочитанным Менделеевым, была работа «Об общественном движении в России» (Берлин, 1905).

В ней большое количество отчеркиваний на полях, причем бросается в глаза то обстоятельство, что ученый обращает внимание на неоднократно повторяемую мысль Толстого о вреде разобщенности людей. Как борцу против индивидуализма эта мысль была ему особенно близка. В книге о русско-японской войне, изданной в Париже в 1904 г., около знаменитых слов, обращенных к правительствам и содержащим призыв к миру и мирной работе, Менделеев пишет: «Это как бы и не Толстой».

**Р. Б. Добротин,**  
доктор химических наук  
**Н. Г. Карпило**  
Ленинград

<sup>4</sup> Менделеев Д. И. Письма о заводах. — «Новь», 1885, № 10.

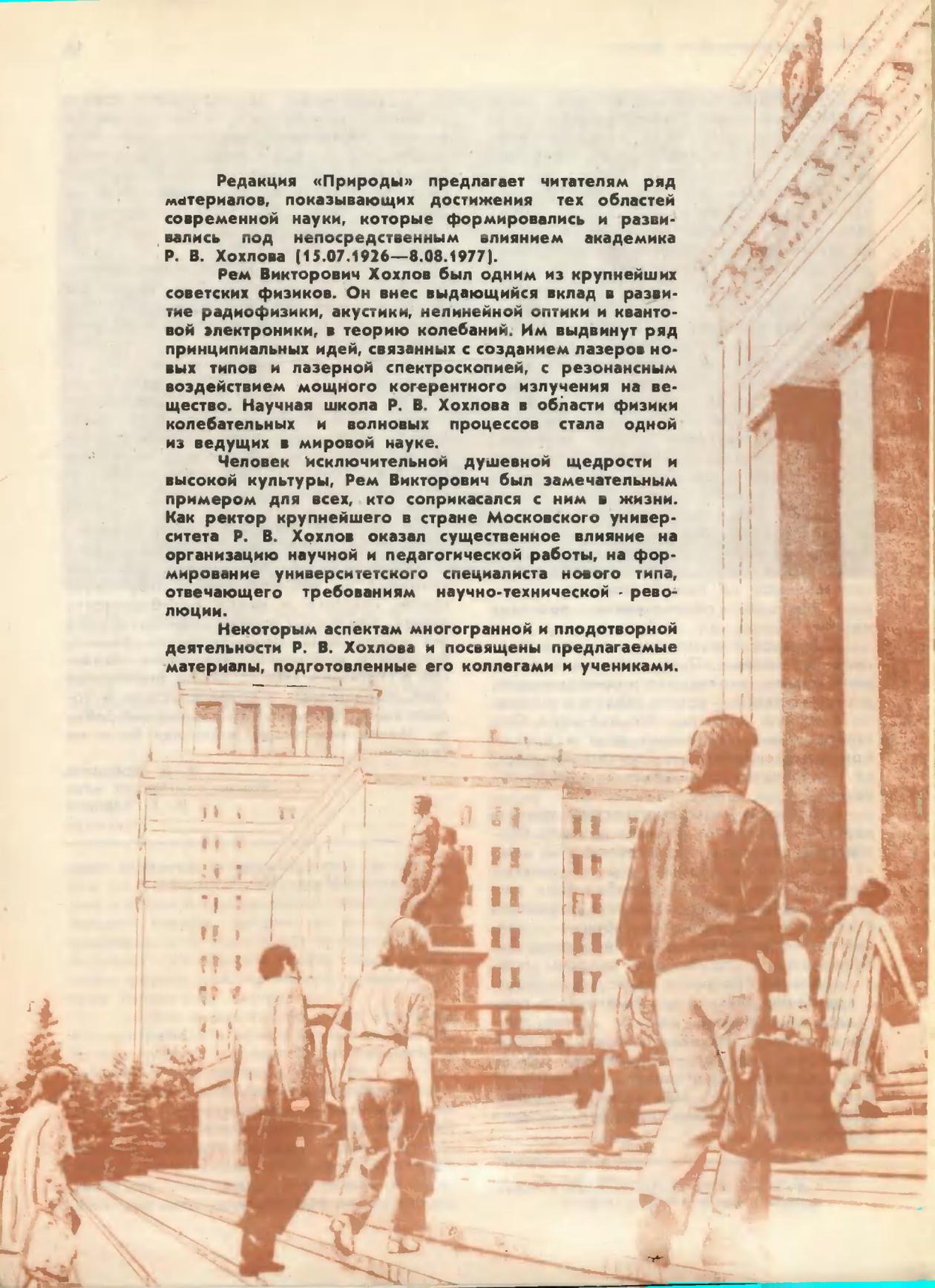
<sup>3</sup> Лапунов К. Н. Лев Толстой в современном мире. М., 1975, с. 493.

Редакция «Природы» предлагает читателям ряд материалов, показывающих достижения тех областей современной науки, которые формировались и развивались под непосредственным влиянием академика Р. В. Хохлова [15.07.1926—8.08.1977].

Рем Викторович Хохлов был одним из крупнейших советских физиков. Он внес выдающийся вклад в развитие радиофизики, акустики, нелинейной оптики и квантовой электроники, в теорию колебаний. Им выдвинут ряд принципиальных идей, связанных с созданием лазеров новых типов и лазерной спектроскопией, с резонансным воздействием мощного когерентного излучения на вещество. Научная школа Р. В. Хохлова в области физики колебательных и волновых процессов стала одной из ведущих в мировой науке.

Человек исключительной душевной щедрости и высокой культуры, Рем Викторович был замечательным примером для всех, кто соприкасался с ним в жизни. Как ректор крупнейшего в стране Московского университета Р. В. Хохлов оказал существенное влияние на организацию научной и педагогической работы, на формирование университетского специалиста нового типа, отвечающего требованиям научно-технической революции.

Некоторым аспектам многогранной и плодотворной деятельности Р. В. Хохлова и посвящены предлагаемые материалы, подготовленные его коллегами и учениками.



## Нелинейная оптика: новые результаты и проблемы

С. А. Ахманов



Сергей Александрович Ахманов, доктор физико-математических наук, профессор, заведует кафедрой волновых процессов физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов связана со статистической радиофизикой, нелинейной оптикой и спектроскопией. Автор монографий: Проблемы нелинейной оптики (совместно с Р. В. Хохловым). М., 1964; Статистические явления в нелинейной оптике (совместно с А. С. Чиркиным). М., 1971. В «Природе» опубликовал статьи: Нелинейная оптика (1970, № 3) и Лазерная спектроскопия рассеяния света — новые эффекты и новые методы (1976, № 7). Лауреат Ленинской премии.

История нелинейной оптики — молодой области физики, возникшей после создания лазеров, — неразрывно связана с именем Рема Викторовича Хохлова. В работах Р. В. Хохлова и возглавлявшегося им коллектива физиков Московского государственного университета исследования по нелинейной оптике занимают особое место.

Начало этим работам положили выполненные в 1961 г. теоретические исследования параметрических процессов в оптике, а уже в 1962 г. была создана лаборатория нелинейной оптики МГУ, быстро выдвинувшаяся в число ведущих мировых научных центров, лаборатория, которой в 1978 г. присвоено имя Р. В. Хохлова. Эволюция научных направлений, развивавшихся лабораторией за эти пятнадцать лет, отражает тенденции развития нелинейной оптики в целом.

В 1962—1966 гг. в лаборатории были созданы эффективные преобразователи частоты излучения различных диапазонов спектра и параметрические генераторы света, которые стали первыми перестраиваемыми источниками когерентного оптического излучения. Приблизительно в эти же годы был выполнен цикл работ по вынужденному комбинационному рассея-

нию света и вынужденному рассеянию Мандельштама — Бриллюэна, работ, которые в дальнейшем были положены в основу ряда разделов лазерной спектроскопии.

Теоретические исследования лаборатории на первом этапе были связаны прежде всего с волновой нелинейной оптикой — теорией преобразования частоты, вынужденного рассеяния, с изучением явлений самофокусировки и самодефокусировки света. Лаборатории принадлежит ряд крупных результатов в нелинейной оптике сверхкоротких импульсов. Здесь были разработаны, в частности, теоретические основы прямых методов измерения времен релаксации поляризации в молекулах.

К концу 60-х годов многие идеи, выдвинутые в лаборатории, начали внедряться в прикладные разработки; формировался новый раздел прикладной оптики — прикладная нелинейная оптика, связанная с созданием оптических преобразователей частоты, преобразователей сигналов и изображений, перестраиваемых генераторов. В эти же годы несколько изменяется и основное направление исследований по физической нелинейной оптике: все большее место занимают работы по нелинейной спектроскопии, селективному воздействию лазерного излучения на вещество.

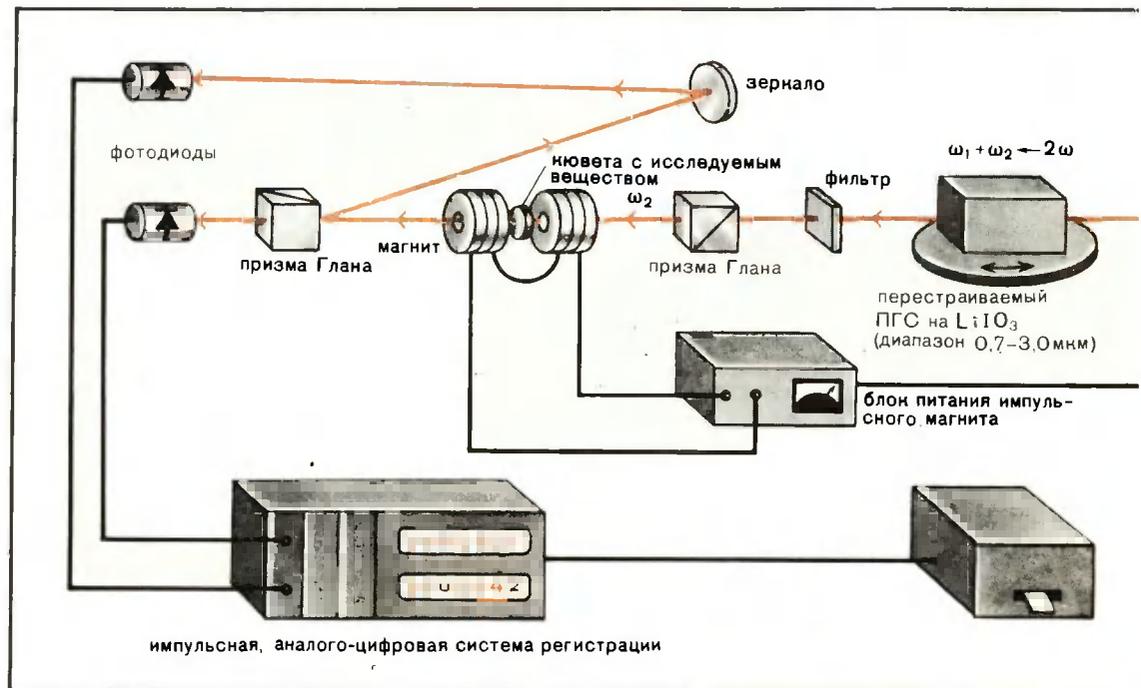
В 1967 г. Рем Викторович Хохлов впервые рассмотрел возможности селек-

тивного возбуждения молекул с помощью перестраиваемого генератора (имелось в виду использование параметрического генератора света) и проанализировал применение этого процесса в химии. В дальнейшем эти работы были широко развернуты; они включали в себя изучение механизмов селективного возбуждения и релаксации энергии в молекулах, работы по химическим лазерам и т. п.

В 1970—1972 гг. в лаборатории были начаты исследования по лазерной спектроскопии, которые привели к разработке но-

вейная спектроскопия, прикладная нелинейная оптика. Все эти разделы продолжают быстро развиваться и по сей день. Возникают новые направления, расширяется область применимости нелинейно-оптических методов. Один из ярких примеров объединения методов и задач волновой нелинейной оптики, физической нелинейной оптики неоднородной среды и нелинейной спектроскопии — это нелинейная оптика атмосферы.

В настоящей статье обсуждаются некоторые новые результаты и направления



Инфракрасный поляризационный спектрометр с параметрическим генератором света. В кристалле иодата лития излучение накачки с длиной волны 0,53 мкм преобразуется в плавно перестраиваемое по частоте излучение, перекрывающее диапазон от 0,7 до 3 мкм. Генератор работает в режиме повторяющихся импульсов с частотой следования до 50 Гц; импульсная мощность достигает 50 кВт, а ширина линии составляет 0,1  $\text{см}^{-1}$ .

вых методов нелинейной спектроскопии конденсированных сред.

Современная нелинейная оптика представляет собой развитую научную дисциплину, включающую такие разделы, как волновая нелинейная оптика, физика нелинейной поляризации среды и нели-

фической нелинейной оптики. Многие, о чем будет идти речь, было начато в лаборатории нелинейной оптики МГУ; ряд существенных результатов был получен в молодых лабораториях Вильнюсского, Ереванского и Софийского университетов — лабораториях, созданных и сложившихся в тесном контакте с лабораторией нелинейной оптики МГУ, лабораториях, где работают многие ученики Р. В. Хохлова и его ближайших сотрудников.

#### СПЕКТРОСКОПИЯ МОЛЕКУЛ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ СВЕТА

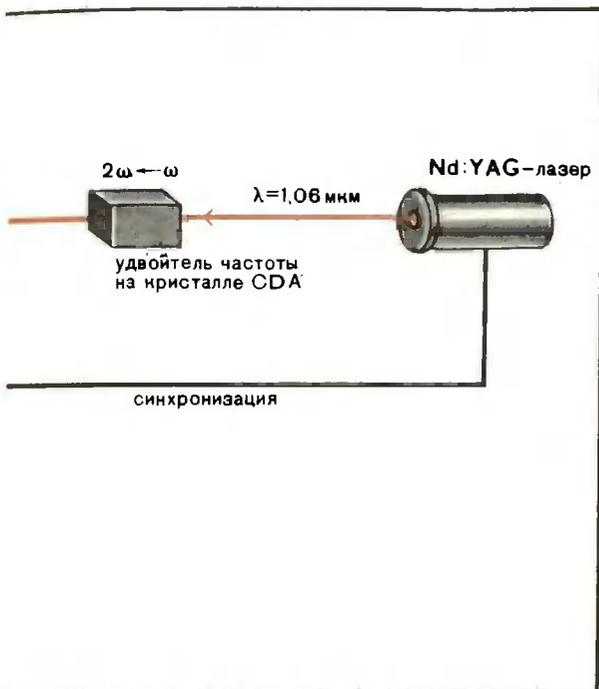
За двенадцать лет, прошедших после запуска первого параметрического гене-

ратора света (ПГС), перестраиваемые лазеры различных типов проникли буквально во все разделы современной оптики и квантовой электроники; принято даже говорить о второй (после создания лазеров) революции в оптике, совершенной перестраиваемыми генераторами. Развивались, совершенствовались и сами параметрические генераторы.

В настоящее время определились области, где использование таких генераторов особенно перспективно. Это, в первую очередь, молекулярная спектро-

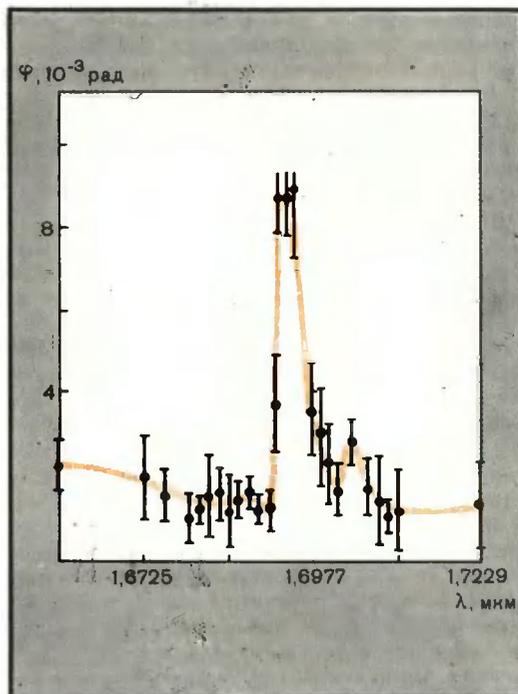
скопии с параметрическими генераторами.

Хорошо известно<sup>2</sup>, что для решения многих задач спектроскопии сложных молекул, в особенности биологических, весьма перспективным оказывается метод спектроскопии оптической магнитной активности, сводящийся к изучению дисперсии поляризации излучения в магнитном поле. Следует отметить, однако, что в подавляющем большинстве опубликованных до недавнего времени работ диспер-



скопия в ближнем инфракрасном диапазоне, в области длин волн от 0,8 до 5 мкм. Параметрические генераторы этого диапазона способны генерировать не только сравнительно длинные, наносекундные импульсы, но и перестраиваемые по частоте сверхкороткие импульсы длительностью до  $10^{-11} - 10^{-12} \text{ с}$ <sup>1</sup>.

Два следующих ниже примера иллюстрируют современные возможности



Экспериментальная кривая дисперсии магнитной оптической активности [фарадеевский спектр] вблизи второго обертона колебаний связи C—H в молекуле  $\text{CHCl}_3$  в жидкости; напряженность статического магнитного поля  $H=2 \text{ кгс}$ .

сия магнитного вращения изучалась вблизи электронных резонансов, в видимой области спектра. Недавно в нашей лаборатории дисперсия эффекта Фарадея наблюдалась вблизи колебательных резонансов молекул, лежащих в инфракрасном диапазоне. При этом использовался ПГС, пере-

<sup>1</sup> По-видимому, с помощью ПГС возможно получение наиболее коротких перестраиваемых импульсов; это обстоятельство отмечалось в работе Р. В. Хохлова и его сотрудников в 1968 г.: Akhmanov A. G., Akhmanov S. A., Khokhlov R. V. et al.—«IEEE J. of Quant. Elec't», 1968, v. 4, № 11.

<sup>2</sup> См., например: Волькенштейн М. В., Шаранов Ю. А. Эффект Фарадея и его применение в биологии.—«Природа», 1977, № 5.

крывающий диапазон длин волн  $0,7—3$  мкм. Такой генератор дал возможность провести тщательные поляризационные измерения с точностью  $10^{-4}—10^{-5}$  рад в области сильного поглощения, соответствующей колебательному резонансу молекул жидкости.

Другой пример характеризует новые возможности в исследовании первичных фотофизических стадий процесса фотосинтеза, открывающиеся при использовании пикосекундных ПГС.

Известно, что процесс разделения зарядов в фотореакционных центрах сопровождается изменением кривой поглощения света; возникают так называемые эффекты фотовыцветания и наведенного поглощения.

Одна из основных задач в проблеме фотосинтеза — изучение кинетики этих явлений. Особенно интересны здесь процессы с характерными временами  $10^{-11}—10^{-12}$  с. Для их исчерпывающего изучения необходимо располагать перестраиваемыми генераторами сверхкоротких световых импульсов, перекрывающими диапазон от  $0,4$  до  $1,0—1,5$  мкм; в этом случае появляется возможность резонансного селективного возбуждения фотореакционных центров и зондирования фотонаведенных изменений поглощения по спектру.

В настоящее время многие лаборатории прилагают большие усилия для создания такой аппаратуры. Группа сотрудников Московского и Вильнюсского университетов применила для этой цели пикосекундные ПГС в качестве эффективных инструментов резонансной пикосекундной спектроскопии. С помощью такого рода спектрометра впервые измерен квантовый выход процесса разделения зарядов в условиях резонансного пикосекундного возбуждения<sup>3</sup>, достигающий 60%. Исследование кинетики фотонаведенных изменений просветления и поглощения позволило сделать заключение, что за времена, меньшие  $(50—100) \cdot 10^{-12}$  с, потери световой энергии на процессы, не связанные с разделением зарядов, не превышают 30—40%. В последнее время с помощью разработанной техники удалось проследить кинетику миграции энергии в фотореакционных центрах.

## НЕЛИНЕЙНЫЕ СВОЙСТВА АТОМОВ, МОЛЕКУЛ И КОНДЕНСИРОВАННЫХ СРЕД

Один из интереснейших физических аспектов нелинейной оптики связан, несомненно, с новыми возможностями изучения вещества. Даже при чисто феноменологическом описании нелинейных оптических явлений эти возможности представляются почти безграничными. Действительно, если речь идет о поляризации вещества в световом поле, то в нелинейной

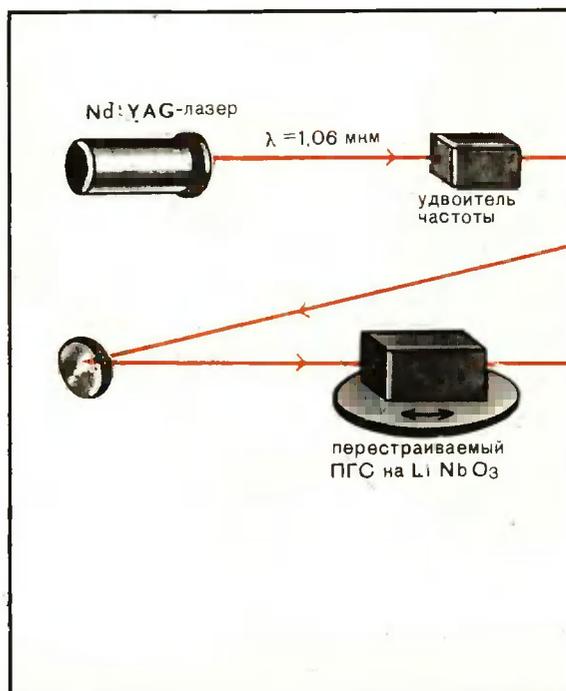


Схема пикосекундного спектрометра, предназначенного для резонансной спектроскопии первичных фотофизических стадий процесса фотосинтеза. Здесь сверхкороткие импульсы второй гармоники лазера на гранате с неодимом ( $\lambda=0,53$  мкм) возбуждают два перестраиваемых параметрических генератора на кристаллах KDP и LiNbO<sub>3</sub>. Такие генераторы позволяют получить мощные сверхкороткие импульсы длительностью  $\sim 10^{-11}$  с на любой длине волны в диапазоне  $0,66—2,7$  мкм. В опытах по изучению кинетики фотосинтеза один из генераторов (генератор на кристалле KDP) использовался для селективного возбуждения фотореакционных центров, а другой — для зондирования наведенных изменений поглощения.

<sup>3</sup> Ахманов С. А., Борисов Ю. А., Данелюс Р. В., Пискарскас А. С., Разживин А. П., Самуилов В. Д. — «Письма в ЖЭТФ», 1977, т. 26, № 9.

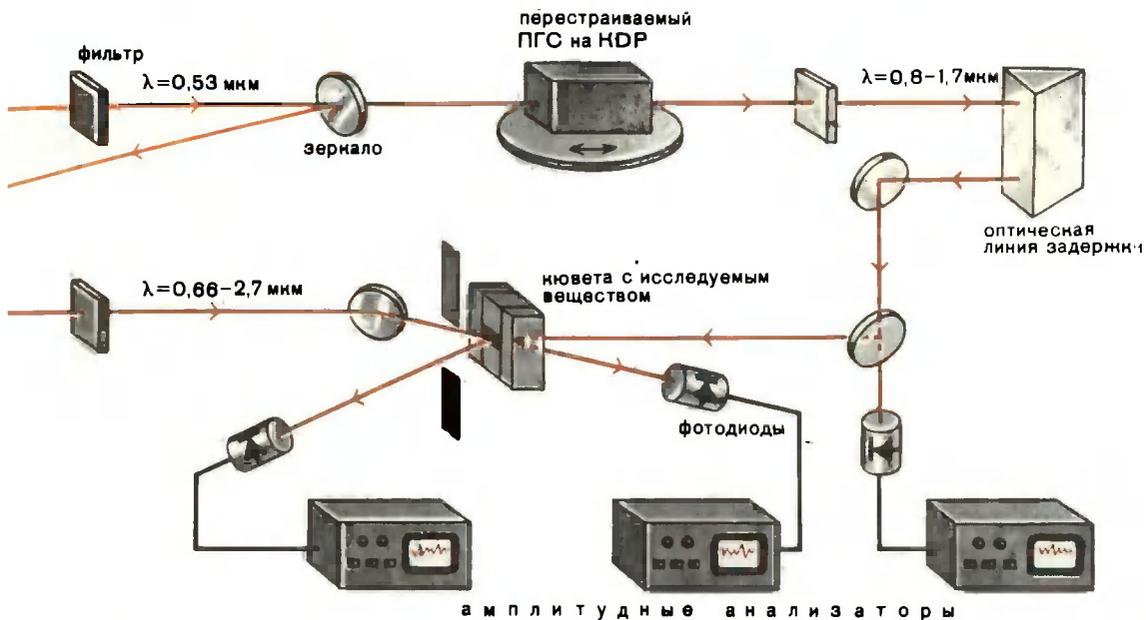
оптике вместо обычного для слабых полей соотношения между поляризацией и полем  $\vec{P} = \chi \vec{E}$ , где  $\chi$  — линейная восприимчивость, следует записать, вообще говоря, бесконечный ряд по возрастающим степеням напряженности светового поля<sup>4</sup>:

$$\vec{P} = \chi \vec{E} + \chi^{(2)} \vec{E} \vec{E} + \chi^{(3)} \vec{E} \vec{E} \vec{E} + \chi^{(4)} \vec{E} \vec{E} \vec{E} \vec{E} + \dots$$

в сильных световых полях проявляется ангармоничность отдельных атомов, молекул или среды в целом. Коэффициенты в раз-

пии, и к настоящему времени здесь собран обширный материал, характеризующий поведение квадратичной  $\chi^{(2)}$  и кубической  $\chi^{(3)}$ , восприимчивостей, так что в этой области можно подвести определенные итоги.

Вкратце современную ситуацию можно резюмировать следующим образом. Наиболее законченный и замкнутый вид имеет нелинейная оптика и нелинейная спектроскопия простых атомных систем. Для простых атомов, у которых известны собственные состояния и их волно-



ложении поляризации по полю, так называемые нелинейные восприимчивости, характеризуют отклик среды на воздействие полей большой интенсивности и несут информацию о веществе, не содержащуюся в линейной восприимчивости. Современные лазеры позволяют получать напряженности световых полей до  $10^8$  В/см, поэтому регистрация нелинейных эффектов второго и третьего порядка по полю стала рутинным экспериментом. Изучение дисперсии, (т. е. зависимости от частоты света) нелинейной восприимчивости — это предмет так называемой нелинейной спектроско-

пции, методами квантовой механики теории возмущений удается рассчитать нелинейные восприимчивости произвольного порядка. Дисперсия этих восприимчивостей имеет сложный вид, поскольку резонансы нелинейных восприимчивостей возникают не только при совпадении частот действующих полей с собственными частотами атома, но и при совпадении с ними тех или иных комбинаций этих частот. Надо сказать, что наличие достаточно мощных перестраиваемых лазеров позволяет провести тщательные измерения нелинейных восприимчивостей атомов; в не слишком сильных лазерных полях совпадение результатов теории и эксперимента оказывается очень хорошим.

Новые проблемы здесь связаны с

<sup>4</sup> См., например: Ахманов С. А. Нелинейная оптика. — «Природа», 1970, № 3.

изучением эффектов сильного поля, когда существенными становятся эффекты насыщения, сдвиг и расщепление уровней и ряд других, т. е. начинает проявляться зависимость самой нелинейной восприимчивости от напряженности светового поля.

Во многом сходная ситуация имеет место для нелинейных восприимчивостей простых молекул вблизи их колебательно-вращательных резонансов. Хотя это сравнительно молодая область нелинейной оптики (первые эксперименты были выполнены всего два года назад), можно утвер-

ждать, что для относительно простых молекул дисперсия нелинейной восприимчивости вблизи колебательно-вращательных резонансов имеет много общего с дисперсией нелинейной восприимчивости атомов вблизи их электронных резонансов.

Гораздо сложнее картина для электронных переходов в больших молекулах и в конденсированных средах. Однако и здесь в последние годы был достигнут значительный прогресс.

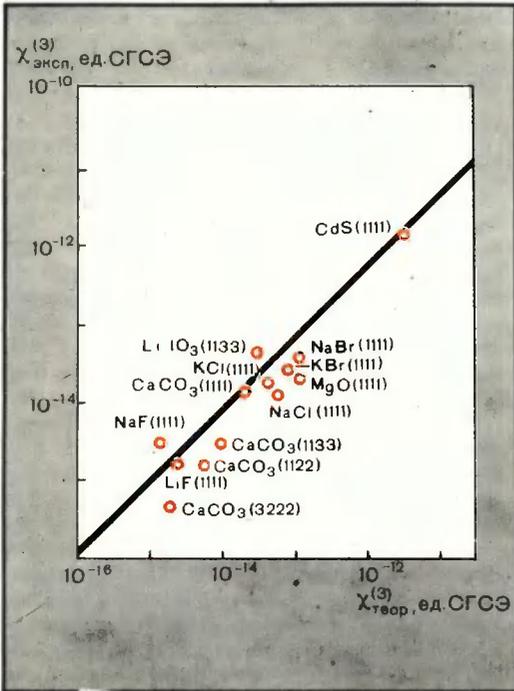
Сказанное относится прежде всего к изучению нелинейных восприимчивостей кристаллов. Несмотря на то что последовательный квантовомеханический расчет здесь оказался невозможным, были предложены простые феноменологические теории, позволившие систематизировать обширный экспериментальный материал по восприимчивостям  $\chi^{(2)}$  и  $\chi^{(3)}$ , получить количественные результаты, во многих случаях удивительно хорошо согласующиеся с экспериментом, и дать рецепты поиска новых нелинейно-оптических материалов.

В последние годы предложен ряд эффективных моделей для расчета нелинейных восприимчивостей кристаллов. Удачной оказалась развитая американским физиком Б. Левиним<sup>5</sup> так называемая модель связанного заряда, в которой вся нелинейность приписывается ангармоническому движению заряда вдоль связи между атомами решетки. Таким образом, тщательный расчет параметров в классической модели ангармонического осциллятора, введенной в нелинейную оптику еще в 1961—1962 гг., дает возможность правильно рассчитать нелинейные восприимчивости кристаллов.

## ОПТИЧЕСКИЕ НЕЛИНЕЙНОСТИ ВЫСШИХ ПОРЯДКОВ

Хотя подавляющее большинство работ по физической и прикладной нелинейной оптике и по сей день связано с изучением и использованием «младших» нелинейных восприимчивостей — квадратичной  $\chi^{(2)}$  и кубической  $\chi^{(3)}$ , — в последние годы было выполнено несколько экспериментов, в которых регистрировались и использовались нелинейные явления более высокого порядка по полю.

Интерес к исследованиям подобного рода связан с несколькими обстоятельствами. С точки зрения физической нели-



Сравнение экспериментальных значений кубической восприимчивости  $\chi^{(3)}$  для различных кристаллов с теоретическими, вычисленными с помощью модели кулоновского ангармонизма («ЖЭТФ», 1977, № 11).

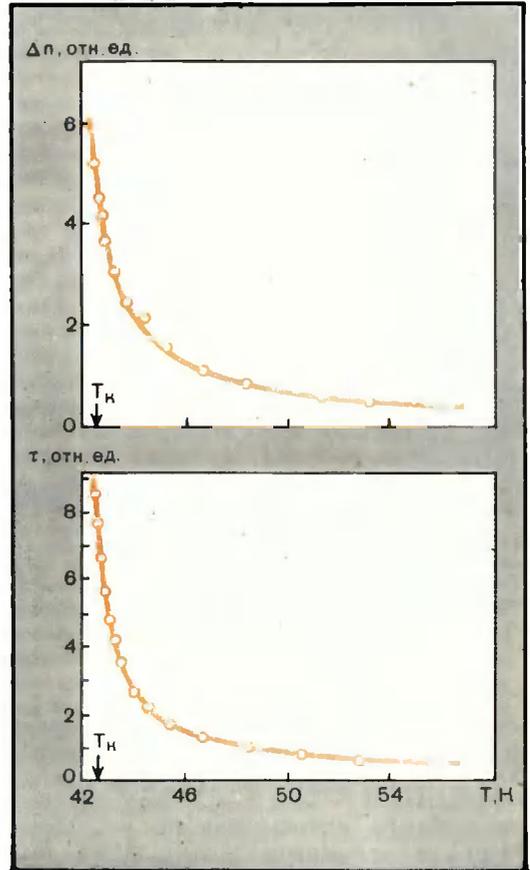
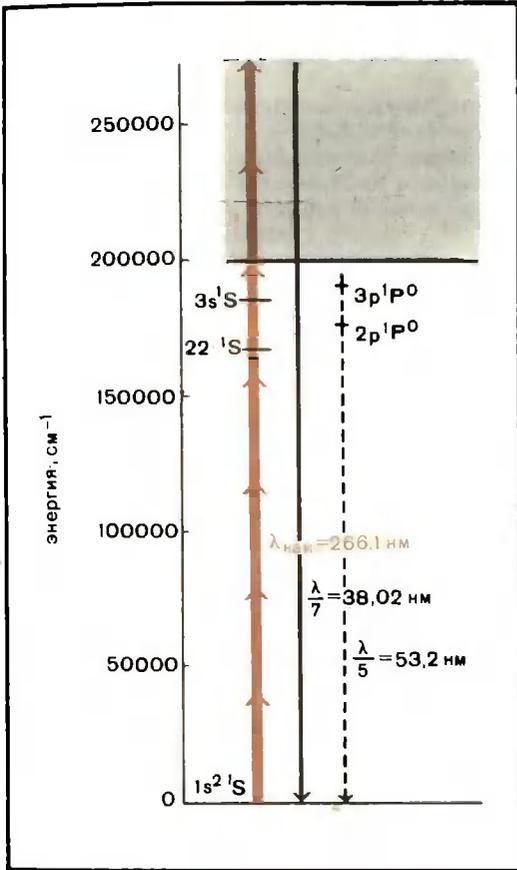
Сравниваются конкретные компоненты  $\chi_{ijkl}^{(3)}$  [следует иметь в виду, что  $\chi^{(3)}$  — тензор 4-го ранга]. Для расчета использовались теоретические формулы, основанные на относительно простой и физически наглядной модели, в которой оптические нелинейности связываются с ангармоническим движением электронных оболочек ионов. Тщательный учет локальных полей, действующих на ионы в решетке, позволил получить очень хорошее согласие с экспериментом (точки на плоскости —  $\chi_{теор}^{(3)}$ ;  $\chi_{эсп}^{(3)}$  весьма близко расположены к биссектрисе координатного угла).

<sup>5</sup> Levine B.— «Phys. Rev.», 1973, B, v. 7,

нейной оптики и нелинейной спектроскопии, изучение нелинейностей высших порядков является естественным следующим шагом в изучении нелинейных свойств вещества; на этом пути следует ожидать получения новой информации. Представляют интерес высшие нелинейности и для прикладной нелинейной оптики: благодаря нелинейной поляризации  $n$ -ого порядка  $P^{(n)} = \chi^{(n)} E^n$  световая волна частоты  $\omega$  возбуждает  $n$ -ую гармонику,  $\omega_n = n\omega$ , и при достаточно больших  $n$  использование такого умножения частоты позволяет про-

двинуться в коротковолновые диапазоны оптического спектра.

Вместе с тем очевидны и трудности, связанные с изучением и использованием нелинейностей высших порядков; нелинейные восприимчивости  $\chi^{(n)}$  быстро уменьшаются с ростом  $n$ , и поэтому для получения заметного нелинейного эффекта необходимо использовать достаточно мощные световые пучки. Причем ситуация в современной лазерной физике такова, что предел здесь определяется не мощностью лазеров (сейчас во многих

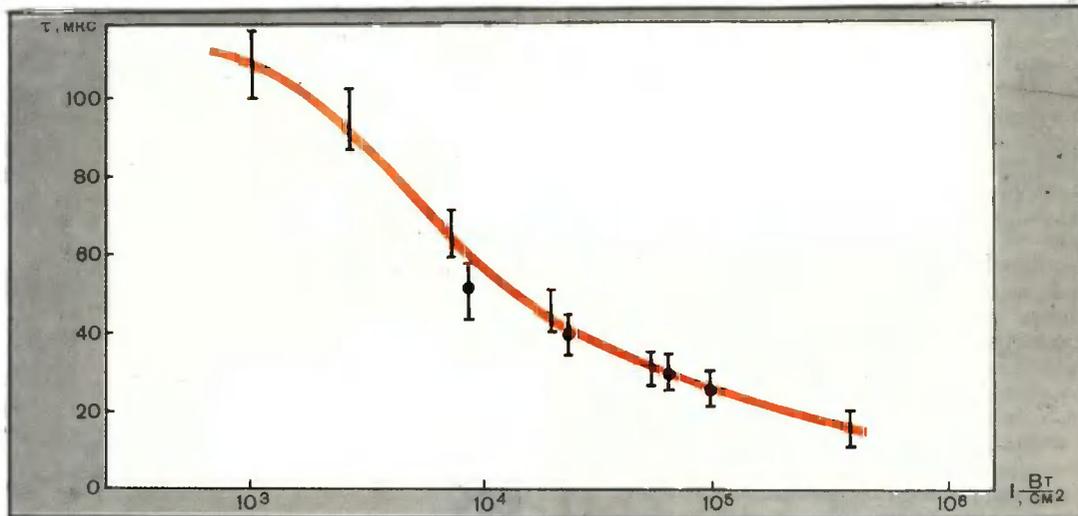


Энергетическая схема генерации пятой и седьмой, оптических гармоник в атомах гелия; отмечены положения энергетических уровней атома гелия; закрашена область сплошного спектра. Видно, что суммарная энергия четырех квантов лазерного излучения близка к энергии одного из переходов атома. Это позволяет использовать в эксперименте максимальные значения нелинейных восприимчивостей  $\chi^{(5)}$  и  $\chi^{(7)}$ .

Изучение фазовых переходов в жидких кристаллах методами нелинейной оптики. а) — нелинейная добавка к показателю преломления жидкого кристалла MBVA  $\Delta n = n_2 |E|^2$  как функция температуры; стрелкой на оси абсцисс отмечена температура фазового перехода. Сплошная кривая — теоретическая; точки — результаты эксперимента. б) — зависимость времени релаксации параметра порядка в нематическом жидком кристалле от температуры; сплошная кривая — теоретическая [«Phys. Rev. Lett.», 1973, v. 28, p. 635].

лабораториях возможно проведение экспериментов при потоках мощности  $10^{12}$ — $10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>), а конкурирующими нелинейными явлениями в веществе и прежде всего его оптическим пробоем. Поэтому возможности изучения высших оптических нелинейностей в той или иной среде определяются в первую очередь ее оптической прочностью, т. е. интенсивностью светового поля, вызывающей оптический пробой. Поскольку эта величина возрастает по мере сокращения длительности лазерного импульса, во всех выпол-

Гораздо более благоприятной оказывается ситуация при использовании в качестве преобразователей частоты благородных газов или паров металлов. Здесь предельные плотности мощности для пикосекундных лазерных импульсов значительно выше, чем в конденсированных средах; они составляют  $10^{12}$ — $10^{13}$  Вт/см<sup>2</sup>. При использовании перестраиваемых лазеров за счет настройки на узкие резонансы газовой среды удается работать при максимальных значениях нелинейных восприимчивостей высших порядков. В этих ус-



Зависимость времени колебательно-поступательной релаксации  $\tau$  в молекулярном газе  $SF_6$  от интенсивности селективного лазерного возбуждения на длине волны 10,6 мкм.

ненных до сих пор работах по изучению высших нелинейностей использовались сверхкороткие лазерные импульсы длительностью  $10^{-11}$ — $10^{-12}$  с. В первых экспериментах по преобразованию излучения лазера на неодимовом стекле ( $\lambda = 1,06$  мкм) в пятую гармонику ( $\lambda_5 = \lambda/5 \approx 0,2$  мкм), проведенных в лаборатории нелинейной оптики МГУ, применялись кристаллы кальцита, оптическая прочность которых оказалась равной  $10^{10}$ — $10^{11}$  Вт/см<sup>2</sup> при длительности импульса  $10^{-12}$  с. Коэффициент преобразования мощности в этих экспериментах не превышал  $10^{-12}$ , а соответствующая нелинейная восприимчивость  $\chi^{(5)} \approx 10^{-30}$  ед. СГСЕ. Полученные результаты были использованы для проверки теорий нелинейных свойств кристаллов.

ловиях генерация пятой и даже седьмой оптических гармоник, обусловленная нелинейностями  $\chi^{(5)}$  и  $\chi^{(7)}$  (в газе отличны от нуля только нечетные члены в разложении поляризации по полю), становится уже довольно эффективной.

Указанные процессы были использованы группой американских физиков из Морской исследовательской лаборатории в Вашингтоне для получения когерентного излучения в области далекого вакуумного ультрафиолета<sup>6</sup>. В их опытах мощные сверхкороткие лазерные импульсы с длиной волны 2660 Å возбуждали газообразный гелий; на выходе кюветы с гелием было зарегистрировано получение 5-й (532 Å) и 7-й (380,2 Å) гармоник. Получение когерентного излучения на длине волны 380,2 Å — рекорд для современной квантовой электроники, это кратчайшая длина волны когерентного излучения в на-

<sup>6</sup> Reijntjes J. et al. — Appl. Phys. Lett., 1977, v. 30, № 9.

стоящее время. Достигнутые коэффициенты преобразования  $\sim 10^{-5}$ — $10^{-6}$  позволяют рассчитывать на практическое применение таких источников<sup>7</sup>.

### МЕТОДЫ НЕЛИНЕЙНОЙ ОПТИКИ В ИЗУЧЕНИИ ФАЗОВЫХ ПЕРЕХОДОВ

Большое разнообразие нелинейных оптических явлений существенно расширило возможности применения оптических методов для изучения фазовых переходов, в особенности фазовых переходов второго рода, которые обычно связаны со скачкообразным изменением свойств симметрии тела.

Так, эффект генерации второй оптической гармоники, очень чувствительный к изменению симметрии среды, успешно использовался для оптического контроля фазовых переходов второго рода в кристаллах  $\text{NH}_4\text{Cl}$  и кварца.

Очень удобным инструментом для изучения фазовых переходов в жидких кристаллах оказался оптический эффект Керра<sup>8</sup>, который заключается в выстраивании анизотропных молекул вдоль вектора напряженности электрического поля световой волны. В результате такого выстраивания появляется квадратичная по напряженности поля добавка к показателю преломления:

$$\Delta n = n_2 E^2$$

где  $n_2$  — так называемая константа оптического эффекта Керра. Этот эффект наблюдается во многих жидкостях и газах с анизотропными молекулами. Наблюдается он и в нематических жидких кристаллах, в которых величина  $n_2$  непосредственно связана с параметром порядка<sup>9</sup>. Использование теории фазовых переходов Ландау для нематического жидкого кристалла показывает, что вблизи точки фазового перехода из изотропной фазы в нематическую эта константа обратно пропорциональна величине  $(T - T_K)$ , где  $T_K$  — критическая температура, т. е. испытывает характерный для критических явлений рост.

Современными экспериментальными средствами (например, интерферометрическими методами) измерение величины  $\Delta n$  может быть выполнено с очень высокой степенью точности; таким образом, экспериментаторы получают в свое распоряжение новый оптический метод изучения критических явлений в жидких кристаллах. Особенно привлекательной оказывается здесь возможность прямого измерения температурной зависимости времени релаксации параметров порядка, т. е. кинетики разупорядочения кристалла.

Надо сказать, что роль нелинейной оптики в изучении фазовых переходов не исчерпывается только созданием новых методов изучения критических явлений. Ряд нелинейных оптических эффектов, носящих характер неустойчивостей, таких, в частности, как параметрическая генерация и вынужденное рассеяние, могут рассматриваться как аналоги фазовых переходов. Начало исследованиям в этом направлении положили работы, в которых процесс самовозбуждения лазера рассматривался как фазовый переход. В этом случае аналогом рассмотренного выше параметра порядка служит комплексная амплитуда светового поля, а явления вблизи порога самовозбуждения оказываются полностью аналогичными явлениям вблизи точки фазового перехода. В лаборатории нелинейной оптики МГУ была выполнена серия работ, в которых экспериментально прослежена эта аналогия.

Таким образом, лазерная физика и нелинейная оптика дают и новые примеры систем, в которых происходят фазовые переходы. Разнообразие нелинейных характеристик позволяет здесь осуществить такие фазовые переходы, которые до сих пор были предметом лишь теоретического изучения. Открываются и интересные возможности изучения нестационарных явлений при фазовых переходах. Заслуживает специального упоминания и то обстоятельство, что лазерные и нелинейно-оптические фазовые переходы во многих случаях исчерпывающим образом описываются теорией самосогласованного поля Ландау — факт, обусловленный характером взаимодействий в этих системах.

### ПРОЦЕССЫ РЕЛАКСАЦИИ В СИЛЬНО ВОЗБУЖДЕННЫХ МОЛЕКУЛЯРНЫХ КОМПЛЕКСАХ

Несомненно, одной из центральных проблем физики взаимодействия излучения с веществом является изучение про-

<sup>7</sup> В самое последнее время группой Софийского университета был зарегистрирован процесс генерации 9-й гармоники. (См.: Grozeva M. et al.—«Opt. Comm.», 1977, v. 23, № 1.)

<sup>8</sup> Shen Y.—«Rev. Mod. Phys.», 1976, № 1.  
<sup>9</sup> Чистяков И. Г., Вистинь Л. К. Симметрия, структура и свойства жидких кристаллов.—«Природа», 1972, № 2.

цессов релаксации энергии возбуждения.

Мы уже приводили примеры применения пикосекундной лазерной техники для изучения релаксации возбуждения в фотосинтезирующих молекулярных комплексах. Надо сказать, что эта техника развивается сейчас очень быстрыми темпами. Прикладная нелинейная оптика предоставляет в распоряжение экспериментаторов перестраиваемые генераторы сверхкоротких импульсов, преобразователи и детекторы сигналов и т. п. Вместе с тем в самом исследовании релаксационных процессов все большую роль начинают играть нелинейные оптические явления. Один из наиболее известных примеров связан с использованием нелинейно-оптических методов возбуждения комбинационно-активных колебательных переходов в молекулах<sup>10</sup>.

Здесь нам хотелось бы обратить внимание на новый круг задач, возникающих при исследовании релаксационных явлений в сильно возбужденных молекулах, на задачи, связанные непосредственно с изучением нелинейных эффектов в релаксационных процессах.

Новые нелинейные явления были обнаружены как при межмолекулярном, так и при внутримолекулярном энергообмене. Например, при исследовании процесса передачи колебательного возбуждения молекул  $SF_6$  их поступательному движению (колебательно-поступательной релаксации) установлено, что время этой релаксации сильно зависит от интенсивности возбуждения. Это один из простейших примеров сильной нелинейности в процессах релаксации, связанных с межмолекулярными взаимодействиями. Аналогичные эффекты наблюдались в нашей лаборатории и при колебательно-колебательном межмолекулярном энергообмене. Недавно нелинейные эффекты были зарегистрированы и при трансформации энергии такими сложными молекулярными комплексами, как фотореакционные центры, возбуждаемые мощными сверхкороткими световыми импульсами. Исследовательской группой, работающей в Лос-Аламосской лаборатории (США), была обнаружена сильная зависимость квантового выхода люминесценции хромофоров от интенсивности облучения<sup>11</sup>.

Связь между различными модами сложной молекулы может приводить к весьма разнообразным процессам нелинейного взаимодействия в сильно возбужденных молекулах. Несомненно, сейчас это одно из интереснейших направлений физики нелинейных колебаний молекул.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ. НЕЛИНЕЙНАЯ ОПТИКА И НЕЛИНЕЙНАЯ СПЕКТРОСКОПИЯ

Рассмотренными в этой статье примерами не исчерпывается перечень новых методов изучения вещества, открываемых нелинейной оптикой. Работы, выполненные в последние годы, показывают, что практически все основные нелинейные оптические явления, такие как генерация гармоник и смещение частот излучения, самофокусировка, самодефокусировка и самомодуляция лазерных пучков, когерентные нелинейные эффекты (такие, как самоиндуцированная прозрачность, оптические нутации и т. п.) стали реальными спектроскопическими методами, применимыми для исследования газов, жидкостей и твердых тел.

Речь, разумеется, идет о нелинейной спектроскопии<sup>12</sup> в широком смысле, где измерения дисперсии восприимчивостей дополняются прямыми измерениями времен релаксации, позволяющими непосредственно контролировать процессы релаксации поляризации и населенностей уровней в атомах, молекулах и конденсированных средах. Нелинейная спектроскопия в широком смысле и является, несомненно, главным направлением современной физической нелинейной оптики.

Одно из существенных достижений на этом пути — результаты, полученные в последние годы методами так называемой четырехфотонной спектроскопии.

Речь идет о спектроскопических применениях известного уже много лет в нелинейной оптике процесса смещения волн на нелинейности, кубичной по полю:  $P = \chi^{(3)} E^3$ . Если поляризацию указанного типа возбудить сразу триплетом световых волн с частотами  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ , то за счет их нелинейного взаимодействия возникнет спектр новых световых волн, с частотами

<sup>10</sup> Ахманов С. А., Коротеев Н. И. Лазерная спектроскопия рассеяния света — новые эффекты и новые методы, — «Природа», 1976, № 7.

<sup>11</sup> Campillo A., Shapiro A.—In: Ultrashort Light Pulses. Springer—Verlag, 1977.

<sup>12</sup> Летохов В. С., Чеботаев В. П. Нелинейные узкие резонансы в оптике и их применение.—«Природа», 1978, № 3.

$$\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 + \omega_3; \quad \omega_4' = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3;$$

$$\omega_4'' = \omega_1 - \omega_2 - \omega_3 \text{ и т. п.}$$

Это и есть четырехфотонные процессы: в каждом элементарном акте участвуют четыре кванта излучения.

Мощности соответствующих волн пропорциональны значениям нелинейной восприимчивости  $\chi^{(3)}$ , на соответствующих частотах. Если излучение на частотах  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$  генерируется лазерами с перестраиваемой частотой, то, исследуя четырехфотонные процессы, можно измерять дисперсию кубической восприимчивости  $\chi^{(3)}$ . Информация, полученная таким образом, имеет двоякий характер.

С одной стороны, измерение дисперсии нелинейной восприимчивости несет новую информацию о веществе, недоступную традиционной, линейной оптической спектроскопии. С другой стороны, данные, являющиеся примером традиционной оптической спектроскопии — о положении и ширине спектральных линий, сечениях рассеяния и т. п., — могут быть получены с гораздо большей чувствительностью, лучшим спектральным разрешением также путем измерения дисперсии восприимчивости  $\chi^{(3)}$ .

Этот аспект нелинейной лазерной спектроскопии представляется особенно важным.

В четырехфотонной спектроскопии, с этой точки зрения, особенно интересно изучение дисперсии нелинейной восприимчивости  $\chi^{(3)}$ , связанной с процессом вида  $\omega_4 = \omega_1 + \omega_2 - \omega_3$ . Резонансы в  $\chi^{(3)}$  (а следовательно и резонансное увеличение мощности излучения на частоте  $\omega_4$ ) возникают, когда либо сами частоты  $\omega_1, \omega_2, \omega_3$ , либо их комбинации, в частности сумма  $\omega_1 + \omega_2$  и разность  $\omega_2 - \omega_3$ , совпадают с соответствующими резонансными частотами атомов или молекул.

Последнее обстоятельство открывает совершенно новые возможности в спектроскопии; действительно, использование резонансов на суммарной и разностной частотах позволяет изучать резонансные процессы в веществе в условиях, когда частоты всех световых волн, возбуждающих среду и генерируемых в ней за счет нелинейных процессов, лежат в области прозрачности.

В самое последнее время использование таких методов позволило с высокой степенью точности исследовать ряд экситонных резонансов в кристаллах; комбинационных резонансов в газах и конденсированных средах. Необходимо отметить, что

теория этих новых методов нелинейно-лазерной спектроскопии в значительной мере основывается на работах Рема Викторовича Хохлова по теории вынужденного комбинационного рассеяния, выполненных в 1962—1963 годах. В частности, в работах лаборатории нелинейной оптики МГУ указанные методы были использованы для разрешения неоднородно-уширенных полюсов комбинационного рассеяния в жидкостях. Методы нелинейной спектроскопии позволили здесь выявить структуру полюсов комбинационного рассеяния, обусловленную водородными связями<sup>13</sup>.

Ряд интересных результатов получен и при использовании четырехфотонной спектроскопии для изучения узких комбинационных резонансов в жидкостях, в частности в криогенных жидкостях и смесях. Здесь удалось получить новые данные о динамике межмолекулярных взаимодействий в простых жидкостях, в том числе о вкладе колебательных-вращательных взаимодействий в ширину линии комбинационного рассеяния.

Если в четырехфотонной спектроскопии использовать импульсные источники светового излучения, то можно выполнить прямые измерения времен релаксации для исследуемых резонансных переходов во веществе.

Нелинейной спектроскопии в широком смысле был посвящен ряд Международных конференций и школ, состоявшихся в последние годы.

Этому аспекту нелинейной оптики была, в частности, посвящена 64 Международная школа по физике им. Э. Ферми, состоявшаяся летом 1976 г. в г. Варенне (Италия).

Труды школы, опубликованные в 1977 г. издательством North-Holland<sup>14</sup>, в ближайшее время выйдут в русском переводе. Отдавая дань огромному вкладу, внесенному Ремом Викторовичем Хохловым в развитие этой области физики, интернациональный коллектив лекторов школы им. Э. Ферми единодушно решил посвятить русское издание трудов его памяти. Влияние идей и работ Рема Викторовича Хохлова на развитие квантовой электроники и нелинейной оптики, на саму атмосферу научного общения сохранится надолго.

<sup>13</sup> Ахманов С. А., Бункин А. Ф., Иванов С. Г., Коротеев Н. И. — «ЖЭТФ», 1978, т. 74, № 4.

<sup>14</sup> Nonlinear Spectroscopy, — North-Holland Publishing Company, Amsterdam, 1977.

## Новый метод регистрации инфракрасного излучения

Э. С. Воронин, В. С. Соломатин, В. В. Шувалов

Развитие нелинейной оптики, начала которой были заложены при активном участии Р. В. Хохлова<sup>1</sup>, привело, с одной стороны, к исследованию многих принципиально новых физических явлений, и, с другой стороны, — к появлению ряда устройств, расширяющих возможности генерации и детектирования оптического излучения в широком спектральном диапазоне.

Оптическое излучение занимает обширный участок шкалы электромагнитных колебаний: от 750 мкм до нескольких сотен ангстрем. На участок видимого света приходится небольшая часть этого огромного диапазона: интервал длин волн от 0,76 до 0,3 мкм, и именно в видимой области методы детектирования и обработки оптических сигналов доведены до наиболее высокой степени совершенства.

Под инфракрасной областью понимают участок электромагнитного спектра, лежащий между видимым диапазоном и диапазоном СВЧ (длины волн в интервале 0,76—750 мкм). С момента открытия тепловых лучей У. Гершелем прошло всего около 180 лет, срок, казалось бы, не очень большой, однако сейчас во многих направлениях научных исследований современный уровень развития может быть достигнут только при использовании инфракрасных излучений.

В инфракрасной области лежат молекулярные спектры различных веществ. По сути дела, молекулярная спектроскопия, этот мощный инструмент исследования взаимодействий излучения с веществом и идентификации различных химических соединений, полностью относится к инфракрасной спектроскопии. В инфракрасную область попадает основная часть теплового излучения окружающих нас тел. Следовательно, обнаружение и бес-

контактное — оптическими методами — определение температур объектов в промышленности и научных исследованиях является задачей инфракрасной оптики. Астрономия и оптическая связь, спектроскопия и светолокация, тепловидение и дефектоскопия — вот далеко не полный перечень отраслей науки и техники, в которых находят применение оптические приборы инфракрасного (ИК) диапазона.

Без дополнительных объяснений ясно, что для полноценного освоения этого диапазона необходимы генераторы и приемники теплового излучения с самыми различными характеристиками. Проблема генерации когерентного ИК-излучения в целом успешно решена использованием лазеров с различными активными веществами (и различными рабочими переходами в них), в то время как детектирование ИК-излучения представляет собой отдельную и нелегкую задачу.

Параметры существующих в настоящее время приемников уже не удовлетворяют исследователей. Все их недостатки (сравнительно низкая чувствительность, инерционность, необходимость глубокого охлаждения) связаны, в конечном счете, с тем, что энергия детектируемого фотона сравнима по величине со средней энергией электронов в веществе при комнатной температуре и ниже. В таких условиях полезный сигнал поглощенного фотона теряется в тепловом шуме, и необходимо принимать специальные меры для его выделения.

Приемники оптического излучения видимого диапазона свободны от указанных недостатков, поскольку энергия фотона видимого света значительно больше средней энергии электронов в материале детектора и детектируемый сигнал не может «потонуть» в шуме. Следовательно, задача детектирования инфракрасного излучения могла бы существенно упроститься, если бы имелись возможности пре-

<sup>1</sup> Памяти Рема Викторовича Хохлова. — «Квантовая электроника», 1978, т. 5, № 2.



Эдуард Сергеевич Воронин, кандидат физико-математических наук, доцент физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Руководит группой, занимающейся проблемами использования параметрических преобразователей для визуализации изображений объектов, освещенных инфракрасным лазерным излучением. Лауреат Государственной премии.



Владимир Степанович Соломатин, кандидат физико-математических наук, доцент того же факультета. Специалист в области квантовой радиофизики. В последнее время активно работает над детектированием инфракрасного излучения методами нелинейной оптики. Лауреат Государственной премии.



Владимир Владимирович Швалов, кандидат физико-математических наук, младший научный сотрудник того же факультета. Занимается параметрическим преобразованием инфракрасного излучения в видимый диапазон.

образования инфракрасного сигнала в видимую область, т. е. увеличения энергии детектируемого фотона. Путь к реализации такой возможности предлагает нелинейная оптика.

Систематические исследования преобразования ИК-излучения в видимое начались в Московском университете в 1968 г. Уже через год была впервые экспериментально осуществлена такая «визуализация» изображения объекта, освещаемого ближним ИК-излучением.

Как же происходит преобразование излучения?

Пусть объектом нашего исследования является инфракрасная электромагнитная волна с частотой  $\omega_{\text{ИК}}$ . Для визуализации

содержащейся в ней информации ее излучение смешивается с мощным вспомогательным излучением видимого диапазона  $\omega_{\text{В}}$ . При этом используется так называемый нелинейный кристалл, свойства которого обсуждаются ниже. В кристалле образуется излучение суммарной частоты  $\omega_{\Sigma} = \omega_{\text{В}} + \omega_{\text{ИК}}$ , и, поскольку  $\omega_{\text{В}} \gg \omega_{\text{ИК}}$ , частота  $\omega_{\Sigma}$ , содержащая информацию об инфракрасном сигнале, также находится в видимой области спектра. Электромагнитное взаимодействие такого типа называется параметрическим преобразованием частоты инфракрасного излучения вверх ( $\omega_{\text{ИК}} \rightarrow \omega_{\Sigma}$ ,  $\omega_{\Sigma} \gg \omega_{\text{ИК}}$ ). Для выделения интересующей нас информации доста-

точно перед фотоприемником поместить фильтр, который пропускает только излучение частоты  $\omega_{\Sigma}$ .

Возникает вопрос, насколько эффективно может осуществляться перекачка энергии волны-сигнала в новый спектральный диапазон. Для анализа механизма перекачки световой энергии необходимо рассмотреть свойства среды, в которой производится смешивание излучений. Под действием поля электромагнитной волны в диэлектрике происходит ориентация его молекул, распространяющаяся

Здесь — линейная,  $\chi^{(2)}$  — квадратичная восприимчивость. Нулевой член в представлении такого типа должен отсутствовать, поскольку поляризация среды возникает лишь при наличии внешнего поля. В математическом отношении такое представление вектора поляризации оказывается очень удобным: оно позволяет отвлечься от построения модели среды, сводя задачу к экспериментальному определению коэффициентов  $\chi$  и  $\chi^{(2)}$ . Приведенное выражение показывает<sup>2</sup>, что при смешивании двух сигналов вектор поляризации и, сле-

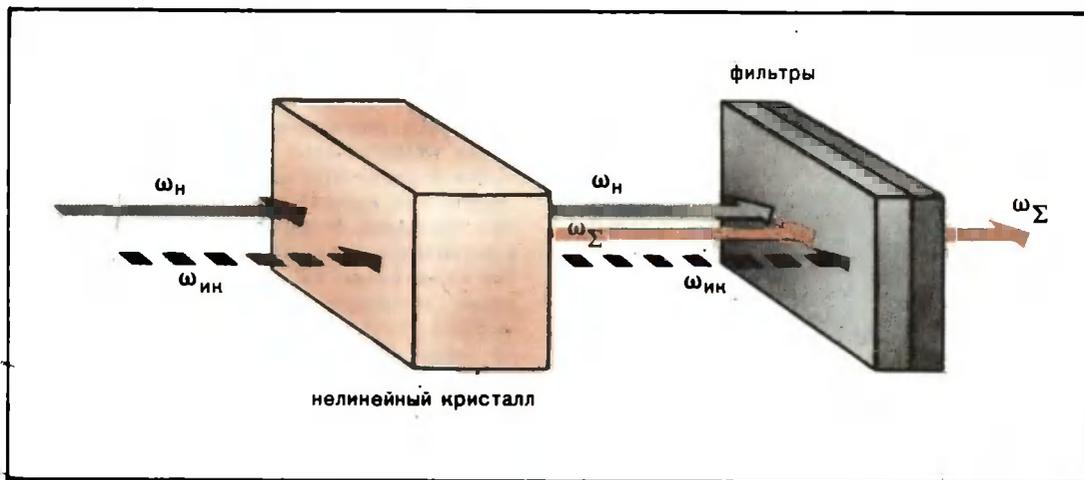


Схема детектора инфракрасного излучения с нелинейным кристаллом-преобразователем. На нелинейный кристалл падают сигнальное излучение  $\omega_{\Sigma}$  и мощная световая волна накачки  $\omega_{in}$ . В кристалле происходит генерация излучения на суммарной частоте  $\omega_{\Sigma}$ , которое после фильтрации регистрируется каким-либо приемником видимой области спектра.

вдоль диэлектрика в виде волны поляризации. Она представляет собой колебание связанных зарядов элементарных диполей. При небольших интенсивностях падающего излучения поляризация среды линейно зависит от напряженности возбуждающего поля; при увеличении интенсивности зависимость между поляризацией  $P$  и напряженностью поля  $E$  электромагнитной волны становится нелинейной, и для правильного описания взаимодействия поля с диэлектриком мы должны учесть «квадратичные по полю» члены:

$$P = \epsilon E + \chi^{(2)} E^2.$$

довательно, напряженность поля  $E_{\Sigma}$  суммарной частоты должны быть пропорциональны напряженностям полей накачки  $E_n$  и сигнального излучения  $E_{\Sigma}$ . Кроме того, величина  $E_{\Sigma}$  определяется, очевидно, полным числом излучающих диполей, т. е. такими геометрическими параметрами, как длина взаимодействия  $l$  и эффективная площадь поперечного сечения объема взаимодействия  $S$ . В результате выражение для нелинейной компоненты суммарного электромагнитного поля  $E_{\Sigma}$  можно записать в виде:

$$E_{\Sigma} \sim \chi^{(2)} E_n E_{in} l.$$

На практике чаще используются энергетические характеристики электромагнитной волны, и в частности мощность излучения  $W$ . Учитывая, что эта величина пропорциональна квадрату напряженности поля и площади поперечного сечения пучка

<sup>2</sup> Ахманов С. А. Нелинейная оптика. В сб. «Квантовая электроника». М., 1969.

излучения ( $W \sim E^2 S$ ), легко получить значение эффективности преобразования  $\eta$ :

$$\eta = \frac{W_{\Sigma}}{W_{\text{ИК}}} \sim \chi^{(2)2} W_{\text{н}} \frac{l^2}{S}.$$

Величина  $\eta$  определена как отношение мощности выходящей из нелинейной среды преобразованной волны к мощности регистрируемого сигнала.

Полученная формула имеет, конечно, приближенный характер. Она не учитывает процессов поглощения волн, уменьшения напряженности сигнального поля по длине кристалла за счет перекачки его энергии в излучение суммарной частоты, апертурные эффекты и многое другое. Тем не менее это выражение очень наглядно, оно часто используется для проведения численных оценок.

Разработано множество методов увеличения эффективности преобразования: фокусировка взаимодействующих пучков, помещение нелинейной среды внутрь резонатора лазера накачки и др. В современных экспериментальных работах как в ближнем ( $\lambda_{\text{ИК}} \sim 1 - 3$  мкм), так и в среднем ( $\lambda_{\text{ИК}} \sim 10$  мкм) ИК-диапазонах величина  $\eta$  часто имеет значение даже больше 1. Этому парадоксальному, на первый взгляд, факту можно дать очень простое объяснение. С квантовой точки зрения, в нелинейной среде происходит процесс слияния фотонов накачки и сигнального излучения, в результате которого образуются фотоны излучения на суммарной частоте. Таким образом, максимальное число квантов преобразованного излучения в точности равно числу квантов ИК-сигнала. С другой стороны, их энергия пропорциональна частоте, поэтому наибольшее значение эффективности преобразования равно не 1, а отношению частот  $\omega_{\Sigma} / \omega_{\text{ИК}}$ . Дополнительная энергия поступает от генератора излучения накачки; например, при преобразовании частоты излучения среднего ИК-диапазона в видимую область спектра  $\eta_{\text{макс}} = 20$ .

Анализ эффективности процессов нелинейного преобразования частоты мы провели, не обращая внимания на соотношение между фазами волн, излучаемых отдельными диполями. Более того, мы, хотя и не говорили специально об этом, считали, что они точно сфазированы. Только при этом по мере распространения в среде происходит непрерывное нарастание мощности излучения на суммарной частоте. Такая картина наблюдается далеко не всегда.

Рассмотрим, как влияют фазовые соотношения на процесс преобразования частоты. Если на нелинейный кристалл падает мощное монохроматическое излучение накачки  $\omega_{\text{н}}$  и ИК-излучение частоты  $\omega_{\text{ИК}}$ , то внешнее поле представляет собой суперпозицию этих двух монохроматических полей, а в выражении для вектора поляризации появляется гармонический член с суммарной частотой:

$$P(\omega_{\Sigma}) \sim \cos\left[(\omega_{\text{н}} + \omega_{\text{ИК}})t + (\vec{k}_{\text{н}} + \vec{k}_{\text{ИК}}) \cdot \vec{r}\right].$$

Здесь  $t$  — время,  $\vec{r}$  — радиус-вектор, характеризующий координату.  $\vec{k}_{\text{н}}$  и  $\vec{k}_{\text{ИК}}$  — волновые векторы, определяющие направление распространения волн и их фазовую скорость:

$$v_{\text{н}} = \omega_{\text{н}} / k_{\text{н}} \text{ и } v_{\text{ИК}} = \omega_{\text{ИК}} / k_{\text{ИК}}.$$

Волна поляризации, как следует из этого выражения, характеризуется волновым вектором  $\vec{k}_{\Sigma} = \vec{k}_{\text{н}} + \vec{k}_{\text{ИК}}$  и фазовой скоростью  $v_{\Sigma} = \omega_{\Sigma} / k_{\Sigma}$ . Но фазовая скорость излучаемой диполями электромагнитной волны  $v_{\Sigma} = \omega_{\Sigma} / k_{\Sigma}$  при этом будет отличаться от фазовой скорости волны поляризации. Это обстоятельство обусловлено тем, что в кристаллах показатель преломления для волн с частотами  $\omega_{\text{н}}$ ,  $\omega_{\text{ИК}}$  и  $\omega_{\Sigma}$  различен; другими словами, имеет место дисперсия показателя преломления. Если же фазовые скорости  $v_{\Sigma}$  и  $v_{\Sigma}$  неодинаковы, складывающаяся ситуация неблагоприятна: сдвиг фаз между дипольным излучением и электромагнитной волной, приходящей в данную точку, линейно зависит от ее координаты. Процессы излучения и поглощения энергии на частоте  $\omega_{\Sigma}$  начинают чередоваться по длине кристалла.

Для того чтобы перекачка энергии падающего на среду электромагнитного излучения в излучение суммарной частоты была эффективна, необходимо, чтобы сдвиг фаз между волной поляризации и излучением на суммарной частоте сохранялся постоянным вдоль всего кристалла. Это условие называется условием фазового синхронизма и математически может быть выражено следующим образом:

$$\Delta k = \left| \vec{k}_{\Sigma} - \vec{k}_{\text{н}} - \vec{k}_{\text{ИК}} \right| \rightarrow 0.$$

В реальной ситуации из-за дисперсии показателя преломления условия фазового

синхронизма выполняются на конечном расстоянии, которое называется длиной когерентного взаимодействия  $l_{\text{ког}}$ .

На этом расстоянии величина фазового сдвига между излучением  $E_{\Sigma}$  на суммарной частоте и волной нелинейной поляризации  $P_{\Sigma}$  не должна превышать  $\pi$ . Легко убедиться, что соотношение между длиной когерентного взаимодействия и величиной  $\Delta k$  выражается следующим образом:

$$l_{\text{ког}} = \frac{\pi}{|\vec{k}_{\Sigma} - \vec{k}_n - \vec{k}_{\text{нк}}|}.$$

Максимальное значение эффективности преобразования пропорционально квадрату длины когерентного взаимодействия, и в выражении для наибольшего коэффициента преобразования длина кристалла  $l$  заменяется на  $l_{\text{ког}}$ :

$$\eta_{\text{макс}} = \chi^{(2)} W_{\text{в}} \frac{l_{\text{ког}}^2}{S}.$$

Обычно длина когерентного взаимодействия составляет всего около 10 мкм. Таким образом, полное число когерентно излучающих диполей сравнительно невелико, а эффективность преобразования сигнального излучения чрезвычайно мала:  $\sim 10^{-6} - 10^{-10}$ . При таких условиях говорить о применении параметрических преобразователей частоты в приемных системах просто не имеет смысла: слишком велики потери мощности сигнального излучения.

Положение существенно улучшается при использовании нелинейных оптических анизотропных кристаллов. В таких кристаллах для волн, вектор напряженности электрического поля которых определенным образом ориентирован относительно фиксированного направления (оптической оси кристалла), показатель преломления может быть либо постоянным (обыкновенная волна), либо может изменяться в зависимости от направления распространения волны (необыкновенная волна). Таким образом, при взаимодействии волн с различным направлением вектора  $\vec{E}$  условие фазового синхронизма может быть выполнено за счет компенсации дисперсии показателя преломления кристалла его анизотропией. Возникновение при этом фазового синхронизма удобно иллюстрировать с помощью диаграммы волновых векторов: при некоторых значениях угла падения излучения накачки  $\theta_{\text{в}}$  треугольник векторов

$\vec{k}_{\Sigma}$ ,  $\vec{k}_{\text{нк}}$ ,  $\vec{k}_n$  замыкается, и условие

$$\Delta k = |\vec{k}_{\Sigma} - \vec{k}_n - \vec{k}_{\text{нк}}| = 0$$

оказывается выполненным. Величина расстройки  $\Delta k$ , зависящая от дисперсионных характеристик среды, определяет наибольшую когерентную длину, которая должна превышать длину нелинейного кристалла. В таких условиях кристаллы хорошего качества обеспечивают эффективное преобразование энергии в суммарную электромагнитную волну.

Параметрические преобразователи частоты на основе нелинейных кристаллов существенно расширяют возможности детектирования инфракрасного излучения. Лабораторные макеты таких приемных систем уже сейчас почти не уступают по чувствительности лучшим традиционным приемникам теплового излучения. Реализованная в лабораторных условиях пороговая чувствительность составила  $\sim 10^{-15}$  Вт в ближнем и  $\sim 10^{-12}$  Вт в среднем ИК-диапазонах. Отметим, что такая приемная система не требует глубокого охлаждения и может быть очень быстродействующей. Ее инерционность определяется временем электронной поляризуемости среды (т. е. в нашей модели временем установления вынужденных колебаний электрона). Это время обычно имеет величину порядка  $10^{-14}$  с.

Уже сейчас преобразователи частоты с успехом применяются в астрофизических измерениях. С их помощью осуществлено определение абсолютных значений длин волн генерации лазера на углекислом газе с точностью до  $2 \cdot 10^{-8}$ . Удалось получить изображение объекта, нагретого до температуры  $500^{\circ}\text{C}$ . При этом регистрация теплового излучения проводилась в ближнем инфракрасном диапазоне

$$(\lambda_{\text{ИК}} \sim 1 - 3 \text{ мкм}).$$

В средней инфракрасной области

$$(\lambda_{\text{ИК}} \sim 10 \text{ мкм}),$$

т. е. в максимуме излучения тел при комнатной температуре, детектируемая в видимом диапазоне мощность оказывается слишком мала. Тем не менее параметрическим методом с помощью чувствительных фотоумножителей уже зарегистрировано тепловое излучение металлической пластинки, охлажденной до температуры  $-30^{\circ}\text{C}$ .

Как уже отмечалось, инфракрасный

диапазон — диапазон молекулярных спектров самых различных соединений. Сюда же попадает основная часть излучения тел при комнатной температуре. Важной характеристикой преобразователя в связи с этим является ширина спектра излучения, которое может быть детектировано без существенных искажений, т. е. широкополосность приемника.

Эта величина определяется ориентацией нелинейного кристалла. Если в преобразователе выполнены условия фазового синхронизма для какой-то длины волны

бор, можно охарактеризовать спектральной шириной фазового синхронизма, т. е. таким изменением длины волны сигнального излучения, когда длина когерентного взаимодействия уменьшается от  $\infty$  до длины  $l$  нелинейного кристалла. С другой стороны, на основе этого механизма, поддерживая  $I_{\text{кор}} = I$ , можно производить перестройку детектора, обеспечивающую детектирование излучения в различных узких областях ИК-спектра, например, поворотом нелинейного кристалла или изменением частоты излучения накачки.

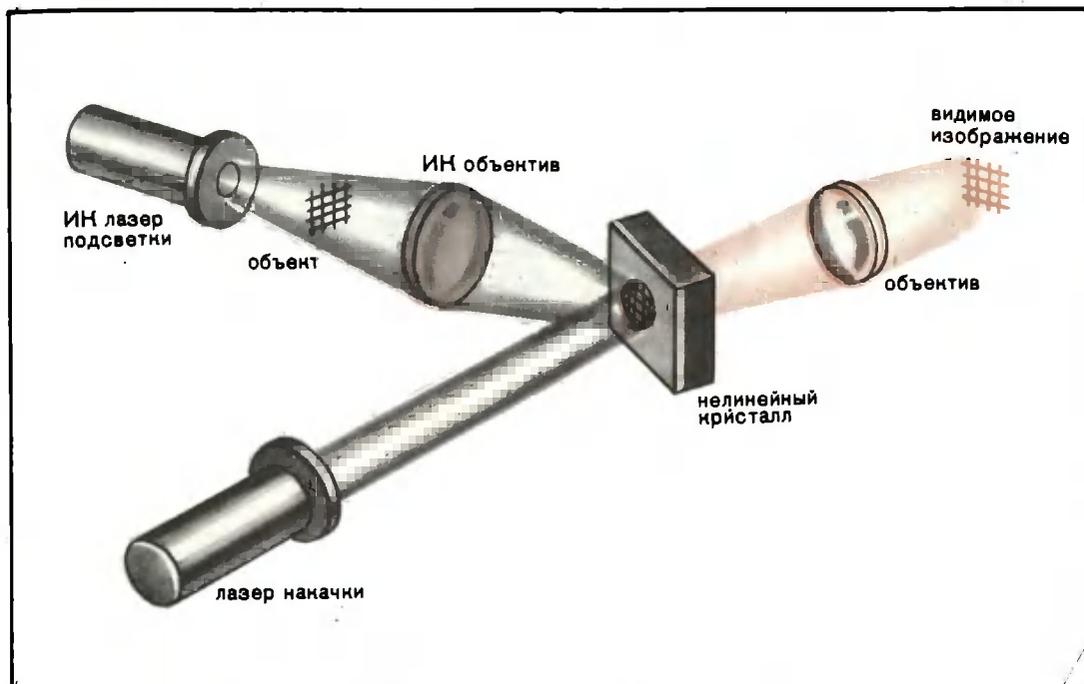


Схема преобразователя инфракрасного изображения. Волновой фронт инфракрасного источника смешивается в нелинейном кристалле с плоской волной источника накачки. Преобразованный в видимую область волновой фронт оказывается геометрически подобным сигнальному.

сигнального излучения, небольшое ее изменение приведет из-за дисперсии показателя преломления к уменьшению длины когерентного взаимодействия и, следовательно, уменьшению эффективности преобразования. Таким образом, спектральную область, в которой работает наш при-

Другой важной характеристикой преобразователя является предельная угловая расходимость регистрируемого сигнального излучения. Эта характеристика преобразователя частоты особенно важна при визуализации ИК-источника, имеющего конечные геометрические размеры. Не анализируя подробно зависимость эффективности преобразования от угловой расходимости ИК-излучения, укажем, что телесный угол, в пределах которого длина когерентности изменяется от  $\infty$  до  $l$ , заключен между двумя вложенными друг в друга коническими поверхностями с разными углами раствора. При определенной ориентации волновых векторов внутренний конус вырождается в линию, что соответствует максимальному углу зрения прибо-

ра. Раствор внешнего конуса при таких условиях определяет наименьшее расстояние между двумя точками объекта, которые в преобразованном свете не сливаются в одно изображение. В реальных кристаллах угол раствора этого конуса составляет примерно  $10^\circ$ .

Мы показали, что параметрический преобразователь частоты может сделать видимым фронт ИК-волны. Заметим, что в ряде случаев схема преобразования может быть выполнена так, что сохраняется информация и о глубине объекта. Тем не

ражения предмета применяются методы голографии.

Голография — сравнительно новый метод регистрации изображений, при котором информация об объекте записывается практически полностью. В последние годы уделяется большое внимание созданию методов голографической записи изображений объектов, освещаемых невидимыми излучениями (радио, ультразвуковая, инфракрасная голография), которые позволяют получать информацию через не-

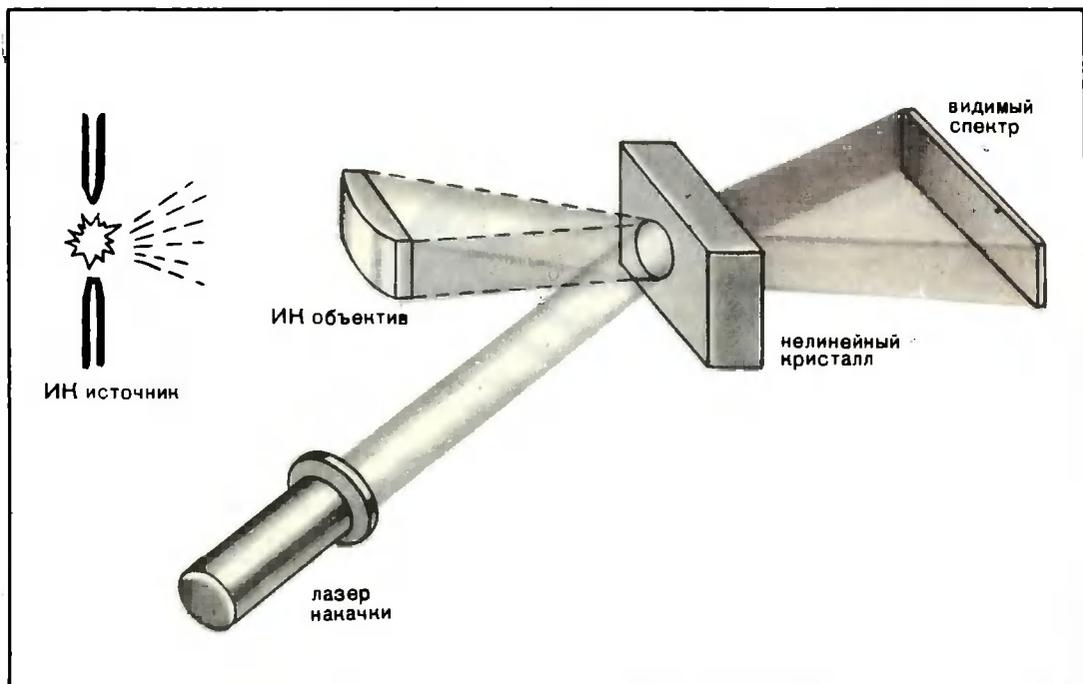


Схема спектрографа инфракрасного диапазона на основе преобразователя частоты, обладающего широкополосным спектром. Излучение ИК-источника падает на кристалл в виде сходящегося светового пучка. В таких условиях каждое направление, вдоль которого выполняется условие синхронизма, соответствует своей длине волны сигнального ИК-излучения. В результате преобразованное излучение, содержащее информацию о различных участках ИК-спектра источника, выходит под разными углами.

менее, как обычно, последующая «плоскостная» регистрация преобразованного изображения (например, фотографирование) просто ее уничтожает, поскольку информация о фазе волны теряется. Как известно, для регистрации объемного изоб-

прозрачные для видимого света преграды, облака, туман и т. д.<sup>3</sup>

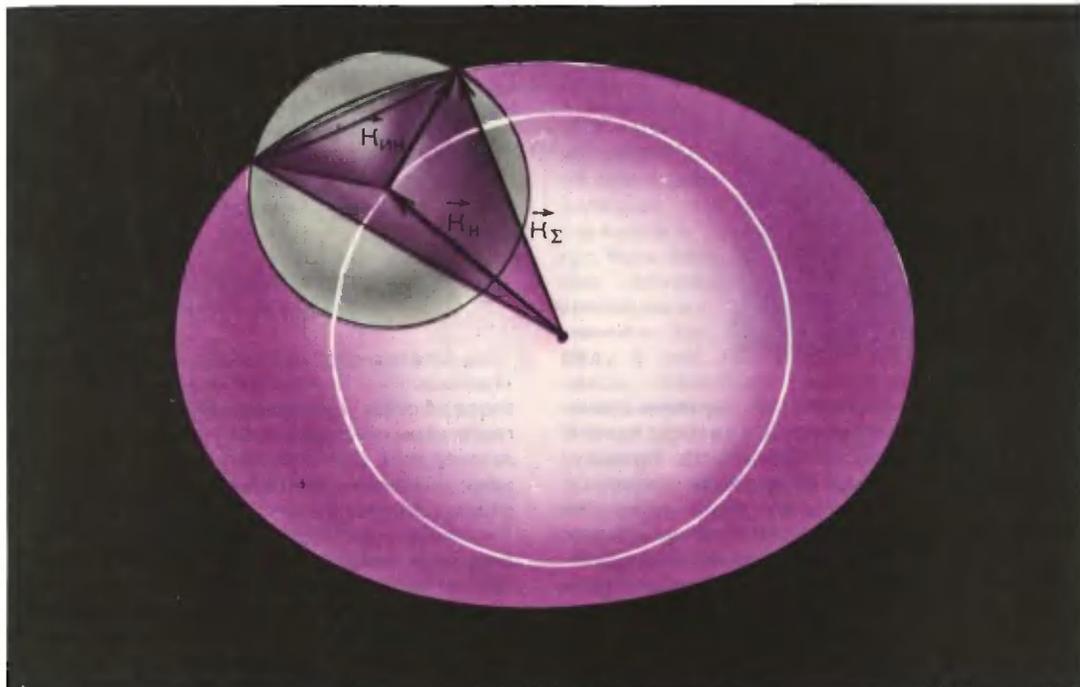
Непосредственная запись голограмм в ИК-диапазоне связана с общими трудностями регистрации ИК-излучения, которые обсуждались в начале нашей статьи: вследствие недостаточной энергии ИК-фотонов невозможна, в частности, и их фоторегистрация. Поэтому метод параметрического преобразования частоты оказывается здесь практически незаменимым.

<sup>3</sup> Воронин Э. С., Дивлекеев М. И., Ильинский Ю. А., Соломатин В. С., Хохлов Р. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1969, т. 10.

При записи голографического изображения ИК-объекта опорная волна получается либо в том же нелинейном кристалле — если угловая ширина синхронизма превышает угловые размеры объекта съемки, — либо в дополнительном. Сама голограмма записывается на фотослое, чувствительном в видимом диапазоне (на суммарной частоте), без использования какой-либо оптики.

Первые экспериментальные работы в этом направлении были выполнены в ближнем инфракрасном диапазоне

$$(\lambda_{\text{ИК}} = 1 \text{ мкм}).$$



Схема, поясняющая достижение условий фазового синхронизма в анизотропном нелинейном кристалле.

Волны накачки  $\vec{k}_H$  и ИК-сигнала  $\vec{k}_{\text{ИК}}$  — обыкновенные [в любом из направлений в кристалле показатель преломления для каждой из них постояен, и концы этих векторов описывают сферические поверхности при изменении направления распространения волн]. Взаимодействуя в кристалле, эти волны порождают излучение сум-

марной частоты, причем рожденная волна  $\vec{k}_\Sigma$  — необыкновенная [показатель преломления различен для различных направлений распространения этой волны, и конец вектора  $\vec{k}_\Sigma$  описывает в пространстве эллипсоид]. Благодаря этому, в кристалле можно выбрать такое направление для волны накачки  $\vec{k}_H$ , что треугольник векторов  $\vec{k}_H$ ,  $\vec{k}_{\text{ИК}}$  и  $\vec{k}_\Sigma$  замкнется и будет выполнено

$$\text{условие } \Delta k = |\vec{k}_H - \vec{k}_{\text{ИК}} - \vec{k}_\Sigma| = 0. \text{ Направления, вдоль}$$

которых может распространяться анализируемый сигнал, образуют коническую поверхность с большим углом раствора; направления, вдоль которых выходит преобразованное излучение, содержащие информацию об ИК-сигнале, также образуют коническую поверхность с меньшим углом раствора.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Вьено Ж.-Ш. ОПТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ. Развитие и применение. М., 1973.

## Акустика интенсивных возмущений: нелинейные волны, физические эффекты и приложения

О. В. Руденко



Олег Владимирович Руденко, кандидат физико-математических наук, преподаватель кафедры волновых процессов физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Область научных интересов — физика нелинейных волн, акустика, взаимодействия света со звуком. Автор монографии (совместно с С. И. Соляном): Теоретические основы нелинейной акустики. М., 1975.

История нелинейной акустики начинается с классических исследований С. Д. Пуассона, Д. Г. Стокса, С. Ирншоу, Г. Ф. Б. Римана. Еще в середине прошлого века ими было найдено очень красивое точное решение уравнений гидродинамики в виде так называемой простой (нелинейной) волны. Оно позволяет описать распространение плоских возмущений сколь угодно большой амплитуды, но при условии, что среда непоглощающая, т. е. процесс распространения волны не сопровождается диссипацией энергии. Как проявляются эффекты, связанные с учетом нелинейности, и насколько хорошо простая волна соответствует реальным волновым процессам?

Известно, что обычная (линейная) акустическая волна очень малой амплитуды распространяется в среде со скоростью звука и не изменяет при этом своей формы. Если источник звука генерирует, например, синусоидальную волну, то профиль ее останется синусоидальным на любом удалении от источника. В простой же волне скорость распространения различных ее участков неодинакова. Области сжатия перемещаются быстрее скорости звука; области разрежения, напротив, медленнее. В результате профиль искажается: передние склоны волны стано-

вятся более крутыми, а задние — более пологими. Нелинейные процессы проявляются тем сильнее, чем больше величина возмущения — амплитуда или интенсивность волны.

Похожая картина наблюдается для больших морских волн вблизи берега. Известны примеры и из других областей физики — волны электронной плотности в приборах СВЧ, в длинных электрических линиях с нелинейными элементами, МГД-волны в плазме, взрывные волны и ряд других — обнаруживают многие особенности, присущие простым волнам.

Однако реальные возмущения часто ведут себя по-иному. Морская волна в зоне прибой «прокидывается»; в модулированном по скорости потоке электронов образуются «сгустки»; в продольной звуковой волне формируется разрыв — тонкий ударный фронт, в котором происходит сильное поглощение энергии. Эти явления более сложные; они требуют новых способов описания.

К сожалению, не удается найти точные решения нелинейных уравнений гидродинамики, которые помогли бы исследовать свойства разрывных звуковых волн. Нужно, правда, сделать оговорку: механика ударных волн, изучающая движение поверхностей разрыва, достаточно

развитая область, важные результаты которой были получены уже в начале нынешнего века. Проблема, однако, состояла в том, чтобы описать профиль полнотью — как гладкие, так и крутые участки; это необходимо для изучения спектрального состава акустических возмущений.

Вопрос стал особенно актуальным после создания мощных источников ультразвука, когда в середине 50-х годов были проведены эксперименты по непосредственному наблюдению формы пилообразной волны и генерации акустических гармоник в жидкости<sup>1</sup>. Конец 50-х — начало 60-х годов — это период бурного развития экспериментальной нелинейной акустики. Тогда еще не было ясности в перспективах практического использования нелинейных эффектов, однако потребность в теории и универсальном математическом аппарате уже была осознана.

### РАЗВИТИЕ ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ НЕЛИНЕЙНОЙ АКУСТИКИ

Сегодня кажется удивительным, что многие годы изучение интенсивных звуковых волн происходило без всякой связи с нелинейной радиофизикой. Как известно, в теории колебаний уже давно развивались приближенные методы, необходимые для расчета процессов генерации и нелинейной обработки электрических сигналов. Именно с нелинейной теорией колебаний связано начало научной деятельности Р. В. Хохлова. Им был предложен метод поэтапного упрощения так называемых укороченных уравнений, существенно расширивший круг проблем, поддающихся анализу. Были решены практически важные задачи синхронизации автогенераторов, расчета электронных приборов СВЧ, квантовых генераторов, параметрических усилителей бегущей волны. В 1960 г. Р. В. Хохлов сделал

принципиальный шаг в общей теории нелинейных волн, обобщив развитый им метод на распределенные системы<sup>2</sup>. Это обобщение оказалось необычайно плодотворным. Сегодня развитые Р. В. Хохловым методы широко используются в нелинейной оптике, физике плазмы, радиотехнике и во многих других областях современной науки.

Применительно к акустике суть предложенного подхода состоит в следующем. Нелинейные волны — это волны достаточно большой (конечной) амплитуды. Однако их амплитуда все же мала по сравнению с характерными внутренними параметрами среды. Например, скорость  $v$ , с которой колеблются частицы в волне, мала по сравнению со скоростью звука  $c_0$ . Отношение этих величин (так называемое число Маха) в экспериментах не превышает значения  $10^{-4}$  —  $10^{-2}$ . Это означает, что в задаче имеется малый параметр и уравнения гидродинамики могут быть упрощены. Иначе говоря, волновое движение характеризуется двумя временными масштабами. Быстрое движение — это распространение волны. Наряду с ним происходит медленные процессы: искажение формы из-за поглощения, дисперсии, нелинейности, дифракции и ряда других причин. «Медленные» понимается в том смысле, что влияние этих процессов становится заметным лишь после того, как возмущение пройдет путь, равный многим длинам волн.

Р. В. Хохловым был указан способ отделения медленного движения от быстрого, получивший название «метод медленно изменяющегося профиля волны». С его помощью Р. В. Хохлов с сотрудниками получили класс нелинейных уравнений эволюции, образовавших математический аппарат современной нелинейной акустики<sup>3</sup>.

Остановимся на некоторых явлениях, происходящих при распространении интенсивных звуковых волн. Рассмотрим, как изменяется форма и спектральный состав сигнала, возбуждаемого источником звука на границе нелинейной среды.

<sup>1</sup> Экспериментальные исследования по нелинейной акустике были начаты в Московском университете группой В. А. Красильникова. Об этих работах см.: Зарембо Л. К., Красильников В. А. Введение в нелинейную акустику. М., 1966; Красильников В. А. Ультразвук и нелинейные волновые процессы. — «Природа», 1968, № 1. Более поздние зарубежные исследования отражены в кн.: Вейер Р. Т. Nonlinear Acoustics. USA, Naval Ship Systems Command, 1974.

<sup>2</sup> Об этих методах Р. В. Хохлов впервые написал в двух статьях: «Радиотехника и электроника», 1961, т. 6, с. 917 и 1116.

<sup>3</sup> Эти результаты описаны в кн.: Руденко О. В., Солуян С. И. Теоретические основы нелинейной акустики. М., 1975.

Предположим вначале, что источник генерирует гармоническое колебание с частотой  $\omega$  так что на расстоянии  $x=0$  один период сигнала представляет собой отрезок «чистой» синусоиды. Сперва волна искажается как простая; если приемник помещен на небольшом расстоянии  $x$  от источника, он зарегистрирует сигнал, форма которого лишь немного искажена. Спектр такого колебания будет содержать, кроме основной частоты  $\omega$ , высшие гармоники  $2\omega$ ,  $3\omega$ , ...  $N\omega$ . Измеряя амплитуды гармоник, можно экспериментально определить важные физические константы вещества — так называемые нелинейные модули упругости. При обычном статическом способе измерения этих констант, например в твердых телах (где они описывают отклонения от линейного закона упругости — закона Гука), приходится нагружать исследуемый образец давлениями в десятки тысяч атмосфер. Величина нелинейных модулей влияет на процессы теплопроводности, затухания звука, теплового расширения тел и многие другие.

Если мы отодвинем приемник на большее расстояние, форма сигнала окажется искаженной еще сильнее — она станет «пилообразной», причем передний склон (фронт волны) займет почти «вертикальное» положение. Образовавшийся фронт представляет собой ударную волну, в которой частицы среды сильно взаимодействуют друг с другом и преобразуют в тепло отобранную у волны механическую энергию. Волна при этом затухает, причем нелинейно: амплитуда уменьшается тем быстрее, чем она больше.

Зависящее от амплитуды затухание существенно влияет, например, на распространение взрывных волн в воздухе и в воде и на волны звукового удара, возбуждаемые летящими со сверхзвуковой скоростью самолетами. Такие «удары» могут быть весьма ощутимыми, и часто с ними необходимо считаться. (По оценкам американских специалистов, в зону «удара» самолета «Конкорд», пролетающего над густонаселенными районами США, может попасть около 60 млн человек; этим аргументом широко пользуются противники эксплуатации сверхзвуковых пассажирских самолетов на внутренних трассах.) Однако волны звукового удара представляли бы гораздо большую опасность, если бы затухали по обычным законам линейной акустики.

В этой ситуации нелинейность ока-

нелинейное искажение формы различных сигналов, распространяющихся в поглощающей среде. Показана зависимость от времени в бегущей системе координат  $[x, t-x/c]$ . Изображен один период синусоидального сигнала. С увеличением пройденного расстояния  $x$  передний фронт становится крутым, задний — пологим. Затем максимальное значение возмущения начинает уменьшаться из-за нелинейного затухания. На больших расстояниях волна теряет значительную часть своей энергии, фронт «расплывается», и волна вновь становится гармонической. Дальнейшее распространение происходит по законам линейной акустики [а].

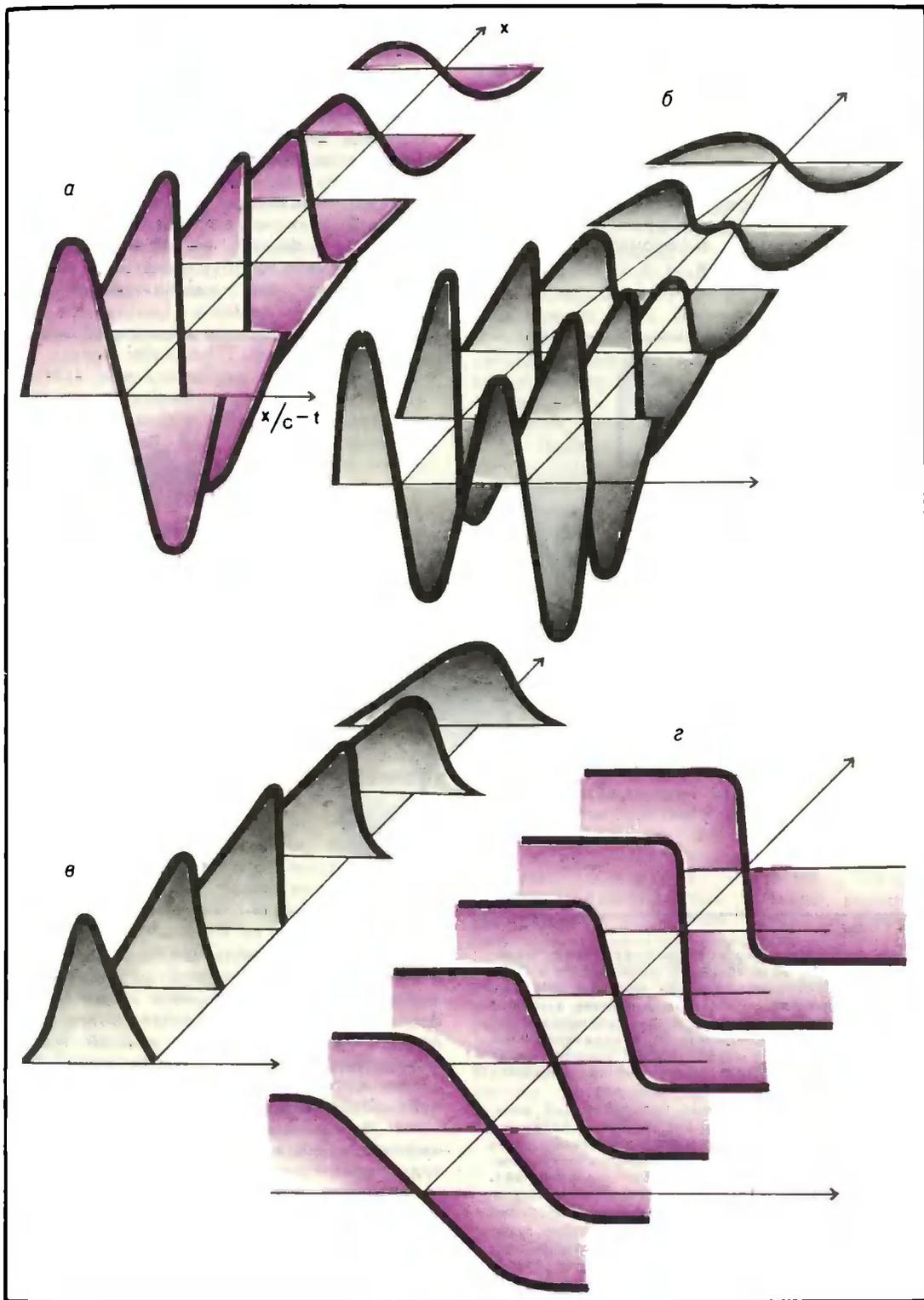
Изображено искажение двухчастотного сигнала  $v=v_1 \cos \omega_1 t + v_2 \sin \omega_2 t$ , где  $v_1$  и  $v_2$  — амплитуды скорости колебаний частиц. Поскольку  $v_1, v_2$  в исходном спектре преобладают компонента с частотой  $2(\omega)$ . Однако на больших расстояниях период волны удваивается — энергия сигнала сосредоточивается в компоненте частоты  $(\omega)$ . Такое явление происходит из-за того, что образующиеся ударные фронты несимметричны, движутся с разными скоростями и в конце концов сливаются [б].

Показан процесс распространения одиночного импульсного возмущения. После образования ударной волны на переднем фронте длительность импульса начинает увеличиваться, а его пиковое значение — уменьшаться. Полная площадь остается неизменной, что соответствует сохранению количества движения. На больших расстояниях возмущение стремится принять форму симметричного «колокола» [в].

Показано формирование ударной волны. Пологая «ступенька» становится все более крутой до тех пор, пока ширина фронта не достигнет равновесного значения. Если, напротив, задан слишком крутой «скачок», он будет расплываться, стремясь принять ту же устойчивую форму [г].

залась полезной. Аналогичный эффект в других условиях может быть нежелательным. Например, при передаче сигналов под водой на большие расстояния нужно повышать интенсивность излучаемого звука, чтобы приемник мог различить сигнал на фоне шумов моря. Но чем больше интенсивность, тем сильнее затухание. Как показали расчеты, на больших дистанциях амплитуда волны не зависит от своего исходного значения, т. е. нелинейная среда ограничивает уровень сигнала, который может быть передан на заданное расстояние.

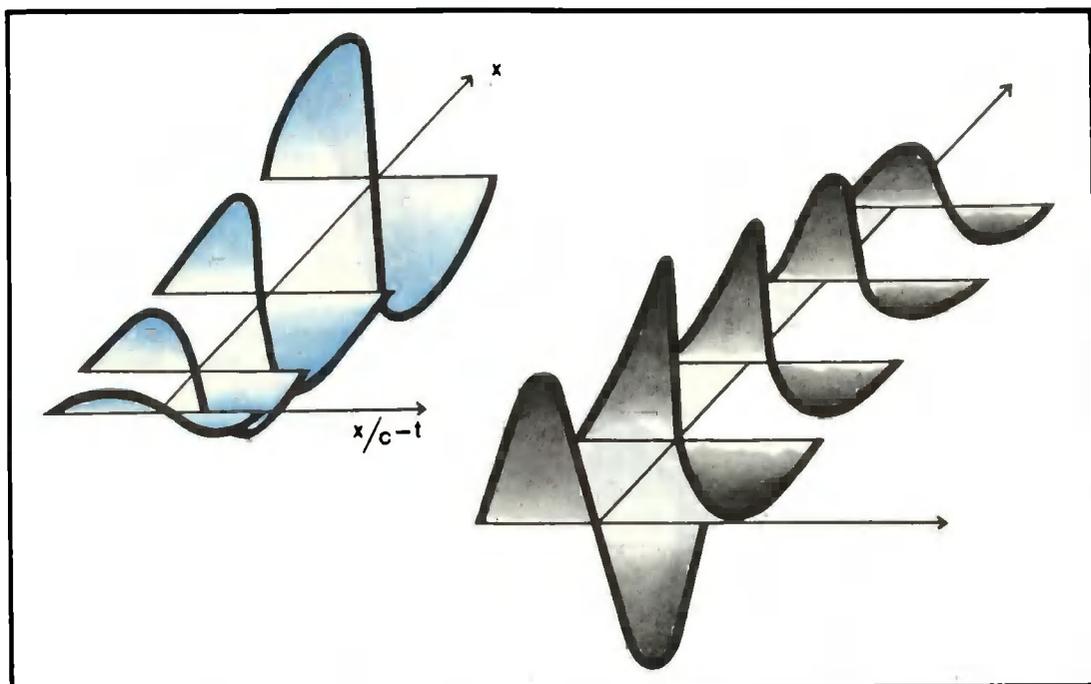
Когда в нелинейную среду излучается не строго синусоидальный, а модулированный сигнал, возникает еще один интересный эффект. Спектр такого сигнала



ла — синусоиды с изменяющейся амплитудой — содержит целый набор частот, сконцентрированный вблизи средней частоты  $\omega$ . Из-за нелинейности все эти спектральные компоненты начинают взаимодействовать друг с другом и рожают низкочастотные волны, которые способны распространяться на очень большие расстояния. Удаленный приемник регистрирует только ту информацию, которая заключена в переменной амплитуде синусоиды; высокочастотные же колебания с частотой  $\omega$  в среде поглощаются. Такая обработка электрических

сигналов — демодуляция — производится в любом радиоприемнике специальным устройством — детектором. В случае интенсивных звуковых волн роль детектора, следовательно, выполняет сама нелинейная среда.

Все описанные явления обнаруживаются в цилиндрических и сферических волнах, но здесь они протекают иначе. Например, поскольку амплитуда фокусированной волны увеличивается по мере схождения к фокусу, нелинейные искажения накапливаются быстрее, чем в плоском случае. Для расходящихся волн,



слева показана картина формирования нелинейной волны, возбуждаемой движущимся вместе с волной источником звука. Вначале величина возмущения мала, а его форма близка к гармонической. Затем энергия волны увеличивается; при этом профиль искажается вследствие нелинейности. Наконец, когда приток энергии извне уравновесится потерями на фронте, сформируется стационарный профиль.

Справа — поведение волны, испытывающей влияние нелинейности и дифракции. Волна искажается несимметрично: длительность областей сжатия уменьшается, а областей разрежения — увеличивается. Пиковое положительное значение возмущения превышает свое исходное значение. Нулевые точки профиля распространяются немного быстрее скорости звука. Все эти явления происходят из-за различия скоростей распространения гармоник, проявляющегося вследствие ограниченности звукового пучка.

например, нелинейность проявляется в меньшей степени. Любопытен следующий факт: иногда в сходящейся волне фронт формируется дважды. Вначале волна из-за поглощения может стать волной малой амплитуды, а затем за счет схождения к фокусу вновь способна проявить свои нелинейные свойства.

Наибольший интерес представляют именно сходящиеся волны, т. к. их амплитуда может стать очень большой. Расчет давления с учетом детальной структуры волнового поля важен во многих технических приложениях, например в задаче сверхплотного сжатия вещества. Хотя сильно нелинейные поля не описываются

уравнениями нелинейной акустики, развитые здесь подходы, видимо, могут оказаться полезными и служить основой дальнейших обобщений.

До сих пор речь шла о волнах, затухающих из-за внутреннего трения и процессов теплопроводности. Но энергия, переносимая волной, может расходоваться также на изменение свойств среды. Допустим, что среда представляет собой раствор или смесь химически реагирующих веществ. Волна способна изменить характер протекания реакции, и это, в свою очередь, отразится на ее параметрах; амплитуде, форме, спектральном составе. На основе акустических измерений, таким образом, можно судить о свойствах происходящих в среде микропроцессов. Примерами таких процессов служат диссоциация, фазовые переходы, обмен энергией между поступательными и внутренними степенями свободы молекул и многие другие. Расчет их влияния на параметры волны производится с помощью уравнений нелинейной акустики, учитывающих специфику реакции.

#### НОВЫЕ ЗАДАЧИ: ВОЗБУЖДЕНИЕ ИНТЕНСИВНОГО ЗВУКА И ВОЛНОВЫЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ

В первых работах по нелинейной акустике был получен ряд принципиальных результатов. Но важно и то, что была сформирована точка зрения, развитая совокупность приемов, допускающая широкие обобщения как на нерешенные проблемы акустики, так и на другие области физики.

Среди многих явлений, возникающих при взаимодействии электромагнитного излучения с веществом, важное место занимают оптико-акустические эффекты. Самый простой из них — тепловое возбуждение звука. Суть явления состоит в следующем. Электромагнитная волна, поглощаясь в слое непрозрачного вещества, может сильно (и, главное, очень быстро) нагреть этот слой, что приведет к его резкому тепловому расширению. При быстром расширении нагретый слой работает, как поршень, толкающий холодные слои и возбуждающий в них звуковой импульс. Регистрируя звук, можно экспериментально измерить коэффициент поглощения электромагнитного излучения; этот способ давно используется в оптико-акустической спектроскопии. Однако сейчас имеется возможность генерировать очень мощные акустические

сигналы, и это открывает новые перспективы. Известно, что звук хорошо распространяется в средах, непрозрачных для электромагнитных волн (например, в металлах или в воде). Часто звук оказывается единственным видом излучения, которым можно «просветить» среду для выяснения ее структурных особенностей. На имеющихся в среде неоднородных включениях хорошо рассеиваются звуковые волны, длина волны которых соответствует размеру неоднородностей. Указанный бесконтактный способ теплового возбуждения звука позволяет получать интенсивный звук очень высоких частот. В свою очередь, нелинейная генерация гармоник дает возможность продвигаться по частоте еще выше и, таким образом, исследовать очень мелкие неоднородности.

Процессы возбуждения нелинейных звуковых волн потребовали разработки специальных математических методов расчета<sup>4</sup>, которые теперь используются при изучении многих физических и технических проблем.

Большой интерес представляет, в частности, возбуждение интенсивных колебаний в ограниченных объемах (резонаторах). В линейном резонаторе обычно формируются стоячие волны, представляющие собой сумму двух волн, бегущих навстречу друг другу. Установившиеся колебания соответствуют равновесию между притоком энергии от источника и потерями на стенках резонатора и в его объеме. Когда потери малы, т. е. добротность резонатора велика, в нем можно накопить большую энергию даже при слабом источнике, так что условия проявления нелинейных эффектов здесь особенно благоприятны. Однако возникает вопрос: насколько большую энергию можно запастись в резонаторе и не изменятся ли его свойства под действием интенсивного звука? Как оказалось, добротность резонатора в этом случае действительно перестает характеризовать лишь его конструкцию; она становится функцией амплитуды и уменьшается с ростом интенсивности волны<sup>5</sup>. Нелиней-

<sup>4</sup> О свойствах неоднородных уравнений нелинейной акустики см.: Карабутов А. А., Лапшин Е. А., Руденко О. В. — «ЖЭТФ», 1976, т. 71, с. 111.

<sup>5</sup> О волнах большой амплитуды в резонаторах и нелинейной добротности см.: Калнер В. В., Руденко О. В., Хохлов Р. В. — «Акустический журнал», 1977, т. 23, с. 756.

ные волны в резонаторе не могут долго оставаться стоячими; почти всегда возникают бегущие ударные фронты, которые при отражении от стенок создают большие градиенты давления. Автомобилистам знакомы резкие стуки в двигателе, появляющиеся при детонационном горении рабочей смеси. Появление ударной волны в этом случае приводит к потере мощности и ускоренному износу двигателя. Сжатие, создаваемое на фронте ударной волны, может увеличить скорость сгорания топлива, что вызовет еще большее усиление волны.

В ограниченных объемах — акустических волноводах и резонаторах — появляется зависимость скорости распространения возмущений от частоты — так называемая геометрическая дисперсия. Это помогает реализовать нелинейные взаимодействия между нужными спектральными компонентами волн (например, усиливать одну волну с помощью другой). В таких системах часто возникают неустойчивости и нелинейные резонансы, которых в линейных системах не было совсем.

До сих пор мы говорили только о взаимодействиях звуковых волн. Среди исследований, посвященных физике нелинейных взаимодействий, нужно отметить работы по комбинационным акустическим эффектам, т. е. взаимодействиям акустических волн с различными другими элементарными возбуждениями вещества. Примером служит вынужденное рассеяние звука на вихревых волнах. Предположим, что на жидкую или газообразную среду падает интенсивная звуковая волна. В среде из-за тепловых флуктуаций имеются различные, в том числе вихревые, неоднородности, на которых звук рассеивается. Если интенсивность рассеянной волны будет достаточной для того, чтобы вместе с падающей волной оказать заметное обратное воздействие на вихревую неоднородность, вызвавшую рассеяние, то вихрь усилится. Это повлечет за собой дальнейшее усиление рассеяния и т. д. — процесс будет развиваться лавинообразно. Такого рода процессы — вынужденные рассеяния — хорошо известны в нелинейной оптике<sup>6</sup>. Систематические исследования по акустическим комбинационным

эффектам были выполнены Р. В. Хохловым и Н. И. Пушкиной. Ими рассмотрены, в частности, взаимодействия звука со спиновыми волнами, с электромагнитными волнами в пьезоэлектриках, с температурными волнами в твердом теле и сверхтекучем гелии.

## НЕМНОГО О ПРИЛОЖЕНИЯХ

Летом 1975 г. в Москве проходил VI Международный симпозиум по нелинейной акустике. Выступая на открытии, председатель оргкомитета Р. В. Хохлов дал обзор результатов и анализ новых направлений развития нелинейной акустики. Он обратил внимание собравшихся на резкое увеличение числа публикуемых работ и их прикладную направленность. Ранние теоретические и экспериментальные работы представляли в основном академический интерес; они были посвящены исследованиям одномерных волн со сравнительно простой формой исходного спектра, распространяющихся в средах с простыми свойствами. Накопленный арсенал методов и средств позволил перейти к изучению реальных задач, связанных с распространением дифрагирующих пучков сложного спектрального состава (в том числе шумовых волн) в неоднородных средах со сложной микроструктурой.

Важный шаг был сделан в работе Р. В. Хохлова и Е. А. Заболотской, где выведено уравнение нелинейной акустики ограниченных пучков<sup>7</sup>. Нелинейная волна, распространяющаяся в виде пучка, ведет себя иначе, чем идеальная плоская или сферическая волна. Как известно, ширина пучка с расстоянием постепенно увеличивается из-за дифракции, проявляющейся тем сильнее, чем больше отношение длины волны к радиусу пучка. Нелинейность рождает множество гармоник исходного сигнала. Они имеют различную длину волны, и поэтому на их поведение дифракция влияет по-разному. В частности, дифракционные фазовые сдвиги гармоник обуславливают явление несимметричного искажения — гармонического сигнала — кажущуюся «самофокусировку» областей сжатия и дефокусировку областей разрежения волны. При исследовании сходящегося пучка было обнару-

<sup>6</sup> О вынужденных рассеяниях в оптике, например, см.: Ахманов С. А., Коротев Н. И. Лазерная спектроскопия рассеяния света — новые эффекты и новые методы. — «Природа», 1976, № 7.

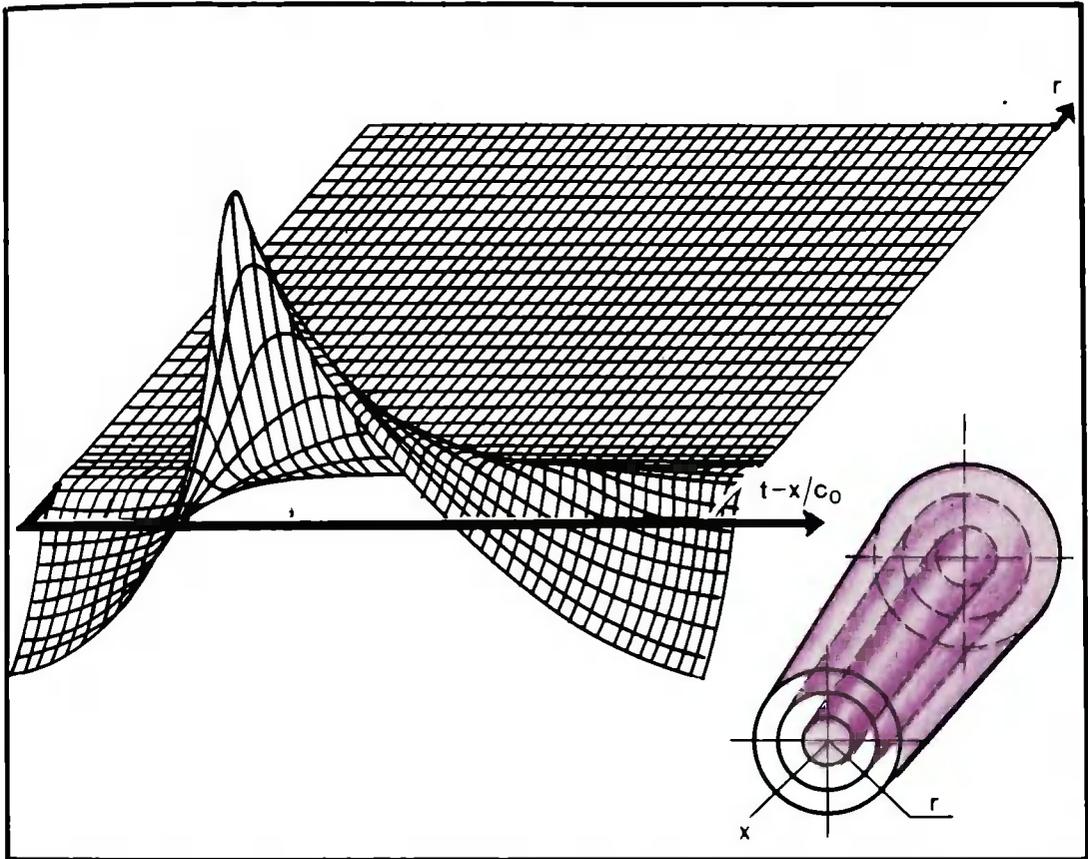
<sup>7</sup> Заболотская Е. А., Хохлов Р. В. — «Акустический журнал», 1969, т. 15, с. 40.

жено, что область фокуса сильно «растянута» в пространстве. Это происходит из-за «нелинейно-хроматических» аберраций, т. е. из-за различной фокусировки спектральных компонентов, возникших в среде в результате нелинейных взаимодействий<sup>8</sup>.

Пожалуй, наиболее важный класс задач, решенный с помощью уравнений нелинейной акустики ограниченных пучков,— это задачи расчета гидроакустических приборов нового типа, так называемых

параметрических излучателей и приемников звука. Расскажем о них подробнее.

Пусть источник излучает две интенсивные волны близких частот  $\omega_1$  и  $\omega_2$ . В результате их взаимодействия в нелинейной среде рождается низкочастотная волна  $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ . Она способна распространиться на большое расстояние, т. к. затухает гораздо слабее волн  $\omega_1$  и  $\omega_2$  (напомним, что коэффициент затухания звука пропорционален



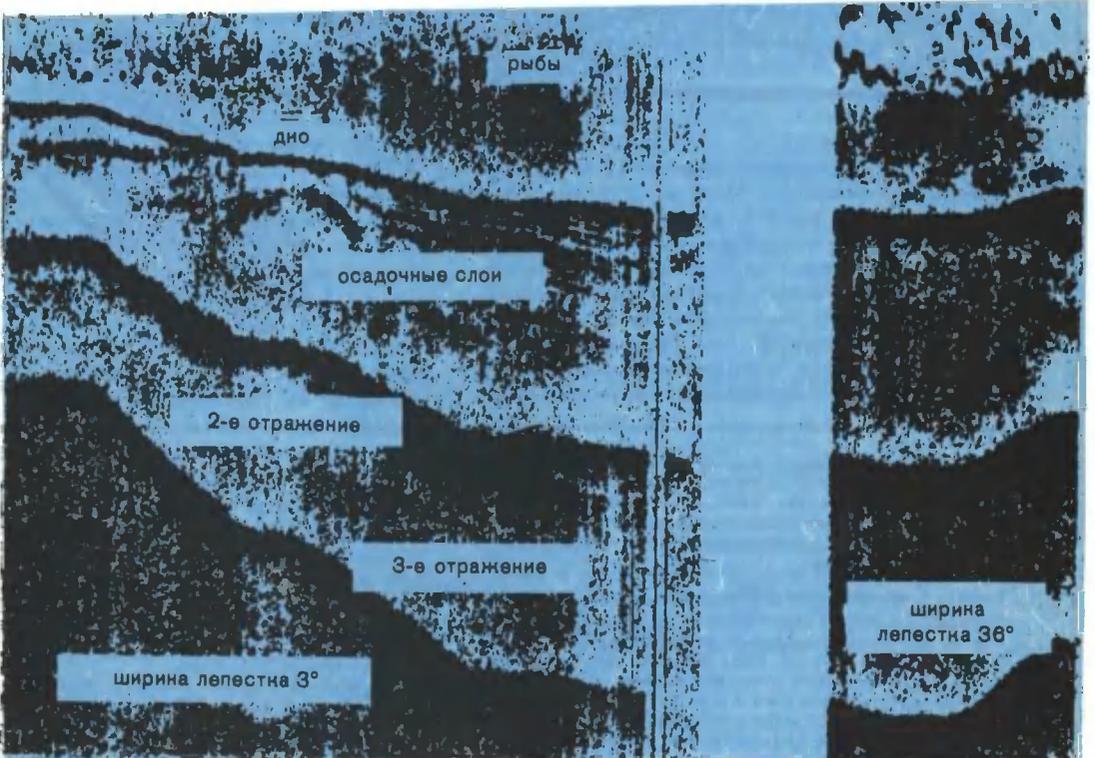
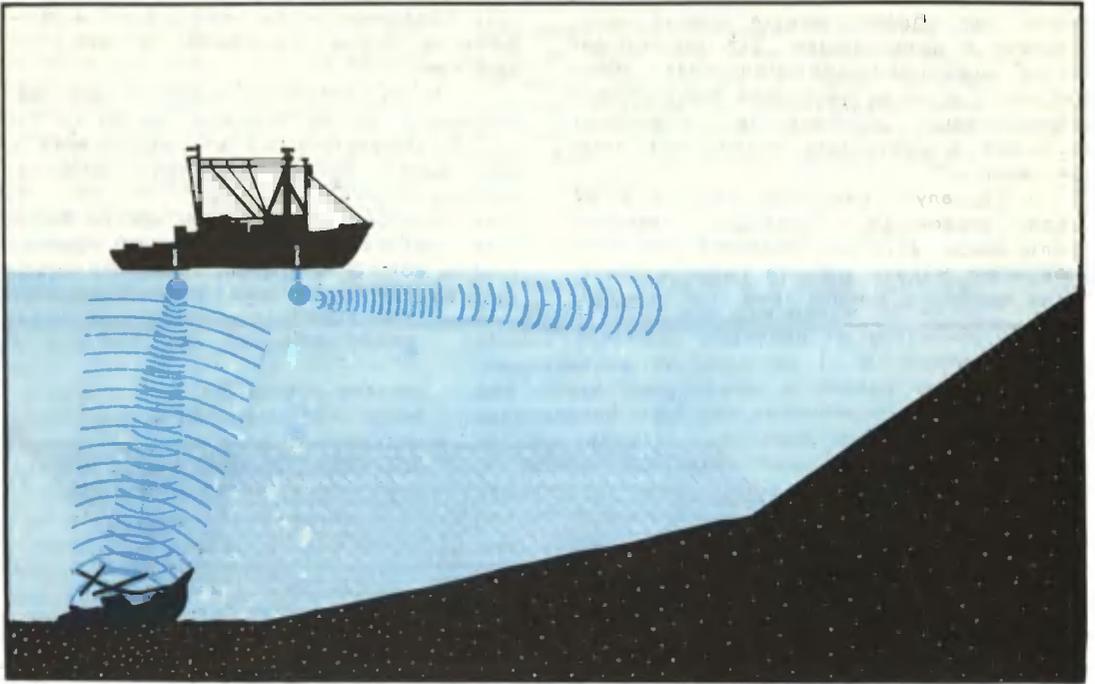
Поверхность, изображающая форму интенсивной волны в сфокусированном пучке. Поперечная координата [текущий радиус пучка  $r$ ] направлена в глубину рисунка. Направление координат  $\{x, r\}$  показано на фигуре, изображающей сфокусированный пучок [справа].

квадрату частоты). Но в чем преимущество нелинейного способа излучения низкочастотных сигналов?

Когда волна  $\Omega$  генерируется обычным источником (например, колеблющимся диском радиуса  $a$ ), она уже на малых расстояниях превращается в сферически расходящуюся. Угловая ширина ее диаграммы направленности  $\Phi_{\text{лин}}$  обратно пропорциональна числу длин волн  $\Delta$ , укладываемых на поверхности источника:

$$\Phi_{\text{лин}} \sim \Lambda/a, \text{ где } \Lambda = 2\pi c_0/\Omega.$$

<sup>8</sup> Большое количество данных по генерации акустических гармоник в дифрагирующих квазиплоских и сходящихся пучках получено численным интегрированием авторами работы: Бахвалов Н. С., Жилейкин Я. М., Заболотская Е. А., Хохлов Р. В.— «Акустический журнал», 1978, т. 24, с. 21.



Схема, иллюстрирующая различные режимы работы параметрического излучателя. В воду обычным способом излучается модулированный сигнал высокой частоты. Область, занятая высокочастотным пучком, выполняет роль параметрической антенны, формирующей узконаправленный низкочастотный сигнал. Этот сигнал используется для исследования дна, донных отложений и поиска предметов, засыпанных слоем ила. [Из сб.: Акустика морских осадков. М., 1977.]

Эхограммы дна и структуры осадочных слоев под донной поверхностью, полученные с помощью параметрического (слева) и обычного (справа) эхолотов на частоте 12 кГц. Заметьте преимущество параметрического эхолота в четкости полученного изображения. [Из сб.: Акустика морских осадков. М., 1977.]

Поскольку значение  $\lambda$  велико, для получения высокой направленности нужно иметь излучатели очень больших размеров, что не всегда выполнимо.

Если же волна  $\omega$  возбуждается нелинейным способом, роль источника играет вся область пространства длиной  $L$ , занятая высокочастотным полем  $\omega_1, \omega_2$  — так называемая бестелесная параметрическая антенна. Ширина ее диаграммы направленности определяется корнем из числа длин волн, укладываемых на длине области взаимодействия:

$$\Phi_{\text{вкл}} \sim \sqrt{\lambda/L}.$$

Во многих экспериментах с параметрическими излучателями угол  $\Phi_{\text{вкл}}$  был порядка  $1-5^\circ$ , т. е. диаграмма была чрезвычайно узкой.

Такие излучатели обладают и другими преимуществами: компактностью устройства (роль антенны играет сама нелинейная среда), возможностью плавной перестройки частоты  $\Omega$  в широких

пределах. Они находят разнообразные применения. Узкая диаграмма с подавленными «боковыми лепестками» позволяет передавать сигналы в мелководных водоемах и в прибрежной зоне, не опасаясь помех из-за отражений от свободной поверхности и дна. Широкополосность параметрических излучателей позволяет перестраивать частоту и добиваться максимума отражения от объекта на его резонансной частоте. Так осуществляется поиск и классификация затонувших предметов, даже если они засыпаны слоем ила — низкочастотные волны способны проникать в морские осадки.

Использование для расчетов параметрических излучателей приближенных уравнений, полученных методом Хохлова, позволило исчерпывающим образом описать все режимы работы устройств с учетом дифракции и затухания всех взаимодействующих волн, а также технических особенностей, связанных с приложениями<sup>9</sup>.

За последние годы сформировалось еще одно новое направление — статистическая нелинейная акустика, изучающая распространение случайно модулированных сигналов. Существует много источников интенсивного шума, оказывающего вредное влияние на конструкции и организмы. Были исследованы закономерности распространения интенсивных шумов, их взаимодействия с регулярными сигналами и возможности активного воздействия на шумовые спектры. В частности, оказалось возможным, подействовав интенсивным ультразвуковым сигналом на широкополосный шум, перекачать часть его энергии в неслышимый диапазон частот. В настоящее время у нас в стране и за рубежом широко ведутся экспериментальные исследования по нелинейной динамике шумовых спектров.

Сейчас нелинейная акустика переживает новый период подъема. Можно указать на ряд проблем гидро- и авиационной акустики, физики твердого тела, геофизики и многих других областей науки и техники, где учет и использование акустических нелинейных явлений открывает перспективы получения новых результатов, изучения новых явлений и их практического использования.

<sup>9</sup> Пучковая теория параметрических излучателей развита в работе: Новиков Б. К., Руденко О. В., Соляев С. И. — «Акустический журнал», 1975, т. 21, с. 591.

## Пикосекундная спектроскопия первичных процессов фотосинтеза

Л. Б. Рубин, В. З. Пашенко



Леонид Борисович Рубин, доктор биологических наук, старший научный сотрудник физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается спектральными методами исследования биологических объектов, общими вопросами фотобиологии и фотосинтеза.



Владимир Захарович Пашенко, кандидат физико-математических наук, заведующий отделом биофотоники биологического факультета того же университета. Специалист в области пикосекундной спектроскопии первичных процессов фотосинтеза.

Рем Викторович Хохлов был одним из инициаторов развития работ по лазерной биологии в нашей стране.

Одним из разделов биологии, наиболее подготовленным к целенаправленному применению лазеров, оказался фотосинтез. Многие задачи, связанные с изучением первичного преобразования энергии при фотосинтезе, были сформулированы задолго до появления лазеров, однако их решение сдерживалось отсутствием необходимой экспериментальной техники.

Фотосинтез — важнейший биологический процесс. Он осуществляется в специализированных биологических структурах — хлоропластах у растений и хро-

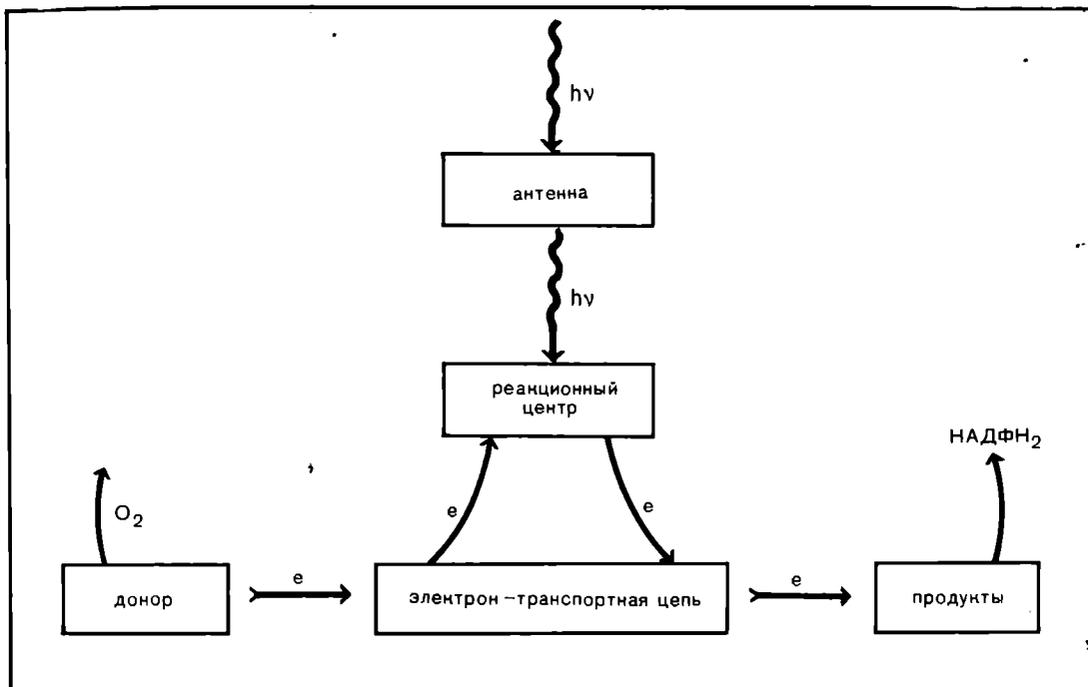
матофорах у бактерий. В хлоропластах синтезируются и накапливаются органические вещества; число хлоропластов в клетке колеблется от 20 до 100. Свободно взвешенный в цитоплазме хлоропласт содержит плотно упакованные молекулы пигментов — хлорофилла а и в, каротиноиды. Эти пигменты участвуют в поглощении света широкого спектрального диапазона и передаче энергии электронного возбуждения на особое пигмент-белковое образование — реакционный центр. На один реакционный центр приходится 400—600 молекул пигмента<sup>1</sup>. Квантовый

<sup>1</sup> Gaffron H., Wohl K.— «Naturwissenschaften», 1936, v. 24, p. 103.

выход передачи энергии на реакционный центр от хлорофиллов и вспомогательных пигментов очень высок (0,9—1).

В литературе обсуждаются три механизма, обеспечивающих высокоэффективный перенос энергии электронного возбуждения реакционному центру. Первый — наиболее быстрый<sup>2</sup>, когда перенос по колебательным уровням возбужденных состояний молекул осуществляется за  $10^{-15}$  —  $10^{-12}$  с. Второй — более медленный, когда перенос энергии происходит по электронным уровням возбуж-

денных молекул (так называемый синглетный). Он сопровождается флуоресценцией<sup>3</sup> и проходит за  $10^{-12}$  —  $10^{-9}$  с. Наконец, передача энергии возможна по третьему обменному механизму — когда донорная молекула переходит в метастабильное состояние и энергия мигрирует по триплетным уровням<sup>4</sup>. Ожидаемые времена такого процесса  $10^{-9}$  —  $10^{-6}$  с. Несмотря на большие усилия по выяснению конкретного механизма переноса энергии этот вопрос пока остается открытым.



Функциональная схема фотосинтеза. Электромагнитная энергия кванта света, поглощенная пигментами светособирающей антенны, передается на молекулу хлорофилла реакционного центра. Первичной реакцией фотосинтеза является отрыв электрона ( $e$ ) от возбужденной молекулы хлорофилла и передача его в электронно-транспортную цепь. В этой цепи протекает последовательность окислительно-восстановительных реакций, приводящих к появлению стабильных продуктов [НАДФН<sub>2</sub> — восстановленный никотинамидадениндинуклеотидфосфат]. Восстановление окисленных пигментов реакционного центра осуществляется электронами, образовавшимися при фотоллизе воды.

Ключевая реакция фотосинтеза, т. е. разделение и первичная стабилизация электрических зарядов, происходит в реакционном центре с квантовым выходом 1. Первичные процессы фотосинтеза включают следующие стадии:

поглощение света молекулами хлорофиллов и вспомогательными пигментами, так называемой светособирающей антенной;

<sup>2</sup> Calvin M. P. — «Rev. Modern Phys.», 1959, v. 31, p. 147.

<sup>3</sup> Wredenberg W. J., Duysens L. N. M. — «Nature», 1968, v. 197, p. 355.

<sup>4</sup> Robinson G. W. — «Ann. Rev. Phys. Chem.», 1964, v. 15, p. 320.

перенос энергии от светособирающей антенны на реакционный центр;

разделение и первичная стабилизация электрических зарядов в реакционном центре;

стабилизация разделенных во времени электрических зарядов для сопряжения с последующими окислительно-восстановительными реакциями.

Основные представления о последовательности первичных реакций фотосинтеза сформировались еще до появления лазеров. Однако более детальное изучение этих процессов, включающее процессы миграции энергии от светособирающей антенны на реакционный центр, определение природы пигмент-белкового комплекса реакционного центра, доноров и акцепторов, а также механизмов разделения и стабилизации зарядов в реакционном центре и т. д., потребовало применения совершенно новой экспериментальной техники.

Измерения квантового выхода флюоресценции пигментов светособирающей антенны и реакционного центра показали, что передача энергии электронного возбуждения и разделение зарядов в реакционном центре должны осуществляться за  $10^{-9}$ — $10^{-12}$  с. Затем скорость переноса электрона замедляется, сопрягаясь во времени с последующими окислительно-восстановительными реакциями. Однако характерные времена традиционных методов исследования фотосинтеза — флюорометрии и фотолитиза с накачкой от ламп-вспышек — на несколько порядков больше этих величин. Кроме того, для изучения структуры пигмент-белкового светособирающего комплекса, природы реакционного центра, а также доноров и акцепторов электрона были необходимы методы выделения препаратов фотосинтезирующих организмов различного уровня организации.

С появлением лазеров с синхронизацией мод, способных генерировать ультракороткие импульсы света длительностью  $10^{-11}$  с и меньше, и развитием методов регистрации сверхбыстрых процессов стало возможным экспериментальное определение скоростей первичных процессов фотосинтеза. Уже к 1970—1972 гг. у нас в стране, а также в США и Англии сформировались коллективы физиков и биологов, занимающихся пикосекундной спектроскопией фотосинтеза. Были разработаны различные методы регистрации биологических явлений, протекающих за времена  $10^{-12}$ — $10^{-10}$  с.:

метод регистрации флюоресценции с использованием затвора Дюге—Хансена<sup>5</sup>; метод пикосекундного зондирования промежуточных состояний, развитый в работах П. Рентцеписа<sup>6</sup>, а также импульсная флюорометрия с регистрацией на электронно-оптическом преобразователе с временной разверткой (ЭОП)<sup>7</sup>.

У нас в стране первый пикосекундный спектрофлюориметр для исследования фотосинтеза был построен на кафедре биофизики биологического факультета Московского государственного университета<sup>8</sup>.

Р. Клейтон и Г. Феер (США) методами молекулярного анализа установили, что пигмент—белковый комплекс реакционного центра пурпурных бактерий — состоит из четырех молекул бактериохлорофилла, двух молекул бактериофетина и одной молекулы убихинона, связанных со специфическим белком. После возбуждения бактериохлорофилла происходит первичная фотохимическая реакция, связанная с переносом электрона от возбужденной молекулы на первичный акцептор. При этом исчезают одной полосы поглощения и появляются другие.

Регистрируя кинетику изменения поглощения определенной полосы поглощения, можно определить скорости окислительно-восстановительной реакции переносчика, а регистрируя спектральное положение этой полосы, — его химическую природу.

В своих опытах М. Виндзор и П. Рентцепис для возбуждения реакционного центра бактериохлорофилла использовали излучение второй гармоники неодимового лазера с длительностью импульса  $\sim 6$  пс. Зондирование промежуточных полос поглощения осуществляли пикосекундным лазерным континуумом (белым светом пикосекундной длительности), полученным при фокусировании импульса света основной частоты неодимового лазера в кювету с тяжелой водой. Было установлено, что возбужденное состояние бактериохлорофилла (время разделения зарядов) длится  $\leq 10^{-11}$  пс.

<sup>5</sup> Duguay M. A., Hansen J. W. — *Appl. Phys. Lett.*, 1969, v. 15, p. 192.

<sup>6</sup> Netzel T. L., Struve W. S., Rentzepis P. M. — *Ann. Rev. Phys. Chem.*, 1973, v. 24, p. 473.

<sup>7</sup> «Природа», 1977, № 12, с. 114.

<sup>8</sup> Paschenko V. Z., Protasov S. P., Rubina A. B., Timofeev K. N., Zamazova L. M., Rubina L. B. — *Biochem. Biophys. Acta*, 1975, v. 408, p. 143.

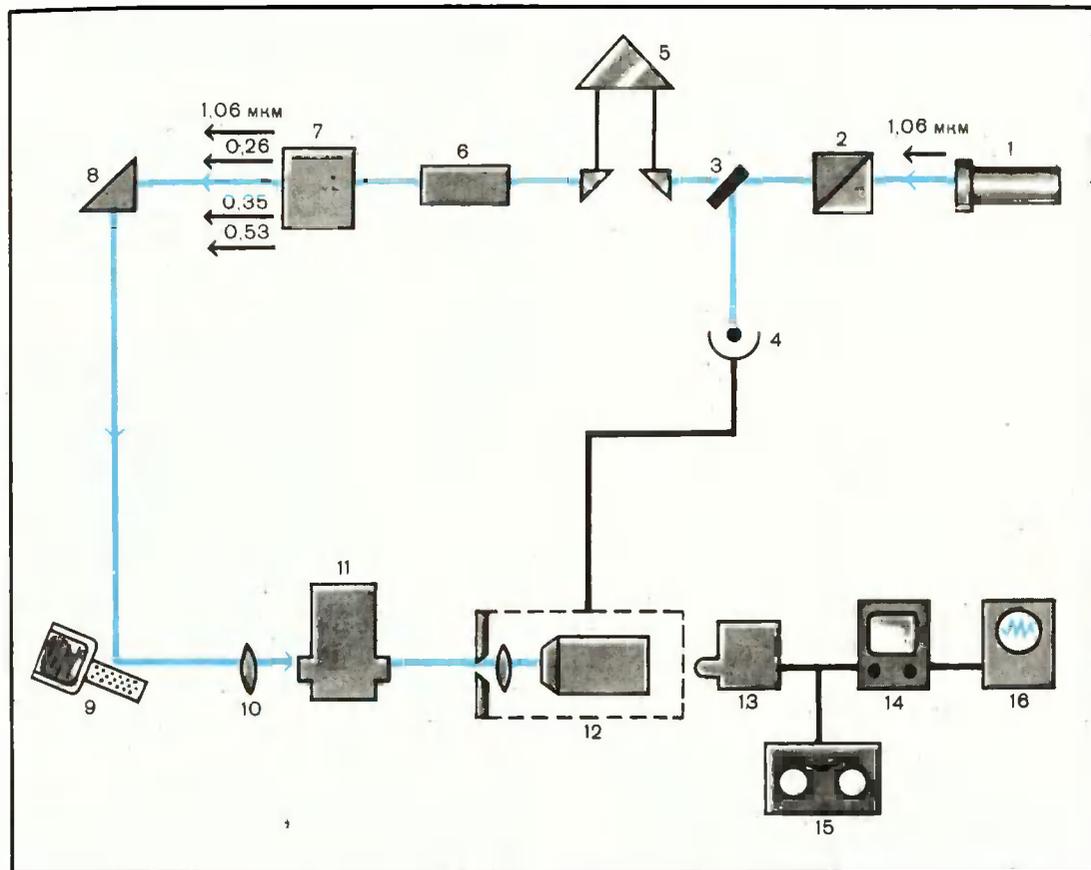


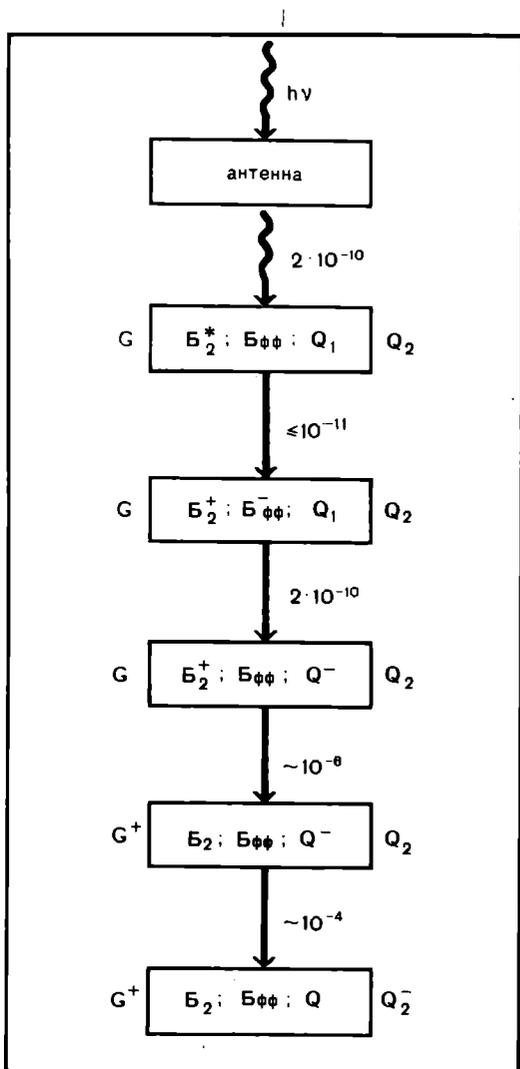
Схема пикосекундного спектрофлуориметра, позволяющего проводить спектрально-временной анализ флуоресценции.

Источником возбуждающего света служит лазер на стекле с неодимом, работающий в режиме синхронизации мод и генерирующий последовательность импульсов длительностью  $\sim 10$  пс и длиной волны 1,06 мкм. Исследование фотоактивных соединений требует однократного возбуждения, поэтому на выходе лазера установлен затвор Поккельса, выделяющий из последовательности одиночный импульс. Часть энергии этого одиночного импульса с помощью делительной пластинки отводится на фотоэлемент, запускающий временную развертку ЭОП, в прошедший через пластинку импульс проходит через линию задержки, усилитель и попадает на генератор гармоник, преобразующий излучения основной частоты неодимового лазера во 2-, 3- и 4-ю гармоники. Таким образом, можно расширить класс исследуемых соединений и использовать для возбуждения образца излучение с длиной волны 1,06, 0,53, 0,35 и 0,26 мкм. Нужная длина волны выделяется светофильтром.

Флуоресценция возбуждается в образце, помещенном в сосуд Дьюара, собирается оптической системой, проходит через спектрограф и подается на входную щель ЭОП. Система регистрации включает ЭОП, телевизионную камеру (видикон), видеомагнитофон, телевизор и осциллограф. Свечение экрана ЭОП регистрируется видиконом,

записывается на видеомагнитофон и визуально контролируется на телевизоре. Оптическая система установки предусматривает одновременную регистрацию импульса возбуждающего света и сигнала флуоресценции, поэтому на экране телевизора сразу регистрируются импульсы возбуждения и флуоресценции. При необходимости электрические сигналы с видикона можно передать на анализатор импульсов и обработать на ЭВМ.

Временное разрешение пикосекундного спектрофлуориметра  $\sim 10$  пс, что позволяет регистрировать флуоресценцию образцов с квантовым выходом  $10^{-4}$ : 1 — лазер на стекле с неодимом; 2 — затвор Поккельса; 3 — светоделительная пластинка; 4 — фотоэлемент; 5 — оптическая линия задержки; 6 — усилитель; 7 — генератор гармоник; 8 — поворотная призма; 9 — образец; 10 — светособирающая линза; 11 — спектрограф; 12 — ЭОП с временной разверткой; 13 — видикон; 14 — телевизор; 15 — видеомагнитофон; 16 — осциллограф.



Функциональная схема первичных процессов фотосинтеза пурпурных бактерий.

Энергия света, поглощенная светособирающей антенной, за  $2 \cdot 10^{-10}$  с передается на реакционный центр, в состав которого входят димер бактериохлорофилла  $B_2$ , молекула бактериофеофетина  $B_{ph}$  и первичного акцептора убихинона  $Q_1$ . На рисунке изображены также цитохром с и вторичный акцептор убихинон  $Q_2$ . Спустя менее  $10^{-11}$  с в реакционном центре завершается первая реакция — разделение зарядов, в результате которой электрон от возбужденного димера  $B_2$  переходит на  $B_{ph}$ .  $B_2$  переходит в окисленное состояние  $B_2^+$ , а  $B_{ph}$  восстанавливается до  $B_{ph}^-$ . Следующая реакция связана с переносом электрона за  $2 \cdot 10^{-10}$  с от  $B_{ph}^-$  на  $Q_1$ . Восстановление  $B_2^+$  осуществляется за  $10^{-6}$  с. Донором в этой реакции служит цитохром с. Наконец, спустя  $\sim 10^{-4}$  с электрон от убихинона  $Q_1$  переходит на вторичный акцептор  $Q_2$ , а реакционный центр — в активное состояние.

Электрон с реакционного центра бактериохлорофилла переходит на бактериофеофетин. Именно эта молекула стабилизирует разделенные заряды и спустя  $150\text{—}200$  пс передает электрон на убихинон. С помощью метода наносекундного лазерного фотоллиза определили, что последующие процессы передачи электрона протекают за микросекунды. Цитохром с служит первичным донором электрона для окисленного бактериохлорофилла, восстановление которого осуществляется за 1 мкс. Установлено также, что передача электрона от убихинона на вторичный акцептор протекает за время 100 мкс.

С помощью этого пикосекундного спектрофлюорометра мы измерили длительность флюоресценции реакционного центра бактериохлорофилла. Полученное время жизни возбужденного состояния  $15 \pm 8$  пс хорошо согласуется с измерениями Виндзора и Рентцеписа. Независимые измерения, выполненные методами флюорометрии и лазерного зондирования, свидетельствуют, в частности, о том, что электромагнитная энергия возбуждения светособирающей антенны передается на синглетный уровень молекулы бактериохлорофилла.

Мы измерили также флюоресценцию светособирающей антенны различных фотосинтезирующих организмов и установили, что длительность флюоресценции хроматофоров пурпурных бактерий составляет  $\sim 2 \cdot 10^{-10}$  с, фотосистемы I и фотосистемы II хлоропластов высших растений равна  $8 \cdot 10^{-11}$  и  $3 \cdot 10^{-10}$  с соответственно.

Работы последних лет по пикосекундной спектроскопии фотосинтеза показали, что раскрытие механизмов, лежащих в основе первичных процессов, оказывают существенное влияние на исследование такого рода реакций в биофизике, биохимии, общей биологии, поскольку фотосинтетический аппарат — хорошая модель для изучения общих биологических реакций — поглощения света и миграции энергии, транспорта электронов, определения природы различных переносчиков электронов (компонентов быстротекущих реакций) и т. д. Можно не сомневаться, что плодотворный обмен идеями и проблемами между физиками и биологами послужит гарантией прогресса лазерной фотобиологии.

## Проблема гамма-лазера

Ю. А. Ильинский



Юрий Анатольевич Ильинский, доктор физико-математических наук, доцент физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Специалист в области нелинейной оптики и лазерной физики. Совместно с Р. В. Хохловым занимался изучением вопроса о возможности создания лазера в гамма-диапазоне с использованием долгоживущих ядерных изомеров. Лауреат Государственной премии.

Одна из главных тенденций развития лазерной физики состоит в стремлении получить когерентное излучение во все более коротковолновой части спектра электромагнитных волн. Получение генерации в гамма-диапазоне открыло бы совершенно новые перспективы в таких областях, как ядерная физика, рентгеноструктурный анализ и др. В частности, подобно тому как с помощью лазеров оптического диапазона можно управлять ходом некоторых химических реакций, когерентное гамма-излучение позволило бы воздействовать на течение ядерных реакций.

К настоящему времени граница достижений в этом направлении проходит вблизи длины волны  $\lambda = 380 \text{ \AA}$ . Дальнейшему продвижению в сторону коротких волн препятствуют существенные трудности, связанные с необходимостью использовать новые для лазерной физики энергетические уровни, при переходе между которыми должно возникнуть столь «жесткое» излучение. В видимом диапазоне лазеры работают на переходах между различными квантовыми уровнями, которые может занимать электрон в атоме или молекуле. Для генерации излучения с длиной волны  $1 \text{ \AA}$  и короче должны быть использованы переходы между энергетическими уровнями атомного ядра.

Первым о возможности создания гамма-лазера на таких ядерных переходах заявил в 1961 г. советский физик Л. А. Ривлин. В его и последовавших затем работах других авторов предлагалось использовать так называемые мессбауэровские переходы между ядерными уровнями, которые происходят без отдачи энергии на поступательное движение ядра. Возможность такого излучения гамма-квантов в кристаллах была открыта Р. Мессбауэром в 1958 г.

Важнейшее свойство эффекта Мессбауэра — это чрезвычайно малая спектральная ширина линии испускаемого гамма-излучения. Казалось, что этот факт указывает направление исследований, развитие которого могло привести к созданию источника когерентного монохроматического гамма-излучения. Однако уже в первых работах были обнаружены огромные трудности, которые казались столь непреодолимыми, что интерес к этой проблеме пропал на многие годы.

### ОСНОВНЫЕ ТРУДНОСТИ

Основными элементами обычного оптического лазера являются резонатор, составленный из зеркал с активным веществом между ними, и система накачки, которая переводит часть активных молекул

в возбужденное состояние (точнее говоря, создает инверсию населенностей). В ранних работах по гамма-лазеру большое внимание уделяли резонатору, который усиливает интенсивность лазерного излучения в результате того, что, отражаясь от зеркал, оно многократно проходит через активное вещество. Создание зеркал для жесткого гамма-излучения — это самостоятельная задача, подход к решению которой пока еще не найден. В 70-х годах стало ясно, что это не главная проблема, потому что к тому времени уже работали ультрафиолетовые лазеры без зеркал. Такие лазеры дают направленное и монохроматическое излучение при условии, что усиление в активном веществе достаточно велико. В этом случае активное тело лазера выполняется в виде стержня, длина которого обеспечивает требуемое усиление излучения при его однократном прохождении в лазере.

Таким образом, задача сузилась до получения достаточного усиления гамма-излучения за счет индуцированных ядерных переходов, т. е. до создания таких условий, когда это усиление превысит поглощение в веществе, возникающее в основном из-за фотоэффекта — поглощения гамма-квантов электронами атомов активного вещества.

Коэффициент этого поглощения составляет  $10-100 \text{ см}^{-1}$ . Коэффициент усиления, которое возникает при вынужденном испускании гамма-квантов возбужденными ядрами активного вещества, может быть вычислен по формуле

$$\beta = \frac{\lambda^2}{2\pi} \cdot \frac{1}{\Gamma\tau} \cdot \frac{1}{1+\alpha} Nf.$$

В этой формуле  $\lambda$  — длина волны гамма-излучения,  $\Gamma$  — спектральная ширина линии испускания,  $\tau$  — время жизни ядра в возбужденном состоянии,  $\alpha$  — отношение вероятности испускания ядром электрона к вероятности испускания гамма-кванта,  $f$  — вероятность мессбауэровских переходов,  $N$  — плотность возбужденных ядер.

Если в этой формуле взять  $\lambda = 0,4 \text{ \AA}$ ,  $N = 10^{22} \text{ см}^{-3}$ ,  $\alpha \Gamma\tau$ ,  $f$  и  $\alpha$  принять равным примерно 1, то получим для  $\beta$  значение  $10^4 \text{ см}^{-1}$ , что существенно превышает величину коэффициента поглощения гамма-излучения в твердом веществе. С такой оптимистической оценкой и связывались надежды первых авторов работ в начале 60-х годов. Трудность же реализации условий усиления заключается в том, что в действительности либо  $\Gamma\tau \gg 1$ , либо

$N \ll 10^{22} \text{ см}^{-3}$ . Из этого вытекают и два различных подхода к достижению достаточно высоких коэффициентов усиления.

Первый подход заключается в использовании долгоживущих возбужденных ядер, так называемых ядерных изомеров, которые можно отделить от обычных с помощью методов, уже разработанных в ядерной физике. При этом может быть относительно легко получено значение  $N = 10^{22} \text{ см}^{-3}$ , однако для получения необходимого коэффициента усиления нужно найти способы подавления механизмов, приводящих к расширению спектра мессбауэровского излучения  $\Gamma$ , так называемому уширению линии.

При другом подходе в качестве активного вещества используются короткоживущие изомеры с  $\tau \sim 10^{-5}$ . В этом случае линия излучения практически не уширена по сравнению с естественной шириной, определяемой квантовыми свойствами ядра, но при этом возникает проблема возбуждения ядер, так как введение энергии в рабочее вещество, т. е. его накачку, надо произвести за время, меньшее времени жизни ядра в возбужденном состоянии. Например, если использовать накачку потоком нейтронов, то оказывается, что такой поток может быть создан разве что при ядерном взрыве.

Эти особенности и создали впечатление безнадежности при первом рассмотрении проблемы гамма-лазера в 60-х годах.

### УШИРЕНИЕ МЕССБАУЭРОВСКОЙ ЛИНИИ И ЕГО УСТРАНЕНИЕ

Развитие физики, однако, позволило пересмотреть отношение к возникшим трудностям и вновь вернуться к оставленному вопросу. Можно считать, что статья Р. В. Хохлова, опубликованная в 1972 г.<sup>1</sup>, начала новый этап в исследованиях этой проблемы. В ряде последующих работ Р. В. Хохловым и его сотрудниками был развит оригинальный подход к ее решению. Почти одновременно с этими работами Ю. М. Каган и В. И. Гольданский опубликовали свой взгляд на возможность создания гамма-лазера<sup>2</sup>. Их подход в определенном отношении был противоположен подходу Р. В. Хохлова, однако из совокупности исследований, выполненных со-

<sup>1</sup> Хохлов Р. В. — «Письма в ЖЭТФ», 1972, т. 15, с. 580.

<sup>2</sup> Гольданский В. И., Каган Ю. М. — «ЖЭТФ», 1973, т. 64, с. 90.

ветскими физиками, стало ясно, что проблема гамма-лазера не безнадежна и ее разработка заслуживает усилий.

Прежде всего Р. В. Хохловым и его сотрудниками были проанализированы механизмы уширения спектра излучения в кристаллах, которые, как оказалось, связаны в основном с неоднородностью и несовершенством их структуры.

Дело в том, что всякие отклонения от идеальной периодической структуры кристалла приводят к флуктуации напряженности магнитного поля в точке, где находится ядро. Поскольку ядро обладает магнитным моментом, его взаимодействие с этим полем приводит к сдвигу линии излучения, причем из-за разброса указанных флуктуаций величина сдвига для каждого из ядер различна. В результате суммарная линия всех ядер расширяется, а степень ее уширения зависит от неоднородности кристалла.

Другими аналогичными источниками уширения могут быть так называемые химический и квадрупольный сдвиг линии. Первый пропорционален плотности электронов в точке, где расположено ядро, а второй — квадрупольному электрическому моменту ядра и градиенту электрического поля в месте его расположения.

На ширину мессбауэровской линии влияет также температура образца. Температурное уширение, свойственное даже идеальному кристаллу, было обстоятельно исследовано в работах Ю. М. Кагана еще в 1964 г., и анализ показывает, что такое уширение может быть в необходимой степени устранено при охлаждении рабочего тела гамма-лазера до температур порядка нескольких градусов Кельвина.

Еще одним очень существенным механизмом уширения мессбауэровский линии даже в идеальном кристалле может быть так называемое диполь-дипольное взаимодействие ядер. Основной физической причиной изменения линии излучения при этом взаимодействии является различие в величине и ориентации магнитных моментов ядер атомов. В результате взаимодействие этих моментов несколько отличается для каждой пары ядер, а следовательно, различна и величина сдвига линии, обусловленного таким взаимодействием. Ориентируя магнитные моменты внешним полем, можно исключить уширение, вызванное различием в направлении диполей, однако эффект, связанный с различной величиной магнитного момента ядра в основном и возбужденном состояниях, устранить не удается. Он и вно-

сит основной вклад в ширину линии излучения в совершенном кристалле.

Как следует из работ Р. В. Хохлова и его сотрудников, этот, казалось бы неустраняемый, механизм уширения линии можно искусственно подавить. Суть метода состоит в воздействии на образец специально подобранного радиочастотного поля. Достаточно быстрая переориентация ядер этим полем приводит к существенному ослаблению диполь-дипольного взаимодействия путем своеобразного «усреднения» его величины, имеющей различный знак при различной ориентации ядер.

Можно так подобрать закон изменения радиочастотного поля, что эффективно ослабляется как взаимодействие дипольных моментов ядер, находящихся в одном состоянии (оба в возбужденном или оба в основном), так и в различных. Одновременно ослабляется магнитное взаимодействие ядер с ядрами других изотопов и элементов, с парамагнитными примесями и т. д. Интересно, что в той же степени, как и диполь-дипольное взаимодействие, ослабляется и взаимодействие квадрупольных моментов ядер с неоднородностями электрического поля в кристалле. Аналогичными методами может быть подавлен и химический сдвиг. Таким образом, подавляется ряд механизмов уширения линии, обусловленных неоднородностью кристаллов.

Итак, подробный анализ идеи искусственного сужения линии гамма-резонанса в кристаллах показал, что имеются совершенно неожиданные возможности приблизиться к созданию гамма-лазера на сравнительно долгоживущих ядерных изомерах.

#### ДРУГИЕ ВОЗМОЖНОСТИ. ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЭФФЕКТА БОРМАНА

Приблизительно одновременно В. И. Гольданским, Ю. М. Каганом и их сотрудниками был рассмотрен второй подход к созданию гамма-лазера — использование возбужденных ядер с малыми временами жизни. Как уже указывалось, в этом случае основная проблема заключается в обеспечении мощных потоков нейтронов, которые могли бы создать инверсную заселенность ядерных состояний.

Другой принципиальной задачей здесь является сохранение необходимого теплового режима в процессе накачки: активное вещество не должно слишком разогреваться. Как было показано

В. И. Гольданским и Ю. М. Каганом, разбавление активного вещества и придание ему сильно вытянутой иглообразной формы позволило бы создать необходимый тепловой режим.

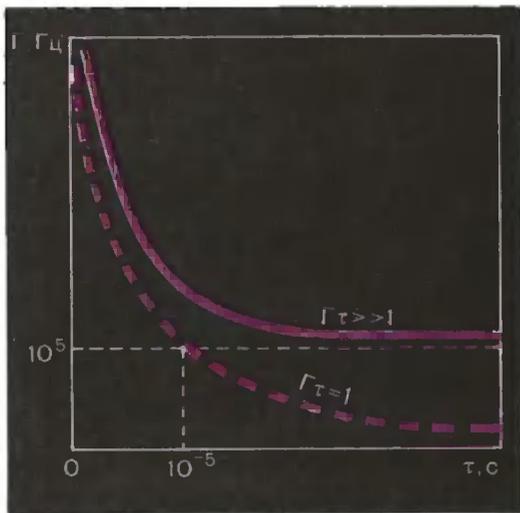
Были указаны и методы значительно снижения требуемых плотностей нейтронных потоков. Это прежде всего так называемая двухстадийная накачка, когда вначале нейтронами возбуждаются ядра первой мишени, которые затем испускают гамма-кванты. Эти кванты улавливаются такими же ядрами активного вещества. По-

может решаться методами лазерного разделения изомеров, аналогичными интенсивно разрабатываемому в последние годы лазерному методу разделения изотопов.

Большое поглощение гамма-квантов атомами активного вещества, о котором говорилось выше и которое следует рассматривать как основное препятствие на пути к гамма-лазеру, также может быть значительно снижено. Для этого можно использовать эффект аномально низкого поглощения гамма-излучения по определенным направлениям в кристалле, для которых выполняются условия Вульфа — Брэгга. В этих направлениях происходит сильное отражение излучения от атомных плоскостей, и напряженность электрического поля электромагнитной волны в точках расположения атомов кристаллической решетки практически равна нулю. Поэтому гамма-кванты почти не взаимодействуют с электронными оболочками атомов и не теряют энергию на вырывание электронов. Это явление называется эффектом Бормана.

В условиях сильного отражения от атомных плоскостей в кристалле как бы распространяются под углом друг к другу две плоские волны. На первый взгляд кажется, что иглообразные кристаллы в этом случае непригодны, так как по крайней мере одна волна быстро покинет кристалл и взаимодействие ее с ядрами кристалла будет мало. Однако изучение конкретных условий прохождения электромагнитных волн в активном веществе гамма-лазера показало, что пакет волн, для которого имеет место эффект Бормана, будет распространяться по кристаллу вдоль атомных плоскостей довольно медленно, незначительно уширяясь за счет диффузии в направлении, перпендикулярном к атомным плоскостям. Более того, в иглообразном кристалле возникают определенные распределения поля (моды) с устойчивой поперечной конфигурацией, для которых поглощение почти такое же, как и для плоских волн в условиях эффекта Бормана. Поскольку для слабозатухающей моды интенсивность поля, выходящего из граней кристалла, мала, излучение с боковых граней не приводит к существенным потерям интенсивности.

Несмотря на усилия, предпринятые для решения проблемы гамма-лазера, возможность его создания сейчас все еще не доказана. Для преодоления ряда трудностей были найдены решения, но осталось много нерешенных вопросов. Имеет



Зависимость ширины линии  $\Gamma$  мессбауэровского излучения от времени жизни возбужденного состояния ядра  $\tau$ . Пунктирная кривая  $\Gamma=1$  соответствует естественной ширине линии в идеальном кристалле. Сплошная кривая — фактическая ширина линии по результатам экспериментов. При  $\tau > 10^{-5}$  с естественная ширина линии не зависит от времени жизни и составляет  $10^5$  Гц, так что  $\Gamma \tau \gg 1$ .

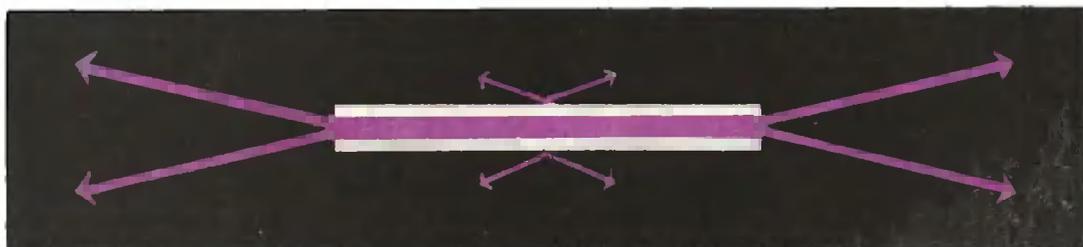
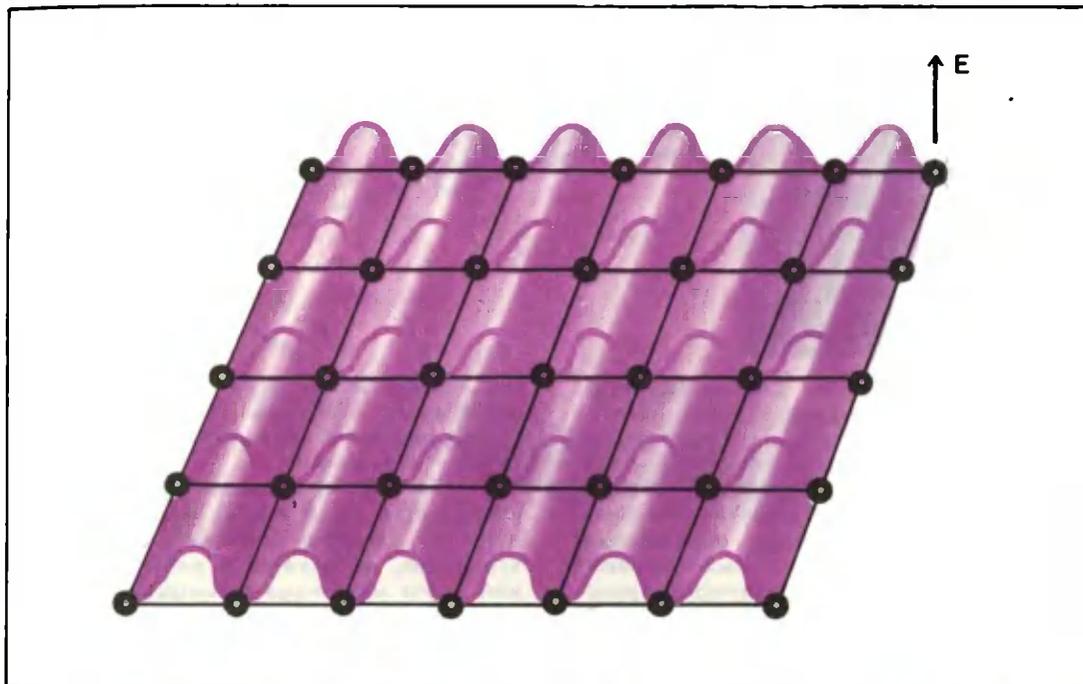
сколько вероятность возбуждения ядер гамма-квантами много больше, чем нейтронами, плотность возбужденных ядер в активном веществе может значительно превышать плотность возбужденных ядер в первой мишени. Другим методом снижения требуемых плотностей нейтронных потоков является нейтронная накачка очень пористой мишени с последующим быстрым сбором возбужденных ядер.

Задача быстрого сбора возбужденных ядер, как показал В. С. Летохов<sup>3</sup>,

<sup>3</sup> Летохов В. С. — «ЖЭТФ», 1973, т. 64, с. 1555.

ли смысл и дальше тратить усилия в этом направлении? Р. В. Хохлов, прекрасно понимая огромные препятствия на пути к гамма-лазеру, неоднократно подчеркивал целесообразность постановки задач в этом направлении и сам интенсивно искал подходы к их решению. Он считал, что если гамма-лазер и будет создан не скоро или даже вообще не будет создан, разработка этой проблемы стимулирует множество новых научных и технических направлений и неизбежно приведет к новым открытиям.

Уже сейчас можно говорить о том, что сужение мессбауэровской линии, когда оно будет реально и в полном объеме осуществлено, откроет совершенно новые возможности для принципиальных экспериментов в физике. Изучение эффекта Бормана в связи с обсуждаемой проблемой заставляет по-новому подойти ко многим задачам гамма-оптики. В связи с проблемой гамма-лазера был исследован эффект подавления неупругих каналов ядерных реакций при высоких мультипольностях ядерных переходов. Эта проблема



Волновая картина в кристалле, характеризующая отсутствие электрического поля  $E$  в точках расположения атомов при выполнении условий Вульфа — Брэгга. Излучение очень слабо взаимодействует с электронными оболочками атомов, и его энергия не расходуется. Это явление называется эффектом Бормана [вверху].

Картина поля в вытянутом иглообразном кристалле в условиях эффекта Бормана. Излучение с боковых граней кристалла очень мало, так как интенсивность поля для слабозатухающей моды у граней кристалла незначительна [внизу].

стимулирует развитие импульсных источников нейтронов, методов разделения изотопов и изомеров, методов изучения свойств ядер в возбужденных состояниях, теории коллективного испускания излучений возбужденными атомами и ядрами и целый ряд других научных направлений.

## Лазеры в океанологии

В. В. Фадеев



Виктор Владимирович Фадеев, кандидат физико-математических наук, доцент кафедры волновых процессов физического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается квантовой радиофизикой и нелинейной оптикой, в частности применением лазеров с перестраиваемой частотой для диагностики окружающей среды.

Решение проблем охраны окружающей среды и рационального использования природных ресурсов во многом зависит от разработки и внедрения методов дистанционного экспресс-анализа атмосферы и естественных водных сред. Задачи такого анализа многообразны: определение состава и концентрации малых примесей естественного или искусственного происхождения; измерение параметров, характеризующих физическое состояние среды (температура, давление, скорость перемещения воздушных или водных масс и т. п.); изучение энерго- и массообмена между атмосферой и гидросферой.

Особое место при создании методов дистанционного экспресс-анализа заняли лазеры.

Малая расходимость и высокая спектральная яркость лазерных пучков позволяют создавать интенсивное световое поле на значительных расстояниях от установки. Поэтому оптический сигнал, возникающий при взаимодействии самых разных объектов с этим полем, достаточно велик, чтобы его могли зарегистрировать на большом расстоянии от объекта современные приемники оптического излучения. Впечатляющим примером возможностей дистанционного лазерного зондирования является измерение распределения натрия и калия на высоте около 100 км над по-

верхностью земли<sup>1</sup>, где их концентрация очень низка: максимум  $10^4$  атомов/см<sup>3</sup> при общей плотности атмосферы на этой высоте  $10^{13}$  атомов/см<sup>3</sup>.

Прибор, с помощью которого осуществляется такое зондирование, получил название «лидар». Ответный сигнал, или эхо-сигнал, образуется в результате того или иного механизма взаимодействия света с веществом.

В случае зондирования натрия и других металлов, содержащихся в атмосфере, эхо-сигналом является резонансная люминесценция атомов — переизлучение света на той же частоте, что и возбуждающее излучение. Совпадение частоты зондирования с линией поглощения металла приводит к резкому (более чем на 10 порядков) возрастанию интенсивности сигнала.

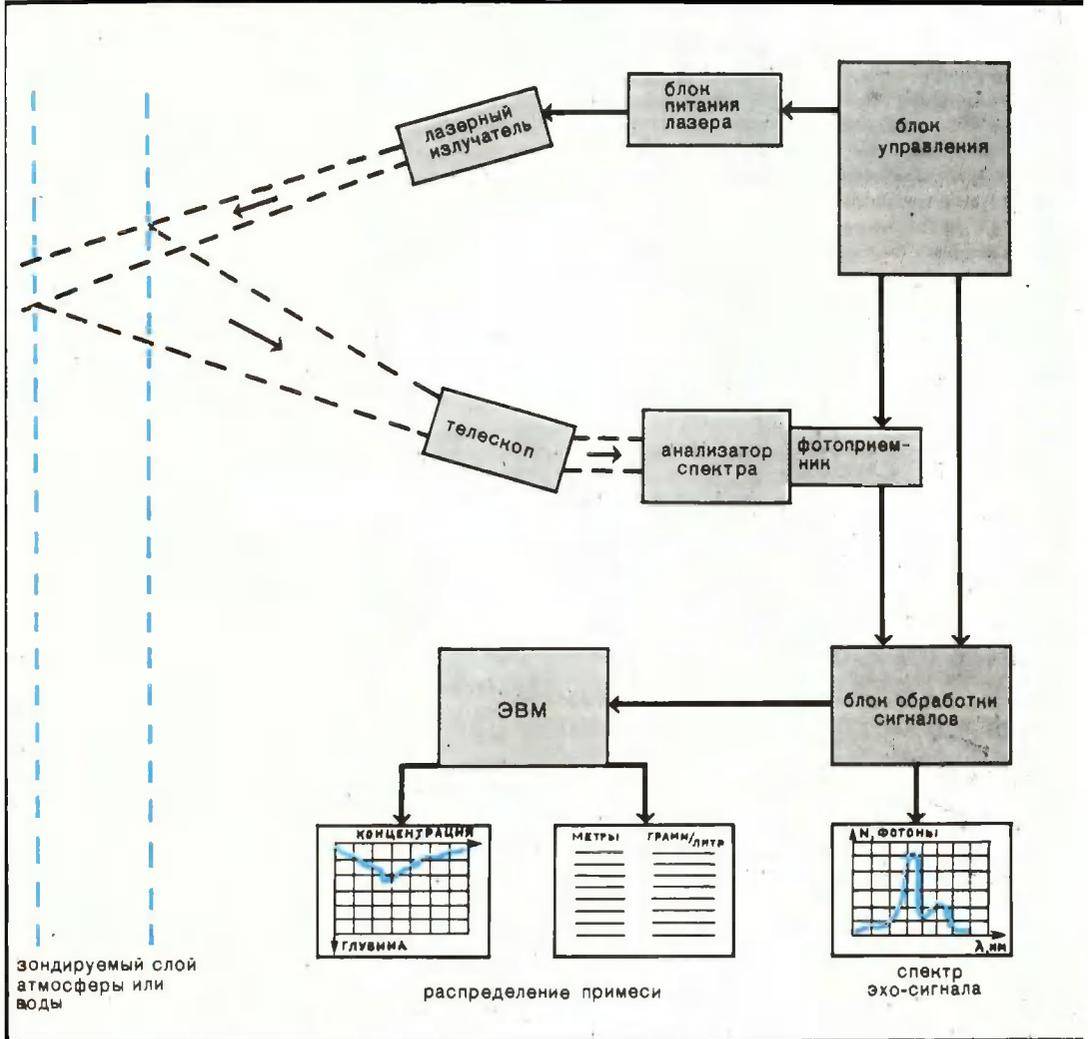
Однако этот метод не всегда применим: наличие значительного количества атомов определяемого вещества между зондируемым слоем и лидаром может привести к полному поглощению сигнала на его пути к приемнику, а сильное рассеяние света в зондируемом слое — к образованию «засветки», на фоне которой

<sup>1</sup> Костко О. К. Использование лазерной локации в исследованиях атмосферы. — «Квантовая электроника», 1975, р. 2, № 10.

полезный сигнал будет неразличим. (Рассеяние от других слоев может быть подавлено стробированием приемника, при котором он открывается на время меньше  $1 \text{ мкс}$  только в момент прихода интересующего нас сигнала.) При зондировании атмосферных щелочных металлов ситуация благоприятная: они локализованы в высоколежащем слое атмосферы, поэтому рассеяние света в этом слое и поглощение отраженного сигнала в слоях, расположенных ниже, незначительны. Определить же содержание металлов в воде

методом резонансной люминесценции трудно из-за сильного рассеяния света.

Поэтому для определения примесей в воде используют методы, основанные на механизмах излучения с частотами, смещенными относительно лазерной. Наиболее широко известный пример такого механизма — флюоресценция, длина волны которой смещена в красную область спектра относительно длины волны возбуждающего света. Изучение спектра возбуждения флюоресценции, т. е. зависимости ее интенсивности от длины волны воз-



Блок-схема лазерного локатора (лидара). В состав лидара входит лазерный передатчик, излучающий пучок света с той или иной длиной волны, и приемник, состоящий из оптической системы сбора фотонов (телескопа), анализатора спектрального состава принимаемого излучения,

фотоэлектронного приемника и системы обработки информации. Для регистрации эхо-сигнала, проходящего от зондируемого слоя среды, используется стробирующей системой, «открывающей» приемник в заданный момент времени.

буждающего света, в сочетании со спектром самой флюоресценции помогает проводить идентификацию примесей в случаях, когда флюоресцируют несколько веществ. Такая картина возникает, например, при зондировании нефтяных загрязнений или фотосинтезирующих организмов.

Еще большие возможности в анализе сложных многокомпонентных объектов предоставляют спектры комбинационного рассеяния света. Хотя его сигналы и много слабее сигналов флюоресценции, современные лидары способны обнаруживать по ним примеси в воздухе и воде в количествах менее одной частицы на миллион частиц среды на значительных (от сотен метров до нескольких километров) расстояниях от лидара. В последние годы, благодаря прогрессу в лазерной физике и нелинейной оптике, спектроскопия пополнилась новыми методами, позволяющими значительно увеличить оптический отклик среды за счет интерференции волн, излучаемых большим числом атомов, — так называемой когерентной спектроскопией. Высокая монохроматичность лазерного излучения позволяет взять на вооружение и такие тонкие методы, как доплеровская и фазовая спектроскопия, позволяющие определять скорости движения частиц среды и пространственную конфигурацию объектов (например, высоту волн на поверхности воды).

Таков далеко не полный перечень механизмов взаимодействия света с веществом, которые могут быть использованы при лазерном зондировании окружающей среды, и в частности естественных водоемов. В настоящее время методом лазерного зондирования осуществляются видение и локация под водой, измерение волнения поверхности водоемов<sup>2</sup>, лазерная спектроскопия водных сред. Наша группа занимается разработкой методов лазерной спектроскопии, и поэтому ниже речь пойдет именно о них.

Первой океанологической задачей, решенной с помощью оригинального варианта дистанционной лазерной спектроскопии, было определение первичных гидрооптических характеристик морской воды — коэффициентов поглощения и рассеяния света в ней. В среду посылаются коротких (длительностью несколько наносекунд) импульс, и анализируется фор-

ма заднего фронта принимаемого импульса. Световой эхо-сигнал на частоте зондирования образуется за счет рассеяния Ми и Рэлея в морской воде. По мере распространения в среде световой импульс ослабляется из-за рассеяния и поглощения взвешенными частицами и растворенными в воде веществами. В результате сигналы, приходящие от более удаленных от лидара слоев воды, ослаблены по сравнению с сигналами от близлежащих слоев, что отражается на форме заднего фронта эхо-импульса, регистрируемого приемником лидара.

Решение многих задач океанологии связано с определением состава морской воды. Морская вода — сложная многокомпонентная среда, в которой содержатся биологическая взвесь, минеральные и органические вещества, а в последнее время и многочисленные загрязнители, наиболее распространенными из которых являются нефтепродукты.

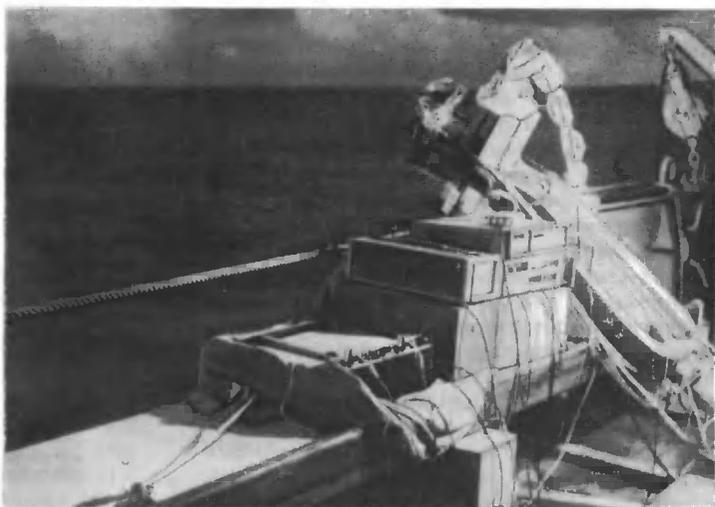
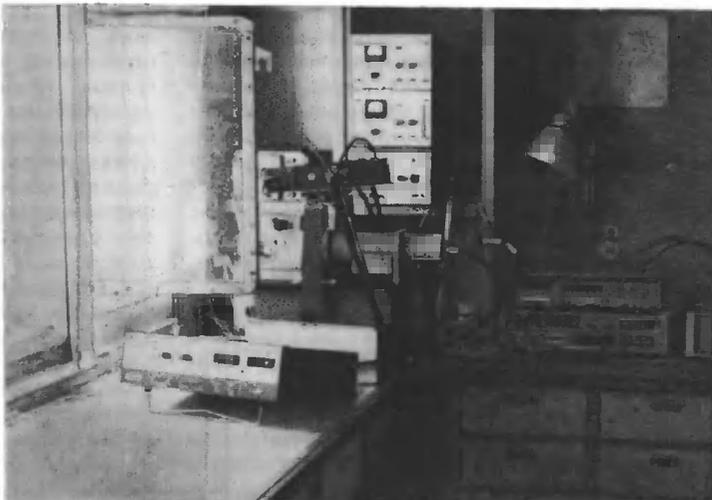
Очевидно, что методы исследования океана сегодня должны быть экспрессными как на этапе получения первичной информации, так и на этапе ее обработки, универсальными, во многих случаях — дистанционными. Оптические методы в большой степени удовлетворяют этим требованиям.

Экспрессность оптических методов принципиально связана с возможностью эффективного преобразования света, несущего информацию об объекте, с которым он взаимодействовал, в электрические сигналы, техника автоматической обработки которых хорошо развита. Дистанционность оптических методов вытекает из того, что свет распространяется как в атмосфере, так и в воде и проходит через границу их раздела. Оптические методы обладают высокой чувствительностью при определении примесей; например, методом оптической флюоресценции можно обнаружить в морской воде очень малые концентрации — менее  $10^{-10}$  моль/л хлорофилла и других органических веществ. Наконец, оптические методы одновременно и универсальны, и высокоизбирательны, что связано с многообразием методов оптической (и в особенности лазерной) спектроскопии, возможностью вариации длины волны света в широких пределах и наличием специфических оптических характеристик у каждого химического соединения.

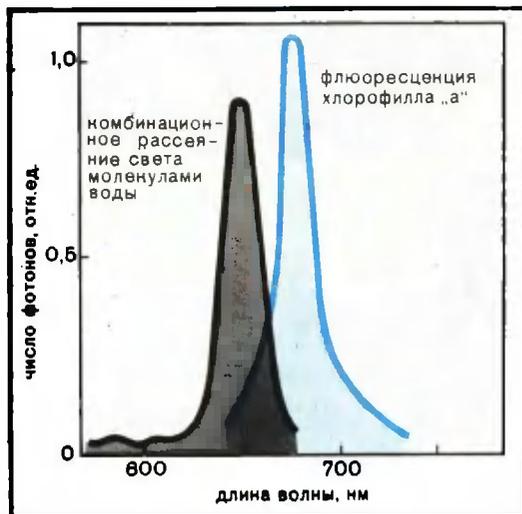
Проиллюстрируем новые возможности, которые открываются с применением лазеров в океанологии, некоторыми ре-

<sup>2</sup> Красовский Р. Р. Лазерные устройства для океанологических исследований. — «Зарубежная радиоэлектроника», 1976, № 12.

Лидар, с помощью которого проводилось дистанционное зондирование морской воды в 18-м рейсе «Дмитрия Менделеева». Вверху — лидар смонтирован в лаборатории; в середине — зондирование водной толщи производится через поворотное зеркало, укрепленное на фальшборте; внизу — лидар смонтирован на поворотной турели, установленной на палубе.



зультатами исследований, выполненных в 18-м рейсе научно-исследовательского судна «Дмитрий Менделеев», проходившем с 31 декабря 1976 г. по 15 апреля 1977 г. В задачу этого рейса входило комплексное исследование островов в океане как достаточно простых природных экосистем. Основным разделом программы были биологические исследования, и в частности определение первичной продукции островных экосистем. Наша группа из Московского государственного университета должна была провести проверку ла-



Спектр эхо-сигнала, полученного при лазерном зондировании морской воды, содержащей фитопланктон с концентрацией хлорофилла «а» около 3 мкг/л. Длина волны возбуждающего излучения 532 нм.

зерного экспресс-метода определения концентрации хлорофилла «а» в морском фитопланктоне. Метод был предложен нами в 1975 г. в результате исследований, проведенных в 4-м рейсе научно-исследовательского судна «Московский университет» (ныне «Академик Петровский»). Суть его заключается в том, что при лазерном зондировании морской воды проводится анализ спектра эхо-сигнала и сравниваются площади под контурами спектральных полос флуоресценции примеси (в данном случае хлорофилла «а») и комбинационного рассеяния света в воде. Отношение этих площадей, пропорциональное отношению концентраций примеси и молекул воды, мало зависит от величины первичных гидрооптических характеристик морской

воды и совсем не зависит от геометрических факторов (апертур передатчика и приемника, взаимной ориентации их диаграмм направленности). Таким образом, измеряя это отношение и зная спектральные характеристики примеси, можно определять ее концентрацию<sup>3</sup>. Оценка концентрации хлорофилла позволяет получать информацию о продуктивности океана и его отдельных районов, о динамике продукционных процессов и т. п.

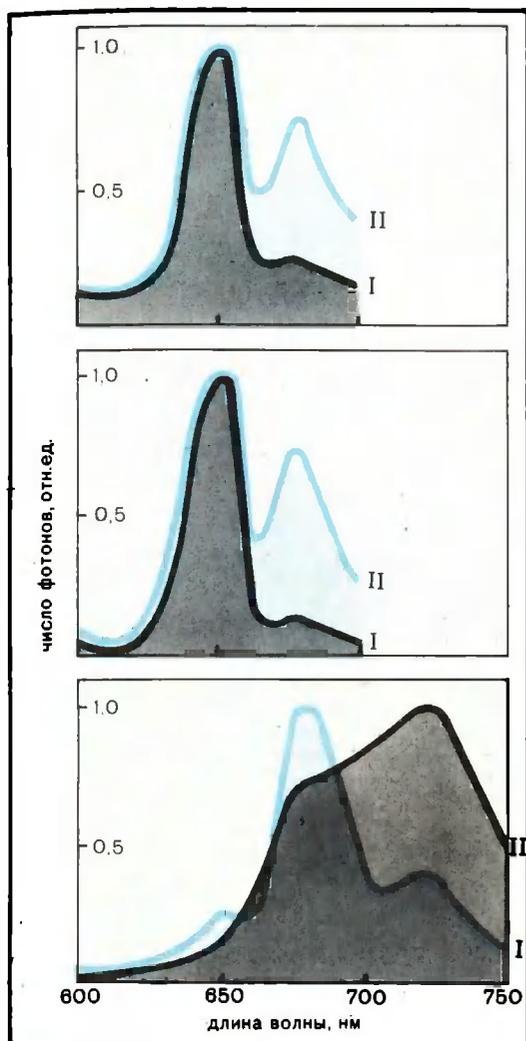
Зондирование проб воды и непосредственно водной толщи проводилось с помощью лидара, две модификации которого показаны на фотографиях. Очень удобной оказалась схема дистанционного зондирования, когда лидар находится в лаборатории, а луч лазера направляется в воду поворотным зеркалом, укрепленным на фальшборте. Тот же путь, но только в обратном направлении, проходит эхо-сигнал.

В экспедиции было получено большое количество спектров эхо-сигналов. Сопоставление результатов их обработки с данными параллельных измерений концентрации хлорофилла «а» стандартными биохимическими методами подтвердили перспективность лазерной методики.

В отличие от анализа воды путем забора проб, дистанционное лазерное зондирование позволяет получать информацию о продуктивности океана непрерывно, на ходу судна. Стробирование приемника позволяет избавиться от паразитной засветки приемника и проводить зондирование не только ночью, но и днем. Это, в частности, позволяет обнаруживать сгущения фитопланктона в открытом океане, которые давно интересуют морских биологов. По-видимому, через одно из таких «облаков» планктона проходило наше судно, когда лидар показал резкое увеличение концентрации хлорофилла в малопродуктивном районе океана.

Интересным объектом наших исследований были кораллы — колонии животных, находящихся в своеобразном симбиозе с фотосинтезирующими организмами. Биологические исследования показали, что коралловые острова и атоллы в Тихом океане являются мощными генераторами биологической продукции. Нами были по-

<sup>3</sup> Клышко Д. Н., Фадеев В. В. Дистанционное определение концентрации примесей в воде методом лазерной спектроскопии с калибровкой по комбинационному рассеянию. — «ДАН СССР», 1978, т. 238, № 2.



Спектры проб морской воды с разной концентрацией хлорофилла «а» и кораллов, полученные в 18-м рейсе «Дмитрия Менделеева». Длина волны возбуждающего излучения 532 нм. С возрастанием концентрации хлорофилла «а» пропорционально растет отношение числа фотонов флуоресценции фитопланктона [площади под кривой с максимумом на длине волны 680 нм] и числу фотонов комбинационного рассеяния [площади под кривой с максимумом на 650 нм]. Вверху — пробы взяты из приповерхностного слоя. Концентрация хлорофилла «а», определенная стандартным биохимическим методом параллельно со снятием спектров флуоресценции, составила: I — 0,4 мкг л и II — 1,8 мкг л. В середине — спектры, полученные при дистанционном зондировании водной толщи. В малопродуктивном районе (I) появилось «облако» фитопланктона (II). Внизу — спектры флуоресценции кораллов (II) и морской воды из аквариума с кораллами (I).

луины спектры флуоресценции кораллов, напоминающие спектры флуоресценции листьев высших растений. Проба, взятая из аквариума с морской водой, в которой находился коралл, начинает флуоресцировать так же, как она флуоресцирует при очень большой концентрации фитопланктона. Это указывает на то, что фотосинтезирующие организмы покидают кораллы и выходят в воду.

Исследования по лазерной спектроскопии морской воды все чаще включаются в программы экспедиций. Помимо упомянутых 4-го рейса «Академика Петровского» и 18-го рейса «Дмитрия Менделеева», они проводились также в 5-м и 10-м рейсах «Дмитрия Менделеева», 20-м рейсе судна погоды «Океан» и др. Пока лазерные группы таких экспедиций основное внимание уделяют методическим вопросам, но недалек тот день, когда лазеры в океане станут столь же привычным орудием исследования, как сейчас ботометры, вертушки и эхолоты. Лазерные и другие экспресс-методы изучения океана позволят получать данные тут же на месте, пока судно еще не успело уйти из данного района и еще не поздно что-то повторить, уточнить, видоизменить условия опыта и т. д., словом, сделать то, что мы привыкли делать, проводя эксперимент в лаборатории. Они позволят целенаправленно выбирать районы исследований исходя из данных оперативной разведки, проводимой на ходу судна или с судового вертолета. Таким представляя теперь уже недалекое будущее океанских экспедиций Рем Викторович Хохлов, поощряя наши усилия в области лазерной спектроскопии естественных водных сред, в развитии направления, которое мы пока условно называем лазерной океанологией.

## «Ученый должен быть организатором непременно»

**Профессор Бл. Сендов**

Ректор Софийского университета им. Климента Охридского

В августе 1975 г. в Москве проводилась Генеральная Ассамблея Международной ассоциации университетов. Руководители университетов всего мира обсуждали вопрос о том, каким будет университетское образование накануне XXI в. Все делегаты с большим интересом слушали первого докладчика, ректора Московского университета Рема Викторовича Хохлова, наметившего планы развития университетского образования при развитом социализме и в будущем коммунистическом обществе. В ученом с мировым именем, обаятельном человеке, талантливым организаторе все мы видели большого стратега университетского образования.

Р. В. Хохлов относился к проблемам обучения и воспитания молодежи, к формированию молодых ученых с очень большим вниманием. Он стремился четко определить роль университетского образования в современном обществе, придавал большое значение международному университетскому сотрудничеству<sup>1</sup>.

В первую очередь нужно подчеркнуть принцип базисного университетского образования с широкой фундаментальной подготовкой: «Главное достоинство университета, — говорил Р. В. Хохлов, — широта образования, которое он дает. Основной недостаток — тот же, что у современной высшей школы в целом: представляя человеку базовое образование, она не может дать ему запас знаний на всю его жизнь (точнее, на всю его трудовую жизнь). И к этой цели не нужно стремиться. Она недостижима. За 40—45 лет — время средней продолжительности активной трудовой

жизни дипломированного специалиста — в промышленности и других областях народного хозяйства происходят огромные изменения, большую часть которых, конечно, невозможно предвидеть. Необходимо другое — периодическое обновление знаний. Оно-то и диктует направление, в котором должно пойти усовершенствование университетского и любого другого высшего образования».

Р. В. Хохлов ясно видел задачи, стоящие перед высшим образованием, и уверенно вел Московский университет к их решению: «Во-первых, необходимо перестроить сам учебный процесс базового образования. Основное направление такой перестройки — углубление подготовки по фундаментальным наукам и обучение творческому применению и развитию своих знаний. В ближайшем будущем соотношение объемов фундаментальных наук и конкретных дисциплин в программах вузов, по-видимому, должно измениться в пользу первых. Вуз должен давать студенту не столько конкретные знания, сколько основу духовного богатства человечества и метод познания новых явлений, равно как и преобразования мира.

Например, в Московском университете мы уже вводим в планы естественных факультетов гуманитарные предметы, ибо считаем, что профессиональная узость кругозора наносит ущерб не только общекультурному развитию личности, но и воспитанию в ней творческого начала. Богатый эмоциональный мир человека, его художественное воображение, которое развивается гуманитарным образованием, делает более продуктивным и логическое мышление.

Во-вторых, необходимо создать систему пополнения знаний дипломированных специалистов. Человек должен учиться непрерывно всю свою трудовую жизнь».

<sup>1</sup> В дальнейшем изложении я часто буду прибегать к собственным словам Р. В. Хохлова, используя в основном следующие его публикации: Всемирные центры образования и культуры. — «Литературная газета», 1976, 31 марта; Время познания. — «Наука и жизнь», 1973, № 9; Начинайте с труда. — «Комсомольская правда», 1973, 24 июня.



На церемонии вручения Р. В. Хохлову диплома почетного доктора Софийского университета им. Климента Охридского. Второй ряд слева направо: ректор Софийского университета Бл. Сендов, Р. В. Хохлов. София, 1974 г.

Принцип базисности университетского образования лежит и в основе нового этапа сотрудничества между Московским и Софийским университетами. Сближение наших университетов ведется так, что в ближайшем будущем по всем основным специальностям мы будем иметь единое базисное обучение, охватывающее в среднем первые три года учебы. Уже согласован ряд учебных планов и программ и начата подготовка совместных учебников.

Установление единого базисного университетского образования создает важные предпосылки для разделения труда по подготовке кадров высшей квалификации в социалистических странах. Полный курс обучения во всех университетах не может быть одинаковым. Полная стандартизация университетского образования даже в рамках одной страны невозможна и нежелательна, так как лицо каждого университета определяется теми ведущими учеными, которые читают оригинальные курсы и непосредственно руководят важнейшими направлениями научных исследований. Но сближение университетских планов и программ для первых лет обучения, где закладывается фундамент знаний будущего специалиста, очень желательно

и способствует развитию широкого сотрудничества в подготовке специалистов в различных направлениях. Единое базовое университетское образование дает возможность беспрепятственно переходить из одного университета в другой для получения соответствующей специализации без потери времени.

Согласованность учебных планов и программ не означает их абсолютную идентичность. Мы говорим, что планы согласованы, скажем, до третьего курса включительно по данной специальности, если студент, окончивший первый, второй или третий курс одного университета, в состоянии продолжить обучение, соответственно, на втором, третьем или четвертом курсе другого университета. Р. В. Хохлов не раз говорил о большой роли единого базисного университетского образования для повышения эффективности научного и экономического сотрудничества социалистических стран и считал, что работа в этом направлении должна вестись по линии двусторонних договоров между университетами.

В процессе подготовки молодого специалиста особое внимание должно уделяться фундаментальным знаниям. «Фундаментальные знания — это знания не расчетчика, а теоретика, не клерка от науки, а мыслителя, творца. Конкретные вещи можно выучить, освоить, запомнить и пользоваться ими, как, скажем, пользуются справочником, номограммой или расчетной формулой. Фундаментальные понятия и законы можно тоже выучить и запомнить. Но сначала их нужно глубоко понять, прочувствовать всем нутром, ввести в язык своего мышления. Возможно, это слегка преувеличено, но мне представляется, — говорил Р. В. Хохлов, — что, овладевая фундаментальными знаниями, специалист поднимается на высочайшую ступень понимания предмета, откуда уже открываются магистрали науки, ее самые оживленные перекрестки, открываются горизонты будущих открытий».

У студентов нужно воспитывать сознательное отношение к учебному труду и высокие человеческие качества: «Умение добросовестно трудиться в аудитории, лаборатории, на практике я бы выделил как первую черту настоящего студента. Если уж пришел в вуз, изволь работать по-настоящему, а не занимать чужое место ради тщеславия или еще чего-нибудь ради. Это в конце концов твой долг не только перед обществом, но и перед своей со-

вестью». И дальше: «Как очень важную черту я отметил бы и умение работать в коллективе, разумно строить свои отношения с людьми, не теряя при этом, разумеется, своего лица, не поступаясь принципами. Коллективизм, коммуникабельность, я бы сказал, — это очень важный элемент при воспитании ученого, специалиста, вообще при формировании человеческой личности. Вот почему настоящего студента я вижу человеком общественным, активно раскрывающимся «на миру», участвующим во всех начинаниях комсомола, других общественных организаций вуза, особенно в таких делах, как студенческие строительные отряды, помощь сельской школе, защита природы, лекционная пропаганда».

Р. В. Хохлов исходил из необходимости объединения учебного процесса с научно-исследовательской работой студентов. Привлечение студентов к настоящей исследовательской деятельности он считал обязательным для университета. Вместе с тем он предлагал это делать разумно и в подходящее время: «Некоторые студенты начинают научную деятельность уже с первых курсов, но, к сожалению, довольно часто это не приносит пользы ни начинающему исследованию, ни науке. Просто нет еще достаточного багажа и лишь на чисто внешние эффекты расходуется время, которое во всех отношениях правильнее было бы в этот период отдавать глубокому изучению предмета».

Совсем иное дело — научная работа на старших курсах. Это итог большой, длившейся несколько лет познавательной работы студента. Это продолжающийся многие месяцы главный экзамен будущего специалиста. Экзамен, на котором не может подвести неудачный билет и не может помочь удачная подсказка. К этому экзамену нельзя подготовиться в «импульсном режиме» не только за одну ночь и даже за год — на нем приходится держать отчет за всю свою студенческую жизнь. Дипломная работа должна показать, насколько фундаментальны фундаментальные знания, насколько они смогут в конкретной работе служить источником конкретных действий молодого исследователя».

Р. В. Хохлов не очень охотно давал категорические советы, понимая сложность человеческих взаимоотношений и проблем. Часто он искал аналогии, которые могли бы подсказать и обосновать некоторые рекомендации. Замечательна в этом смысле его интерпретация принципа согла-

сования генератора с нагрузкой для передачи наибольшей мощности. Известно, что если к электрическому генератору подключить некоторую нагрузку, то оптимальная передача мощности происходит, когда сопротивление нагрузки равно внутреннему сопротивлению генератора. Когда сопротивление нагрузки больше, напряжение увеличивается, но ток уменьшается, а когда сопротивление нагрузки меньше, то ток увеличивается, но напряжение падает. Мощность, которая измеряется произведением тока на напряжение, принимает максимальное значение, когда нагрузка и генератор согласованы.

Р. В. Хохлов интерпретировал это физическое правило таким образом: «Нечто похожее происходит и в жизни. Жизненные взаимодействия, конечно, несоизмеримо сложнее того, что мы видим в простейшей электрической цепи, но чем-то все-таки они похожи. Деятельность человека и в учебе и в труде наиболее эффективна, если он согласует свои действия со своими способностями и возможностями, согласует «генератор» с «нагрузкой». Взявшись за дело слишком трудное, слишком сложное, вы не только не добьетесь делового эффекта, но и обречете себя на вечное тягостное ощущение собственного бессилия и даже собственной неполноценности. Взявшись за дело слишком простое, слишком легкое, вы и делать его будете без особого энтузиазма, испытывая при этом тягостное ощущение недогрузки, ощущение неудовлетворенности из-за нереализованных своих потенциальных возможностей».

Человек — генератор мыслей и дел — должен работать на свою оптимальную нагрузку, должен заниматься достаточно сложным и интересным для себя делом, но в то же время делом посильным. Именно с таким подходом к выбору профессии или конкретной работы как нельзя лучше гармонирует одна из особенностей нашей советской идеологии, которая не делит человеческие дела на первосортные и второсортные, считает всякий полезный для общества труд делом важным и почетным, всякую профессию и должность — достойными уважения».

Опираясь на свой богатый опыт, Р. В. Хохлов выступал против всяких иллюзий относительно профессии ученого, профессии, связанной с большой нагрузкой и требующей смелости и моральной выдержки. Он писал: «Молодой ученый должен уметь рисковать, не бояться что-либо

потерять, утратить ради того, чтобы, может быть, многое найти».

Но, как всякий истинно смелый человек, молодой, ищущий ученый должен быть готовым и к неудачам. Должен уметь встречать их по-деловому, реагировать на них не эмоциями, а действиями. В том числе должен уметь легко перестраиваться, решительно отступать, легко расставаться с тем, что списано в убыток, должен уметь собираться с силами после неудачи, четко и беспристрастно анализировать обстановку и вновь наступать. И повторять это до тех пор, пока во всей своей простоте не откроется истина. Одним словом, молодой, ищущий ученый должен реагировать на неудачу всегда одинаково — работой».

Р. В. Хохлов высоко ценил чувство ответственности. Самые любимые его занятия были непосредственно связаны с его научной работой, но он уделял большую часть своего времени выполнению общественных обязанностей. Назначение на пост ректора Московского государственного университета потребовало от него еще большего напряжения сил. Кроме внутренних проблем университета по обучению и воспитанию студентов, организации научно-исследовательской работы, связей с предприятиями по внедрению научных достижений, полученных в Московском университете, много отдавалось сил развитию зарубежных связей. Р. В. Хохлов уделял большое внимание налаживанию и укреплению личных контактов с руководителями сотрудничающих университетов и улучшению организации этого сотрудничества. Считая вопросы организации очень важными, он отмечал следующее: «Иногда приходится слышать споры о том, должен ли истинный ученый быть еще и хорошим организатором. Думается, что здесь просто нет повода для дискуссий. Ученый должен быть организатором непременно. Пусть вам не придется руководить институтом, конструкторским бюро или лабораторией, но в наше время ни один исследователь не может рассчитывать на то, что он, подобно средневековому алхимику, будет работать в гордом одиночестве. Современная наука — коллективное творчество, область сложных человеческих взаимодействий. На том или ином участке работы каждому исследователю приходится руководить тем или иным коллективом. И уже со студенческой скамьи нужно воспитывать в будущем ученом качества, необходимые руководителю, организатору. И в первую очередь са-

мое, наверное, важное качество — чувство ответственности».

Сам Р. В. Хохлов обладал всеми качествами ученого и организатора науки. Хотя вся его научная деятельность была связана с физикой, он не проявлял узкого научного патриотизма. Его интересы имели очень широкий диапазон. Показателен в этом отношении его ответ на вопрос, чем бы он начал заниматься, если бы имел возможность снова вернуться на студенческую скамью. Ответ содержит следующие слова: «Профессию я бы не поменял. Обязательно стал бы заниматься тем, чем занимаюсь сейчас,— физикой. Но вот специализацию, возможно, выбрал бы иную — биофизику. Биология, особенно стыки ее с другими науками,— это та область науки, которая, как мне представляется, в ближайшие десятилетия должна оказать на жизнь общества и каждого отдельного человека огромное влияние. Познав законы наследственности, роста организма, его взаимодействия со средой, мы сможем реально влиять на биологические процессы. Стоит ли лишний раз говорить, какие революционные результаты это сулит нам и в борьбе против самых опасных болезней, и в обеспечении населения земного шара продуктами питания, и в установлении правильных взаимоотношений между человеком и его жизненной средой!»

Естественно, на путях своего развития биология уже обращается и в дальнейшем будет обращаться гораздо чаще к опыту таких наук, как физика и химия. Бурный прогресс, который они пережили в XX веке, методологический опыт, который они приобрели, показывает биологам, как надо решать исследовательские задачи и чего можно ждать от решения этих задач».

Р. В. Хохлов сознавал свою ответственность как руководитель такого авторитетного и сложного научного и учебного комплекса, как Московский университет, старался вникнуть в общие проблемы развития науки в целом. Он не раз подчеркивал большое значение гармоничного сочетания разных научных направлений и плодотворность их взаимодействия между собой. Правильное развитие университета требует заботы о всех науках, представленных в нем. В науках, конечно, всегда бывают «модные» направления, которые привлекают больше внимания, но их развитие не должно идти за счет других.

Большое значение Р. В. Хохлов придавал культурной миссии университета.

По поводу 150-летия Малого театра он писал: «Вот уже полтора века Московский университет аплодирует замечательным мастерам Малого театра. В глубь десятилетий уходят прочные и многообразные связи, объединяющие эти два крупнейших центра русской культуры».

Было бы справедливо сказать, что сам Малый театр формировался под влиянием идей и просветительской деятельности передовой части научной интеллигенции.

Роль Московского университета в становлении русской литературы и искусства трудно переоценить. Именно в университете были открыты художественные классы, положившие начало первой русской Академии художеств. Здесь, почти сразу вслед за рождением первого профессионального театра в Петербурге, создается силами студентов публичный театр».

Р. В. Хохлов подчеркивал большую роль университетов как центров культуры и образования будущего общества. Люди все больше и больше будут стремиться не только к приобретению узко профессиональных знаний для «хлеба насущного», но и будут стремиться к знаниям, удовлетворяющим их возрастающие духовные потребности. Приобретение новых знаний, которые помогут человеку глубже понять как мир, в котором он живет, так и самого себя, станет привлекать много людей разных профессий. Имея это в виду, он писал: «Совершенно ясно, что со временем все больше будет возрастать доля свободного времени советских людей, которым, как говорил Маркс, определяется богатство общества. В свободное время они станут доставлять себе радость, пополняя свои знания, обучаясь новому, повышая свою культуру, ибо наивысшая радость человека проистекает от познания и свершения нового. В структуре возрастающих потребностей человека все больший удельный вес будут составлять нематериальные блага — в первую очередь культура и образование, развитие которых, в отличие от материальных потребностей, не имеет границ. Соответственно повысится роль образования. Наиболее интенсивно будет развиваться свободное образование без отрыва от основной работы. Вузы будут «охватывать» не только молодежь, но превратятся в центры культуры и образования всего народа».

## Комплексная высокогорная экспедиция МГУ

**Л. Н. Добровольский,**

**Г. Л. Мякишев**

Кандидаты физико-математических наук

**Профессор Ю. М. Широков**

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

В 1976 г. при Московском государственном университете была создана комплексная высокогорная экспедиция. Ее создателем и научным руководителем был Рем Викторович Хохлов.

Р. В. Хохлов любил горы. Более 25 лет он занимался летом альпинизмом и покорил многие труднейшие вершины нашей страны, в том числе выше 7 тыс. метров: пик Ленина (дважды), пик Евгении Корженевской, восточную вершину пика Победы. Р. В. Хохлов считал альпинизм не только активным отдыхом, но и одним из проявлений общего стремления человека проникнуть в условия, экстремальные для его существования, такие как космос, глубины океана и др. Он хорошо понимал, какую большую роль в исследовании и освоении гор могут сыграть именно альпинисты-ученые.

Р. В. Хохлову было ясно, что такие сложные природные объекты, как высокие горы, требуют проведения широких комплексных научных исследований, которые должны быть оперативно объединены такой единой руководящей и организующей силой, как научный отдел ректората университета. Взаимная увязка научных программ гляциологических, физических и биологических исследований, централизованное снабжение — таковы очевидные преимущества комплексной научной высокогорной экспедиции МГУ.

Выезд в горы даже обычной альпинистской группы, не ставящей себе иной цели кроме восхождения на вершины, требует решения целого ряда проблем, и прежде всего проблемы транспорта: не просто добраться без задержек от аэро-

порта до подножия семитысячника. Необходим вертолет, так как нужно вести с собой кроме обычных вещей специальное альпинистское снаряжение: веревки, крючья, высотные палатки, высокогорную обувь, примусы, бензин и т. д. Необходим запас продовольствия, набор медикаментов и инструментов, требуется радиосвязь с базовым лагерем и ближайшими населенными пунктами, с вертолетной группой.

А в научной высокогорной экспедиции ко всему этому добавляется громоздкая научная аппаратура, требующая деликатного обращения. И эту аппаратуру надо не только доставить в лагерь, но и поднять на себе в горы. Нетрудно представить себе насколько сложнее и дороже организовывать отдельные экспедиции гляциологов, геофизиков, биологов и т. д. Придется дублировать почти все снаряжения, каждый раз заново организовывать его доставку.

Комплексная экспедиция МГУ работала летом 1976 и 1977 г. на Памире, в основном в верховьях ледника Фортамбек, у подножия самой высокой вершины СССР — пика Коммунизма (7495 м). Базовый лагерь был расположен на поляне Сулоева, на высоте около 4000 м.

Рядом с лагерем экспедиции МГУ, немного выше его, располагался Международный альпинистский лагерь. Еще выше стоят палатки и домики Медико-биологической экспедиции Таджикской Академии наук, работавшей в тесном контакте с экспедицией МГУ. На протяжении ряда лет эта экспедиция ведет исследование влияния высокогорных условий, главным образом



Посадка вертолета в базовом лагере экспедиции МГУ.

Фото Л. Н. Добровольского.

Р. В. Хохлов в базовом лагере на поляне Сулоева. 1976 г.

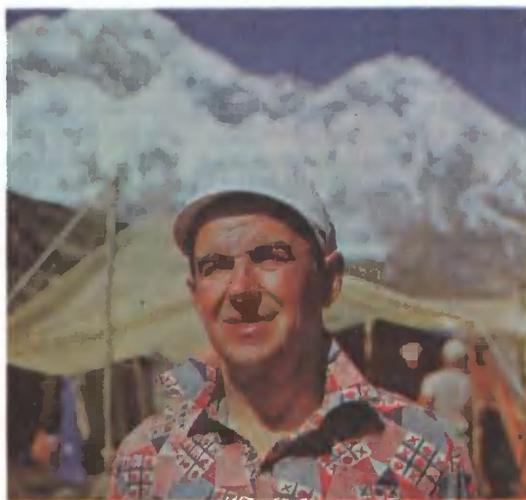
Фото Л. Н. Добровольского.

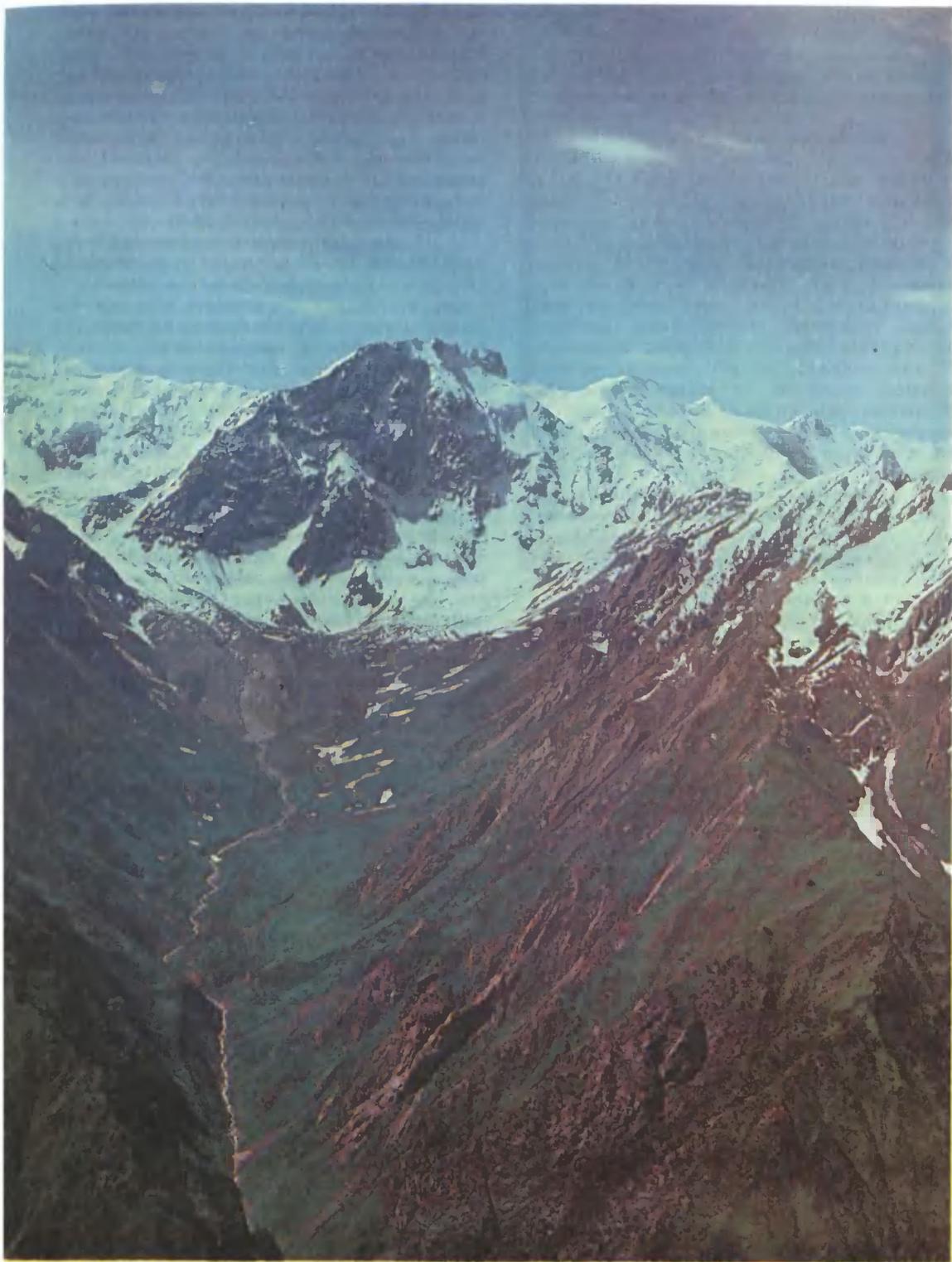
Лагерь экспедиции на Памирском фирново-ледяном плато.

Фото Л. Н. Добровольского.

Одна из долин в хребте Петра Первого на пути к пику Коммунизма.

Фото Н. А. Урумбаева.





кислородного голодания, на живые организмы.

Большое место в планах комплексной высокогорной экспедиции МГУ занимали, естественно, гляциологические исследования.

Ледники не только влияют на климат Земли, но и содержат огромные запасы пресной воды, использование которых в будущем станет одной из важных научных задач. Ежегодное летнее таяние ледников Памира обеспечивает около 50% стока рек, питающих предгорные засушливые районы Средней Азии. Поэтому нужно изучить формирование стока воды с горных ледников, установить его высотные границы, исследовать общую эволюцию ледников. В свою очередь, по наблюдениям за эволюцией ледников, их отступлением или продвижением вперед можно судить об изменениях температурного режима Земли и вообще о колебаниях климата планеты.

Гляциологи нашей экспедиции впервые в нашей стране провели гляциологические и метеорологические исследования на высотах 5,5—7,5 км<sup>1</sup>, где успешно испытали переносные автоматические метеостанции и радиоизотопные плотномеры — портативные приборы для определения плотности льда, разработанные на кафедре физики Белорусского государственного университета.

В экспедиции сотрудниками физического факультета проводились атмосферно-оптические наблюдения. Целью работ было исследование общего содержания, вертикального распределения, а также временных и пространственных вариаций некоторых малых примесей в атмосфере — озона, двуокиси азота и др., а также атмосферных аэрозолей. Эти примеси в большой мере определяют коэффициент поглощения ультрафиолетового, светового и теплового излучения в атмосфере. В то же время они наиболее чувствительны к естественным и антропогенным воздействиям на атмосферу и в этом смысле их исследование приобретает важное экологическое значение. Исследования содержания озона в атмосфере были включены в план комплексной экспедиции по предложению Р. В. Хохлова<sup>2</sup>.

Большое значение исследований малых примесей именно в горных условиях определяется, с одной стороны, возможностью их прецизионного измерения в условиях чистой высокогорной атмосферы. С другой стороны, измерения таких примесей в условиях Памира, вдали от промышленных источников загрязнения атмосферы, позволяет изучать ненарушенный, фоновый их состав в атмосфере, что очень важно для контроля за ее чистотой.

С помощью кварцевых спектрофотометров для записи спектров прямой солнечной и рассеянной радиации и автоматически следящего фотометра для непрерывной регистрации спектра были впервые получены данные о распределении по высоте и во времени содержания озона и примесей над Памиром в районах Джиргитала (2000 м) и метеостанции «Ледник Федченко» (4200 м). Большой экспериментальный материал (около 3 тыс. спектров и фотометрических записей) продолжает обрабатываться. Обнаружена отрицательная аномалия содержания озона над Памиром, объясняемая, по-видимому, восходящими потоками воздуха. Кроме того, впервые обнаружены низкочастотные колебания концентрации озона с периодом порядка нескольких минут.

По инициативе Р. В. Хохлова была подготовлена также установка для лазерного зондирования тамирской атмосферы, с помощью которой можно определить концентрацию вещества в атмосфере по резонансному поглощению им света строго определенной длины волны. Источником света служит лазер, настроенный на длину волны, совпадающей с длиной волны одной из линий поглощения анализируемого газа, например двуокиси азота. При измерениях на одном конце трассы находится излучатель и приемный телескоп, а на другом отражатель. В качестве последнего можно использовать уголкового отражатель, удаленный склон горы или нижнюю поверхность облака.

На ледниках, где влияние естественной радиоактивности, присущей горным породам, сводится к минимуму, имеются исключительно благоприятные условия для изучения вторичных космических лучей на различных высотах. На высотах от 3 до 6 тыс. м участники экспедиции проводили измерения энергетического спектра вторичных космических лучей в области энергии электронов от 0,5 до 1,3 МэВ и обнаружили избыток электронов таких энергий по сравнению с теоретическими значениями.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Дюргеров М. Б., Урумбаев Н. А. «Гляциология высочайших ледников Памира» в этом номере журнала.

<sup>2</sup> Вольно в И. И. Антропогенное загрязнение атмосферы фреонами и его возможные последствия — «Природа», 1977, № 4.

В работе комплексной экспедиции также принимали участие ботаники и орнитологи. Растения высокогорья, как известно, имеют своеобразный облик, свидетельствующий об их приспособлении к суровым условиям: подушковидную или распластанную форму, прижатые к земле, часто сильно опушенные листья, необычную окраску с участием синих, фиолетовых и бурых пигментов. Глубокое изучение механизмов приспособления и процессов жизнедеятельности в экстремальных условиях у высокогорных видов, способных при минимальных количествах тепла в короткое время накапливать много питательных веществ, имеет не только теоретическое, но и практическое значение.

В результате работы экспедиции детально изучена флора верховий ледника Фортамбек (3,8—5 тыс. м). Собран ряд видов, ранее неизвестных в данном районе.

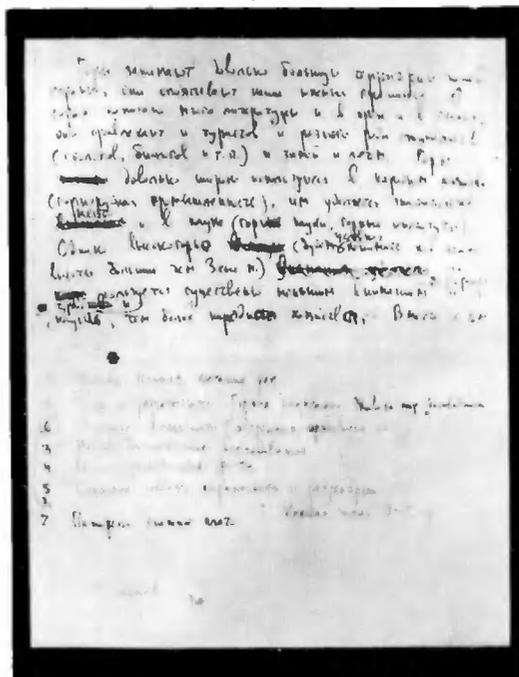
Впервые на большой высоте проведены измерения температуры различных частей растений. Оказалось, что температура поверхности листьев и других надземных частей растений при прямом освещении существенно (на 3—8°) превышает температуру приземного слоя воздуха. Исследования показали, что низшие растения Памира (лишайники, водоросли, дрожжи) не высыхают полностью даже при высушивании в глубоком вакууме ( $10^{-6}$  мм рт. ст.) и на молекулярном уровне осуществляют водный обмен.

В 1977 г. проводились наблюдения над птицами в верховьях ледника Фортамбек на высоте 4—5 тыс. м. В этом районе орнитологи еще не работали. Обнаружено 16 различных видов, в том числе и гималайский улар — крупная птица весом свыше 3 кг, составлен список птиц.

50 лет назад, когда была организована Таджикско-Памирская комплексная экспедиция АН СССР, высокая часть Памира в полном смысле слова была белым пятном на карте. Первые исследователи решали по большей части «географические загадки»: определяли расположения главных горных хребтов, ледников и высочайших пиков.

В настоящее время наступил новый этап в исследовании высокогорных районов нашей планеты — постановка точных экспериментов, исследование физической сущности процессов при помощи современных методов.

Все явления природы взаимосвязаны. Например, загрязнение атмосферы и



Черновик незаконченной лекции Р. В. Хохлова о научных проблемах, связанных с изучением гор.

уменьшение в ней количества озона влияет на рост интенсивности ультрафиолетового излучения и тем самым на эволюцию ледников, живые организмы нашей планеты. Поэтому неотъемлемой чертой высокогорной экспедиции должна быть комплексность с привлечением широкого круга специалистов, объединенных общим интересом, любовью к природе, горам.

Не простое дело — подбор и становление научного коллектива. Еще более оно усложняется в тяжелых условиях высокогорья. Научный коллектив комплексной высокогорной экспедиции МГУ прошел проверку временем, испытал радости открытий и перенес тяжелые утраты. Но интерес к изучению высокогорья возрастает. Полученные научные данные, как и всегда, порождают новые вопросы и привлекают новых исследователей.



Лавина, сходящая с Памирского фирнового плато.  
Фото Н. А. Урумбаева.



## Гляциология высочайших ледников Памира

М. Б. Дюргеров, Н. А. Урумбаев



Марк Борисович Дюргеров, кандидат географических наук, старший научный сотрудник проблемной лаборатории снежных лавин и селей географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается изучением процессов массо- и энергообмена ледников.



Нурис Арыпханович Урумбаев, кандидат географических наук, младший научный сотрудник той же лаборатории. Занимается прогнозированием снежных лавин.

За последнее время неизмеримо возросла техническая оснащенность научных исследований. Географы уже давно не довольствуются описанием объектов природной среды. Возможность постановки точных экспериментальных исследований в природе стала реальностью. Если в 1933 г. высотному отряду Н. В. Крыленко стоило огромных усилий проникнуть в центр оледенения Памира, то сейчас нам лишь нужно погрузить и разгрузить вертолет, который за 40 мин доставляет участников экспедиции на четырехкилометровую высоту к леднику Фортамбек, одному из крупнейших в центральном Памире.

Выше этого места вертолет уже не сядет. Он только сбросит нам часть сна-

ряжения и продуктов, которую донести на себе по сложным альпинистским маршрутам на высоту шесть километров мы не в состоянии.

Нам предстоит изучать гляциологические, гидрологические и метеорологические процессы в наиболее высокогорных районах Советского Союза. Данные измерений на высотах 5 км и выше позволили бы заменить экстраполяцию разного рода количественных характеристик фактическими данными. До сих пор мы не имеем никакой научной информации с этих высот. Расчеты стока воды с горных ледников требуют данных о распределении величин стока в зависимости от абсолютной высоты, величин по-

терь талых вод на замерзание в мощных 20 — 30-метровых снежно-фирновых толщах ледников. Наконец, важно установить верхнюю границу таяния и формирования жидкого ледникового стока.

Большой интерес представляет исследование химического состава снежно-ледниковых отложений. Изучая атмосферные осадки, отлагающиеся в виде снега на поверхности ледников, можно выяснить, насколько интенсивно и какими веществами загрязняется атмосфера. Однако исследования такого рода весьма трудны. Нужно выбрать такой ледник, на котором таяние в области аккумуляции (прироста массы ледника) небольшое (а лучше всего, чтобы его не было вообще). Тогда талые воды не проникнут в толщу снега глубже толщины одного годового слоя, и годовые слои будут хорошо отделяться друг от друга по видимым структурным признакам. Именно такие условия существуют во внутренних районах Антарктиды, где лед образуется в результате давления верхних слоев снега и фирна при полном отсутствии таяния и фазовых переходов. Этот тип образования льда называют рекристаллизационным.

Однако величина аккумуляции снега в центральной Антарктиде всего 15—20 см в год, и надежно разделить здесь годовые слои очень трудно. Кроме того, этот континент настолько удален от промышленных районов — источников загрязнения природной среды, что «уловить» изменение химического состава снега не представляется возможным. Еще сложнее установить связь с источниками загрязнения и временем выпадения осадков.

На высокогорных ледниках, где годовые слои аккумуляции достигают нескольких метров и отличить их друг от друга значительно проще, обнаружить рекристаллизационную зону пока не удалось. Правда, гляциологические работы у нас в стране ведутся на высоте чуть выше пяти километров. Все, что выше, — удел альпинистов.

Примерно такой круг проблем обсуждали мы с руководителем гляциологических исследований комплексной высокогорной экспедиции Московского государственного университета Г. К. Тушинским перед началом исследований на Памирском фирново-ледяном плато.

#### ПАМИРСКОЕ ФИРНОВО-ЛЕДЯНОЕ ПЛАТО

В 1977 г. исполнилось 20 лет с того времени, как человек впервые ступил на

это плато. Но кроме того, что плато «уникальное, крупнейшее и высочайшее» (по восторженным отзывам альпинистов), за прошедшее время стало известно лишь, что длина его 10,5 км, ширина от 0,5 до 3 км, а площадь горизонтальной части около 20,9 км<sup>2</sup>.

Действительно, Памирское фирново-ледяное плато представляет собою грандиозное сооружение из фирна и льда, расположенное на высоте 5,6—6,0 км над ур. м. Оно простирается от гребня хребта Академии Наук на запад, вдоль водораздела хребта Петра Первого с его северной стороны. Возвышающиеся над плато гребни гор, покрытые фирново-ледяными полями и висячими ледниками, достигают высоты 6,5—7,5 км.

Сложный маршрут подъема на плато, большая высота не позволили нам поднять всего комплекса научной аппаратуры и оборудования; очевидно, это станет возможным в ближайшем будущем, когда посадка вертолета с грузом на этих высотах станет привычным делом. А пока гляциологическая природа плато, которое мы изучали в снежных шурфах, буровых скважинах (глубиной 8—10 м), по обнажениям в глубоких, 30-метровых трещинах, в общей сложности в течение около 40 дней, представляется нам следующим образом.

Массы фирна и льда расположены на скальном основании, которое черной полуторакилометровой стеной обрывается на север, к средней части ледника Фортамбек. Издали, из базового лагеря, расположенного за боковой мореной ледника на поляне Сулоева, плато видно лишь в виде узкой белой полоски, хотя высота фирново-ледяного обрыва достигает здесь 40—70 м. А по центральной продольной оси плато толщина фирна и льда, вероятно, достигает 200—300 м.

Ледовые массы сползают с плато с северного его края и, откальваясь, образуют ледяные глыбы, своеобразные «айсберги». При этом формируются снежно-ледяные лавины, которые низвергаются вниз, на ледник Фортамбек, проходя путь в несколько километров (2 км по абсолютной высоте). Поскольку откальвающиеся глыбы имеют низкие отрицательные температуры (температура в снегу уже на глубине 10 м достигает —15—20°), то сходящие лавины сильно пылят; впереди фронта лавины движется снежно-воздушное облако.

В среднем в течение дня сходит 25 лавин, из которых 20 имеют объем около 10<sup>2</sup> м<sup>3</sup>, 2—4 — объем 10<sup>4</sup> м<sup>3</sup> и од-



Подъем на Памирское фирновое плато.

Фото Н. А. Урумбаева.

Один из участников экспедиции Б. Б. Струков на съемке.

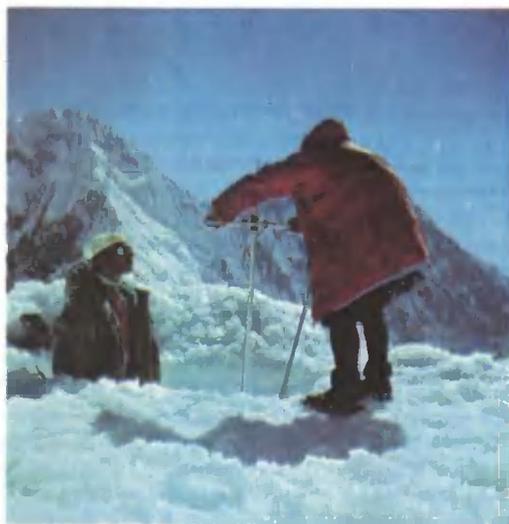
Фото Н. А. Урумбаева.

Бурение скважины на Памирском фирновом плато.

Фото Л. Н. Добровольского.

Измерение температуры в скважине.

Фото Л. Н. Добровольского.

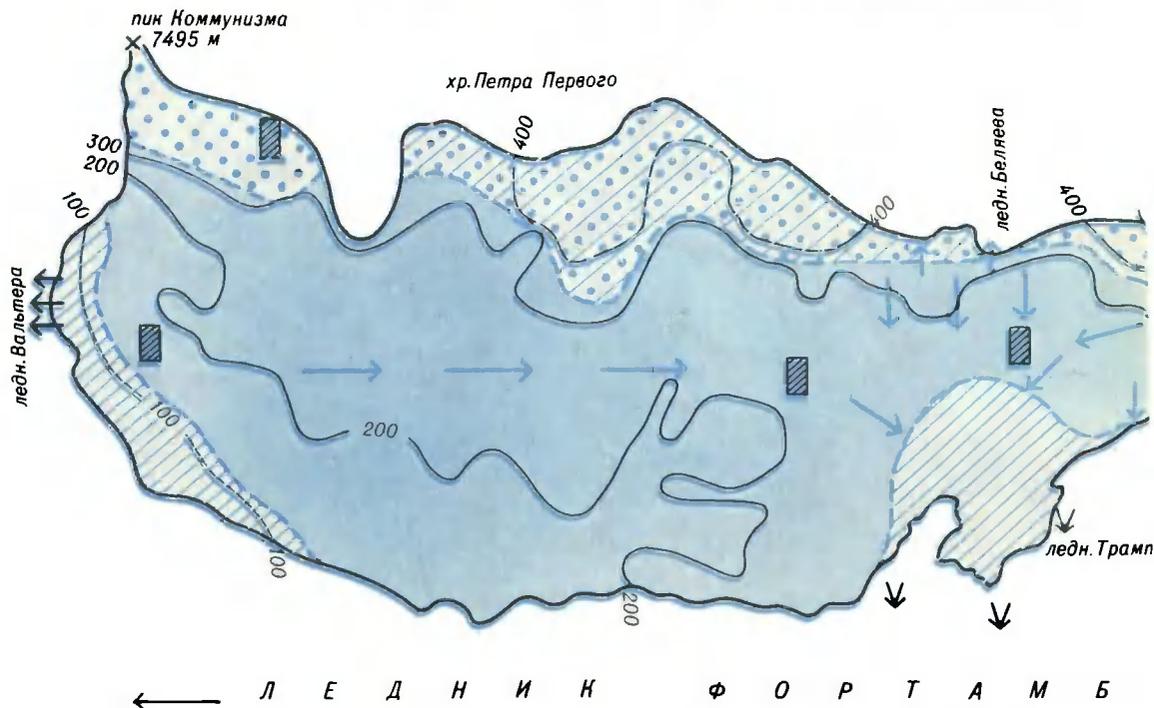


на  $5 \cdot 10^4$  м<sup>3</sup>. Раз в месяц сходит лавина объемом около  $10^6$  м<sup>3</sup>. Снежно-воздушная волна от такой лавины в считанные минуты докатывается до лагеря, сносит палатки — и зеленая покрытая эдельвейсами поляна оказывается под слоем снега. Всего за сутки с плато в виде лавин стекает масса льда и фирна порядка 80—100 тыс. м<sup>3</sup>. Если предположить, что лавины равномерно сходят с северного края плато в течение года, то убыль массы с плато составит около  $40 \cdot 10^6$  м<sup>3</sup> в год. Это примерно 90% всего

расхода, поскольку еще 10% массы стекает с плато на юг, на ледник Беляева, и на восток, на ледник Вальтера.

С учетом ветрового сноса снега с плато в зимнее время суммарное количество расходуемого материала (снега, фирна и льда) составляет величину порядка 50 млн м<sup>3</sup> в год.

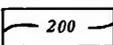
Поскольку площадь плато около 20 км<sup>2</sup>, то при условии равновесного баланса массы плато слой снега, аккумулирующийся за год, должен составить около 2,5 м. В переводе на воду такой слой сне-



Высота снежного покрова и зоны льдообразования на Памирском фирновом плато.

Гляциологические зоны:

-  рекристаллизационная
-  переходная от рекристаллизационной к рекристаллизационно-инфильтрационной
-  рекристаллизационно-инфильтрационная (холодная фирновая)
-  инфильтрационно-режеляционная (фирново-ледяная)

-  границы гляциологических зон
-  изолинии толщины снежного покрова
-  шурфы и места измерений плотности и температуры в снегу и фирне
-  направление движения льда
-  места обрушений фирново-ледяных глыб и схода лавин на ледник Фортамб с Памирского фирнового плато

га дает не менее 1000—1500 мм осадков в год, что в несколько раз больше, чем слой снега, образующийся в этом же районе на высоте 1—2 км, и почти в 10 раз больше, чем на Восточном Памире.

Интересно, что теоретические расчеты, выполненные А. Н. Кренке, дали примерно такие же большие величины осадков для высот 5—6 км.

Непосредственные измерения толщины снежного покрова, проведенные летом 1976 г. с помощью стальных щупов, состоящих из отдельных свинчивающихся

области питания (выше 4,5 км) достаточно больших масс снега, компенсирующих таяние гигантского языка.

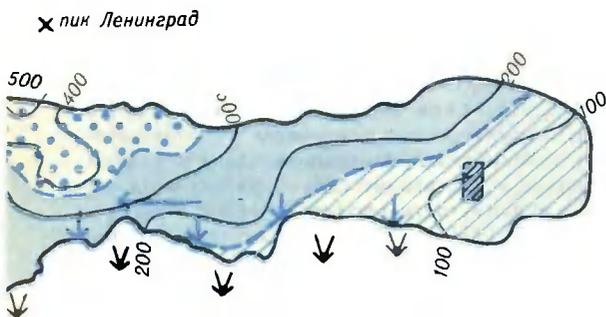
Интересные данные получены нами и при работе в ледяных шурфах и трещинах.

Обычно в областях питания ледников гляциологи копают глубокие шурфы, напоминая шахты с вертикальными стенками. В таких шурфах изучается строение снежно-фирновой толщи, измеряется толщина годовых слоев, плотность, влажность, температура, берутся образцы снега на различные анализы. По этим данным можно определить средние многолетние характеристики, изучить тип льдообразования, присущий конкретному леднику, рассчитать баланс массы и воды, количество талых вод, стекающих с ледника, а также замерзающих в толще снега и фирна. Работы эти очень важны, но также весьма трудоемки и требуют больших физических усилий. Поэтому на высоте около 6 км нам удавалось выкапывать шурфы не глубже 4—5 м.

Для получения информации с больших глубин гляциологи часто используют уже готовые разрезы, т. е. трещины в ледниках.

Работа в трещине со стороны представляет весьма эффектное зрелище. На вертикальной снежно-ледяной стене на веревке висит человек, упираясь ногами в стену, и работает: отрубает куски льда для образцов, кладет их в пакеты, проводит измерения плотности, толщины годовых слоев. Здесь же делаются необходимые записи в дневнике, ведется фотографирование. Сверху за работающим внимательно следят два-три человека. Они страхуют его одной или двумя капроновыми веревками, помогают подниматься или опускаться по мере необходимости, принимают пакеты с образцами и спускают вниз инструменты.

Таких глубоких трещин, как на Памирском фирновом плато, нам еще не приходилось видеть на горных ледниках. Летом 1977 г. в центре плато мы работали в 30-метровой трещине, причем глубже, под метровым снежным карнизом, стенки трещины уходили так далеко вниз, что их очертания терялись в черной глубине. Из-за угрозы обвала многотонного карниза пришлось ограничиться 30-метровым слоем. Поскольку толщина годовых слоев оказалась более трех метров, нам удалось изучить 9 годовых слоев, начиная с 1979 г., сверху вниз, до 1969 г. включительно. А летом 1976 г. в одной из трещин



линейный

Е К

полтора метровых колен, показали, что средняя величина аккумуляции снега составляет 270 см, что в переводе на воду при плотности  $0,40 \text{ г/см}^3$  дает величину 1080 мм. Она соответствует годовому количеству осадков, поскольку стока воды из годового слоя нет. До недавнего времени метеорологи с сомнением воспринимали предположения гляциологов о таком большом количестве осадков для засушливого климата Памира. Однако прямые измерения превращают гипотезу в реальность. Да и действительно, трудно было бы представить возможность существования таких ледников, как ледник Федченко, имеющий 50-километровый ледяной язык, иначе как в результате накопления в его

было исследовано таким образом 14 годовых слоев.

Несмотря на то, что для определения средних многолетних значений такой ряд считается коротким, мы были довольны: ведь даже такой результат для этих высот получен впервые. Теперь гляциологи имеют сведения о процессах и опорные количественные показатели для суждения о величинах аккумуляции, количестве осадков, таянии, температуре и других характеристиках высочайших ледников Памира.

### В ПОИСКАХ РЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОЙ ЗОНЫ

Огромная, практически ровная территория плато ослепляет своей белизной. Ни одного следа, только отдельные ледяные глыбы, отколовшиеся от всячего ледника пика Ленинград, в беспорядке разбросаны недалеко от нашего лагеря. Эти глыбы размером с автомобиль служат, пожалуй, единственным ориентиром и масштабом, дающим представление о размерах плато, а также об объеме работы, который предстоит выполнить.

Мы начинаем снегомерную съемку плато. Через каждые 300 м по всей площади плато измеряем толщину снега, накопившегося за год. Когда толщина снега 1—2 м, измерения проводятся легко и быстро, но при толщине 4—5 м над каждой точкой приходится «попотеть». За пять дней работы удается набрать около 200 точек. Этого достаточно, чтобы получить детальное и вместе с тем вполне надежное представление о средней величине аккумуляции за год, статистических характеристиках.

Казалось бы — ровная поверхность, а толщина снега меняется от 0,5 до 5,2 м. Объяснение этому факту было найдено сразу, достаточно было взглянуть на окружающие плато гребни гор. Их сложная конфигурация создает большую неоднородность снежно-ветрового потока, приносящего и перераспределяющего осадки по площади плато.

Неоднородность распределения снега по плато объясняет большое количество типов льдообразования, встречающихся здесь. При одном и том же количестве талой воды (а таяние на высоте 5,6—6,0 км составляет за лето около 150 мм, в пересчете на слой воды) относительная льдистость толщи снега меняется обратно пропорционально толщине годовой аккумуляции снега. При толщине снега 0,5—1 м

талые воды полностью промачивают снег, замерзают в нем и формируют ледяные корки и линзы. По внешнему виду вся толща напоминает слоеный пирог. При большом таянии весь снег может за одно лето превратиться в лед. Образование льда здесь происходит по конжеляционному типу (так называют образование льда в течение одного года непосредственно на поверхности ледника), а зона называется ледяной, или фирново-ледяной.

Когда слой скапливающегося за год снега превышает 2 м, относительная льдистость значительно меньше и толща снега по своему внешнему виду и по всем параметрам соответствует холодной фирновой зоне (образование льда происходит путем замерзания фильтрующейся вглубь талой воды и в дальнейшем путем рекристаллизации). При этом процесс образования льда длится 10—15 лет с момента выпадения снега.

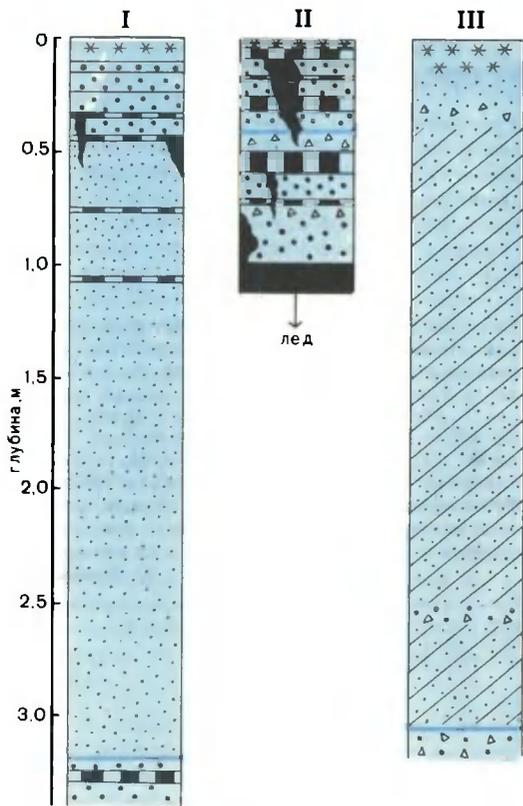
При слое снега 4—5 м толща снега по структурным признакам приближается к рекристаллизационной. Однако таяние велико и достаточно сильна фильтрация воды и льдистость верхнего горизонта.

В 1976 г., первом году гляциологических работ нашей экспедиции на Памирском фирновом плато, рекристаллизационная зона в чистом виде не была найдена.

Июль 1977 г. Медленно, по глубокому снегу поднимаемся вверх от восточной оконечности плато по Большому барьеру, крутому снежному склону, к пику Коммунизма. Склон северной экспозиции круче 30°, и солнце освещает его всего в течение нескольких часов во второй половине дня. Поэтому поступление солнечной энергии, основного источника тепла и таяния, весьма незначительно.

Первый шурф на высоте 6100 м, и сразу удача: в верхней части шурфа только одна тонкая ледяная корочка. Прокопали почти 4 м, всюду холодный, спрессованный снег, и никаких следов таяния и фильтрации воды. Докопались до слоя снега прошлого, 1976 г. Здесь также сверху только тонкая, в несколько миллиметров толщиной, ледяная корка, чуть глубже под ней разрыхленный горизонт крупнозернистого фирна желтоватой окраски, а ниже опять плотный, абсолютно сухой мощный горизонт. На глубине 10 см температура —5,1°, а на двухметровой глубине в снегу уже —17°. По всем признакам здесь проходит нижняя граница рекристаллизационной зоны.

На высоте 6400 м много скальных выходов, снега здесь меньше — около



140 см за год. Температура на глубине 10 см в шурфе уже ниже  $-15^{\circ}$  (воздух, правда, еще холоднее!), а на глубине 2 м около  $-23^{\circ}$ .

Снова вверх. Следующий лагерь устанавливаем на высоте 6900 м, в мульде, небольшом понижении поверхности ледника под пиком Коммунизма. Здесь живем и работаем трие суток. Температура воздуха днем не поднимается выше  $-12^{\circ}$ , а солнце печет немилосердно. Даже не греет — это определение совсем не подходит — скорее давит, хочется спрятаться от потока радиации, но ни палатка, ни уже выкопанный шурф не спасают.

Проводим весь комплекс измерений. С трудом определяем горизонт таяния прошлого года, потому что таяния никакого здесь нет, нет и ни одной корки. Сухой, ледящий руки снег. Даже летом, при таком солнце, в снегу глубокая зима.

Если на минуту забыть про высоту и не смотреть на лежащие под нами черно-белые хребты центрального Памира и огромные древовидные ледники, то вид снега и на поверхности, и в шурфе очень напоминает центрально-антарктический. Хотя при более детальном рассмотрении, и особенно при анализе результатов (уже дома), различий оказалось немало. Они и в структуре, и в распределении величин плотности и температуры.

Высокогорная рекристаллизационная зона может служить одной из опорных точек на поверхности нашей планеты, где можно получать надежные данные о фоновых значениях химического и изотопного состава атмосферных осадков. Дальнейшие экспериментальные исследования здесь помогут осветить важные стороны и некоторых географических проблем, выходящих за рамки гляциологии. Так, в перспективе возможно бурение через всю фирново-ледяную толщу плато вплоть до скального ложа с отбором керна льда. Это позволит выполнить датировку отложенных атмосферных осадков за весь период накопления толщи и на этой основе реконструировать динамику оледенения, увлажненность территории центрального Памира, изучить процессы техногенного загрязнения атмосферных осадков.

Строение снежной толщи в различных зонах образования льда на Памирском фирновом плато. Цветом показан горизонт таяния.

I — холодная фирновая зона; II — фирново-ледяная; III — рекристаллизационная.

-  свежавыпавший снег
-  мелкозернистый снег и фирн
-  крупнозернистый, среднезернистый снег и фирн
-  горизонты разрыхления
-  вертикальные ледяные образования
-  ледяные корки, линзы
-  ветровая слоистость

## Амурский горал

Небольшой горный козел — горал, который в прошлом был широко распространен в горах Юго-Восточной Азии, сейчас повсеместно становится редким экзотическим видом, а в нашей стране сохранился главным образом в заповедниках Сихотэ-Алиня. Численность этого ценного животного, несмотря на, казалось бы, очевидную его неприхотливость к условиям обитания, удалось, даже при строгой охране в заповедниках, только стабилизировать на незначительном уровне. Можно предполагать, что установлены далеко не все факторы, препятствующие восстановлению численности и ареала горала.

Исследования, проводимые в заповедниках Министерства сельского хозяйства СССР, направлены как на воссоздание естественной обстановки, благоприятной для дикой популяции горала на заповедных территориях, так и на воспитание в питомниках животных, более легко адаптирующихся под покровительством человека к изменившимся условиям обитания. Публикуемые статьи излагают первые результаты четырехлетних наблюдений за поведением горалов в природе и содержания их в вольерах.

В. В. Кримицкий

Начальник отдела государственных заповедников и лесохозяйственных хозяйств Министерства сельского хозяйства СССР

## Современное состояние популяции амурского горала

**В. В. Глебов**

Лазовский заповедник

**В. И. Животченко**

Центральная научно-исследовательская лаборатория охраны природы Министерства сельского хозяйства СССР

**Д. А. Нестеров**

Сихотэ-Алинский заповедник

Амурский горал (*Nemorhaedus goral*) — один из самых редких и интересных представителей семейства полорогих в нашей стране. Это монотипный, резко обособленный род, не имеющий близких родственников в СССР. В систематическом отношении к горалам наиболее близки сераф (*Capricornis*), два вида которых обитают в Юго-Восточной Азии и Японии. Амурский горал относится к редким, исчезающим видам млекопитающих и внесен в международную «Красную Книгу» и «Красную Книгу СССР».

Горал с давних пор считался ценным животным. Кровь, рога, эмбрионы горала использовались в тибетской медицине для

приготовления лекарственных снадобий. Мясо горалов приятно на вкус. Имеет ценность и густой, теплый мех.

Горал — типичное горное животное. Обитают горалы на участках скальных выходов, которые занимают в Приморье обширные пространства по побережью Японского моря и в глубине материка и мало используются другими видами копытных.

Территория Приморского края представляет собой северную оконечность видового ареала, где горал вынужден существовать в наиболее суровых климатических условиях. По данным Л. Шренка — одного из первых исследователей Дальнего Востока — ареал вида в северной части прости-

рался до Амурского лимана. За последнее столетие область обитания горала значительно сократилась, и ее северная граница отодвинулась к югу.

Наиболее изучены места обитания горала на побережье. Общая протяженность береговой линии Японского моря между крайними точками, где обнаружены горалы, составляет около 400 км. Местами полосу скал прерывают бухты и галечными пляжами. Крутые склоны сопков (высотой до 200—300 м), размытые морем в нижнем горизонте, обрываются нагромождением утесов, каменными россыпями и глубокими ущельями. Среди хаоса камней, иногда рассыпающихся от одного прикосновения, встречаются небольшие участки луговин с разнотравьем, кустарники, редкие деревья кедра, клена, липы. Низкорослые сухие дубняки в верхней части склонов спускаются узкими языками по гребням распадков. Такие участки морского побережья, обращенные, как правило, на юг и юго-восток, исключительно труднодоступные для хищников и человека, относятся к типичным прибрежным местам обитания горала.

В глубине материка скальные обнажения довольно разнообразны по высоте, разрушенности, занимаемой площади, взаимному расположению, что в целом создает самые различные сочетания экологических факторов.

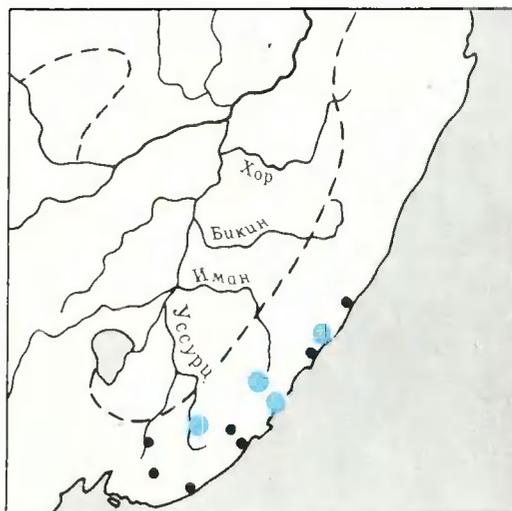
Утесы (высотой до 40—50 м), россыпи и каменные глыбы обычно расположены на крутых склонах сопков (45—60°) вдоль берегов рек и обращены в большинстве случаев на юг. На таких южных склонах снег быстро тает и практически не задерживается на луговинах, что само по себе очень важно для горалов, «запертых» глубокими снегами на ограниченных участках скал. На сопках и в низинах произрастает хвойно-широколиственный лес. Часто встречаются типичные для этих мест чистые дубняки.

Большинство районов, где горалы сохранились в материковой части, доступны для человека. Скалы сравнительно невысоки, хорошо просматриваются со стороны долины, где обычно проходит автомобильная трасса. Шум машин, валка леса, выстрелы и другие причины вынуждают горалов совершать многокилометровые переходы по системе речных скальных обнажений.

Можно с уверенностью сказать, что на сегодняшний день известны далеко не все места обитания горала, ареал которого в Приморье крайне раздроблен. Различна

и степень географической изолированности отдельных группировок горала.

По внешнему виду горал напоминает коротконового длиннохвостого козла. Рост в холке достигает 75 см, а средняя длина тела около 120 см. Вес взрослого горала 25—35 кг. Зимой горалы покрыты длинным густым мехом, легким и очень прочным. Окраска горалов обычно серая, но встречается и бурая, а иногда даже чисто белая (альбиносы). Серая окраска характерна для молодых особей, а бурая — для старых. На груди у горалов белое пят-



Ареал амурского горала:

-  места современного обитания горала
-  заказники
-  граница ареала в 50-е годы XIX в. [по Гелтнеру В. Г., 1961]

но, а вдоль хребта выделяется темный «ремень». Хвост довольно длинный, двухцветный — темный в центре и белый по краям. Небольшие, слабоизогнутые, очень острые рожки покрыты кольцеобразными утолщениями.

Гон у горалов происходит в ноябре. Потомство обычно появляется в конце мая — начале июня. Самки приносят одного, реже двух детенышей. Для родов самка выбирает укромное, хорошо укрытое мес-



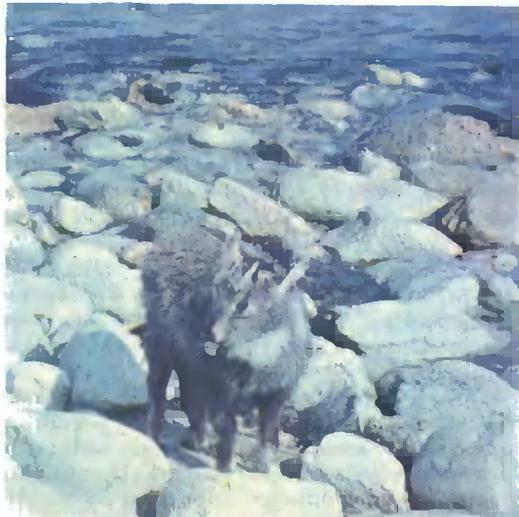
Участок обитания горалов включает скальный массив, склоны сопок покрыты лесом.

Фото В. И. Животченко.

то (часто пещеру), недоступное для хищников. Рядом, как правило, должна быть вода и лужайки, на которых самка первое время и кормится, чтобы не уходить далеко от детеныша. Гораленок уже на третий-четвертый день бегаёт настолько хорошо, что человеку трудно его поймать. Тем не менее при приближении человека горалята обычно затаиваются и, только когда человек подойдет вплотную, вскакивают и стараются спастись бегством. Примерно

в месячном возрасте горалята начинают кормиться травой. Осенью самки с подросшими молодыми присоединяются к основному стаду. Половой зрелости горалы достигают к полутора годам, но принимают участие в размножении не раньше трехлетнего возраста.

Питание горалов очень разнообразно: листья липы, леспедецы, жимолости, яблони, акантопанакса, винограда, актинидий, осоки, а также злаки, черемша, полынь — всего более 30 видов растений. Поздней осенью и зимой горалы переходят на питание листьями различных деревьев, травой и желудями; кедровыми орехами (в годы хорошего урожая). В этот период они вынуждены в поисках корма выходить



Самец-доминант на границе своей территории.  
Фото А. И. Мысленкова.

Как и все копытные, горалы нуждаются в минеральном питании, поэтому часто выходят на берег моря.

Поздней осенью и зимой горалы переходят на сухие корма.

Фото В. И. Животченко.

на пологие склоны, где легко становятся добычей хищников.

При неурожае желудей горалы в конце зимы обгладывают кору деревьев, едят лишайники и грибы-трутовики. Самое тяжелое для горалов время — начало марта, когда выпадают высокие снега. Нередко в этот период на скалистых склонах пасутся пятнистые олени, которые являются пищевыми конкурентами горалов.

В начале апреля, когда сходит снег,

горалы кормятся перезимовавшими под снегом осокой и злаками, а в конце апреля уже появляются молодые травы.

Как и все копытные, горалы нуждаются в минеральном питании, поэтому они часто выходят на берег моря, где поедают zostеру, ламинарию и пьют морскую воду.

Обнаружить присутствие горалов сравнительно несложно, поскольку животные оставляют экскременты в нескольких постоянных местах. По свежести экскре-

ментов в этих своеобразных «уборных» можно определить, есть ли здесь горалы, а если нет, то давно ли исчезли.

Враги горалов — волк, рысь, тигр, леопард, медведь, харза, крупные орланы. Наибольший вред горалам наносят волки и рыси. Волки давят горалов на пологих склонах, куда в многоснежные зимы они выходят в поисках корма. Рысь ловит горалов прямо в скалах. В настоящее время численность волков и других хищников (рысь, леопард, тигр) невелика — невелик и наносимый ими урон. Пернатые хищники могут нападать только на маленьких горалов.

Из эктопаразитов у горалов найдены обычные для юга Приморья — клещи и один вид власоеда. На них также нападают различные виды кровососущих двукрылых, слепни и изюбриная кровососка. Из 16 вскрытых в разное время горалов паразитические черви были найдены только у трех, да и то в незначительном количестве.

Горалы очень доверчивы. Они подпускают человека на 50—60 м, а в некоторых случаях к ним удавалось подойти почти вплотную. В таких случаях горалы не только не убегают, но стараются прогнать человека. Они «возмущенно» кричат, бьют ногами, делают прыжки в сторону человека. Крик горала при этом похож на стрекотание потревоженной сороки. Такая доверчивость горалов была одной из причин их быстрого истребления.

Горалы живут оседло, маленькими группами, зачастую удаленными друг от друга на многие десятки километров. Если горалов не преследуют, они не выходят за пределы небольшого, хорошо освоенного участка обитания, включающего скальный массив и облесенные склоны сопки.

Эти животные мало приспособлены к быстрому бегу, но великолепно прыгают. Неоднократно приходилось наблюдать прыжки горалов на высоту более 2 м без разбега. Был случай, когда из тесного вольера с досчатой стенкой высотой 3 м убежала самка горала. В скалах один такой прыжок может избавить животное от преследования хищника.

Взаимные переходы чаще наблюдаются у более южных группировок горала. Происходит это обычно в период гона. Иногда подобные переходы совершаются через крупные водоразделы по глубокому снегу, причем в идущей цепочкой группе порой насчитывали до 17 животных.

По словам старожилов Приморья, еще в начале века можно было встретить на морском побережье «целые стада» го-

ралов по 30 и более голов. Г. Ф. Бромлей считает, что численность всей популяции в те годы достигала 2000 особей<sup>1</sup>.

В последующие годы началось сокращение численности вида вследствие широкого освоения человеком природных ресурсов края. Развитие сельского хозяйства в прибрежной зоне повлекло за собой массовое появление в 30-х годах волка, оказавшегося наиболее опасным врагом горала. В военные и первые послевоенные годы произошло особенно резкое и повсеместное сокращение численности горалов. Участвовавшие браконьерские отстрелы животных совпали с тяжелыми многоснежными зимами, в результате чего численность горалов в ряде мест очень сильно сократилась, а кое-где они исчезли совсем.

Постоянство и даже некоторое увеличение численности горалов наблюдается лишь на охраняемых территориях заповедников.

По данным последнего учета, проведенного весной 1977 г., в Сихотэ-Алинском заповеднике, в урочище Абрек — 62 животных; в Лазовском заповеднике зимой 1976/77 г. учет горалов на побережье осуществлялся с помощью вертолета. Максимальное количество горалов, учтенных за один пролет, равнялось 55 особям. (Безусловно, некоторая часть животных осталась неучтенной, тем более что в Лазовском заповеднике горалы живут не только на побережье, а и в глубинных районах, где учеты не проводились.)

Если попытаться оценить общую численность известных группировок горалов (включая заповедные), то получим 250—300 особей, т. е. очевидна исключительная малочисленность горалов, при которой возможны нарушения процесса воспроизводства.

Сохранение амурского горала немислимо без строгой охраны мест его обитания. Несмотря на то что скальные биотопы меньше всего затронуты хозяйственной деятельностью человека, общие условия существования горалов значительно ухудшились. Как уже отмечалось выше, горал очень доверчив. Вскочив на труднодоступный утес, он считает себя в безопасности и легко может быть убит браконьером. В прибрежной зоне их часто стреляют с лодок.

<sup>1</sup> Бромлей Г. Ф. Состояние популяции горала и пятнистого оленя на юге Дальнего Востока. — «Изв. СО АН СССР», 1959, № 2.

Представляется совершенно очевидной необходимость создания строго охраняемых резерватов в местах постоянного обитания горалов. Именно здесь, при соответствующей охране, должны возникнуть те очаги размножения, откуда в дальнейшем начнется самостоятельное расселение вида по прежнему, опустевшим сейчас местам обитания.

В последние годы в Приморском крае были организованы несколько заказников комплексного типа специально для охраны амурского горала. Следует подчеркнуть, что организация подобных заказ-

ников не связана с изъятием природных ресурсов из хозяйственного пользования, так как скальные комплексы практически не осваиваются. С другой стороны, трудно назвать какой-либо другой вид животного, охрана которого была бы так насущно необходима и в то же время так легко организуема путем создания заказников. Такие экологические особенности вида, как малоподвижность, приверженность к постоянным ограниченным площадям скальных массивов, позволяет наладить эффективную комплексную охрану животного и среды его обитания.

## Поведение горалов

**И. В. Волошина, А. И. Мысленков**

Сихотэ-Алинский заповедник

Основное место обитания горалов в Сихотэ-Алинском заповеднике — урочище Абрек — узкая полоса скально-луговых пространств шириной 200—300 м (общая площадь около 800 га). Скалистый участок длиной 14 км на Абреке представляет собой небольшой горный хребет, вытянувшийся вдоль Японского моря, максимальная высота его 625 м. Он покрыт густым лесом из дуба, березы и лиственницы. Юго-восточные склоны, обращенные к морю, круто спускаются с водораздельного хребта, угол наклона преимущественно 60°. Дубовый лес по мере спуска к морю становится все более низкорослым. Ниже начинаются глубокие ущелья, отвесные скалы и горные луга различных типов.

Береговая полоса представляет собой нагромождение валунов и обломков скал, часто скалы обрываются прямо в море. Обрывистые скалы, характерные для средней части урочища, обеспечивают горалам безопасность от хищников. Волки никогда не появляются в этих местах, в то время как на обоих концах урочища, где

можно пройти берегом до 3 км, часто встречаются их следы. Горал — обитатель сравнительно открытых ландшафтов. Поэтому он доступен для визуального наблюдения. В течение трех лет мы вели наблюдения за горалами, обитающими в урочище Абрек, и имели возможность многие часы находиться рядом с ними, изучать их жизнь, поведение, характеры. Дневной ход горала зачастую не превышает 200—300 м. В силу этого наблюдения за одним или группой животных могут продолжаться с утра до вечера.

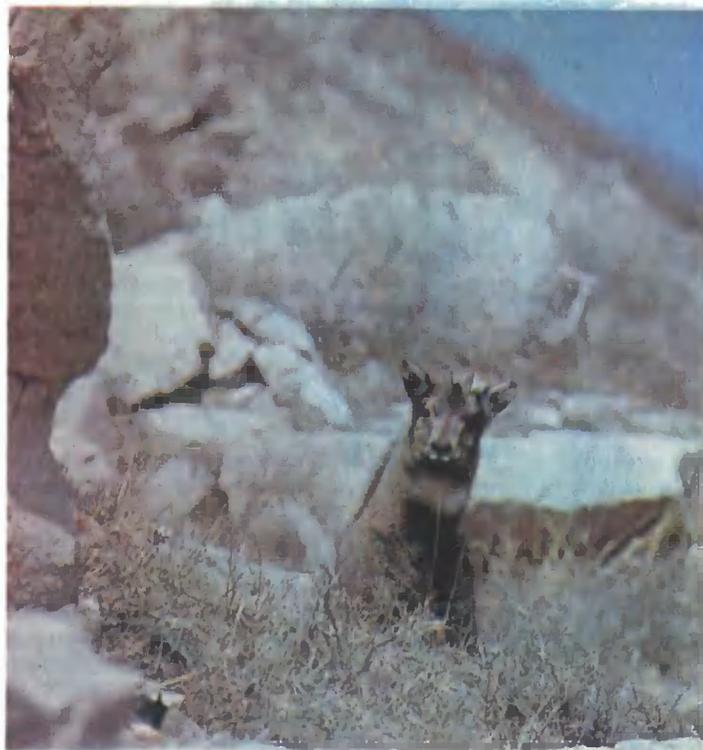
У горалов отличное зрение и слух. Они быстро обнаруживают присутствие наблюдателя, убедившись, что он неподвижен, возвращаются к прерванным занятиям. Численность горалов в урочище Абрек составляет менее сотни особей. После трехлетних наблюдений за животными мы узнавали горалов не только «в лицо», (по кольцам и шишкам на рогах, конфигурации черного ремня на спине, хвоста и «носочков»), но и по характеру — среди них были пугливые и спокойные, игривые



Двухмесячный детеныш горала.  
Фото А. И. Мысленкова.

Взрослая самка горала.  
Фото А. И. Мысленкова.

Старая самка с годовалым детенышем, копирующим поведение матери.  
Фото А. И. Мысленкова.





и серьезные, драчуны и избегающие драк и т. д.

Горалы в большей степени оседлы, чем было принято думать раньше. Мы заметили, что группы горалов в одном и том же составе держались на одном участке по нескольку дней подряд. Наметились границы участков обитания разных группировок горалов. Чтобы выяснить их более точно, мы вспугивали горалов зимой в направлении «чужого» участка, а через час начинали их тропить по следам. И во всех случаях картина была одинаковой: через

200—300 м следы поворачивали вверх и входили в лес. Затем они возвращались назад, обходя место вспугивания по лесу. Таким образом были установлены участки обитания группировок.

Популяция горалов состоит из отдельных ячеек (парцеллярных группировок)<sup>1</sup>, которые имеют свои участки обита-

<sup>1</sup> Наумов Н. П. Биологические сигнальные поля, поведение и популяционная организация животных.— В сб.: Групповое поведение животных. М., 1976.

ния. Стабильная часть парцеллы (ее ядро) — взрослые самки со своими детенышами. Таких самок бывает обычно 4—5. Самки довольно общительны и часто ходят в «гости» к другим самкам или принимают их «у себя», однако иногда по несколько дней подряд держатся исключительно на своем участке. Если в парцелле один взрослый самец, то он, бесспорно, является «хозяином» (доминантом). Если же их два, то часть участков самок находится на территории одного самца, а другая — на территории второго самца. Кроме того, с каждой самкой часто ходит ее прошлогодний детеныш, не потерявший с ней связи и еще не достаточно способный к самостоятельной жизни. Обычно таких годовалых особей несколько меньше, чем малышей, так как в возрасте до года много детенышей гибнет. Особой половозрастной категорией можно считать двух-трехлетних горалов: они ведут самостоятельный образ жизни, но своих четко определенных участков не имеют. Самки еще малы, чтобы иметь малышей, а следовательно, им «квартиры» не полагается. Молодые самцы уже достигают половой зрелости, но они не в силах даже и соперничать с доминантом. На всю парцеллу, которая занимает отрезок побережья длиной до 2 км и шириной до 500 м, приходится два-три взрослых самца-доминанта, имеющих внутри участка обитания свои охраняемые территории, площадью 30—55 га. Каждая парцелла насчитывает 15—20 особей. Но увидеть всех членов парцеллы вместе почти не удается. Чаще всего встречаются группы, состоящие из 3—5 особей. Такие группы могут объединяться между собой в более крупные группы (до 10 особей). Горалы из одной группы могут переходить в другую, и наоборот.

Взрослые самцы регулярно маркируют свои территории. Метки располагаются по тропам, краям ущелий, на возвышенностях, гребнях и других заметных местах.

Особую роль в мечении занимают так называемые почесы. Подойдя к кусту лещины, ольхи или барбариса, горал начинает чесать головой об одну из веток. При этом он пропускает ее между рогов, трется боковой и затылочной частями головы. Периодически горал обнюхивает ветку, продолжая затем сдирать кору, пока не обнажится луб. Все действия животного указывают на то, что оно наносит секрет какой-то железы. Мы предполагаем, что у горала, как у снежной козы и серны, имеется зароговая железа. Возможно, что она

функционирует не круглый год, а лишь в период гона.

Поскольку группа горалов постоянно проживает на одной территории, за многие годы образовались большие почесовые участки. Здесь метки оставляют не только самец-доминант, но и молодые подрастающие самцы, причем метаются каждый раз новые стволы кустарников и тонких деревьев. Почесы к следующему году тускнеют и оплывают, но года два-три они еще видны.

Довольно яркой меткой является также кучка экскрементов. Продвигаясь вдоль гребня и тщательно вынюхивая поверхность земли и камней, самец-хозяин через каждые 10—15 м может оставлять небольшие кучки (по 15—30 «орешков» в каждой) экскрементов, а между ними мелкие брызги мочи. Если придет чужак, он будет и по виду и по запаху знать, что территория занята. По запаху он определит, самец или самка прошли здесь и как давно. Чаще всего горал после обнюхивания чужих экскрементов оставляет тут же свои, иногда очень тщательно «насыпая» свою кучку точь-в-точь поверх предыдущей. Все удобные выступы скал, все укрытия под нависающими камнями превращены в «уборные». Все члены семейной группы посещают эти «уборные» и оставляют там свой запах. Зимой свои «уборные» горалы используют в качестве лежек. Площадь, занимаемая такими «уборными», нередко составляет 1,5—2 м<sup>2</sup>. Постоянно обновляясь, они существуют долгие годы.

Летние лежки горалов представляют собой сильно выбитые и утопанные участки земли круглой формы. Весь участок обитания животных изрезан их тропами. На лугах они хорошо заметны и настолько широки, что по ним может передвигаться человек, но на скалах эти тропы очень узкие. Со стороны кажется, что горал чудом держится на вертикальной стене, однако он уверенно и быстро преодолевает как подъем, так и спуск по хорошо ему знакомым карнизам и уступам.

Небольшие пещеры и углубления в нагромождениях камней служат горалам хорошиими укрытиями. Глубина таких пещер всего 2—3 м, а высота нередко лишь чуть больше роста горалов. Горалы находят приют в этих убежищах, когда свирепствует метель, сильный ветер или дождь. Наиболее излюблены пещеры, расположенные на почти отвесных скалах. Из таких пещер прекрасно видно на большое расстояние, и горал находится в них в безопасности.

В зимнее время горалы пасутся большую часть дня, а часто и лунной ночью. Поэтому рано утром застаешь их уже наевшимися и медленно пережевывающими пищу. В период жвачки горал лежит в какой-нибудь лежке и обозревает море и скалы, чтобы никакой враг не мог застать его врасплох. Изредка горалы пережевывают пищу и стоя. Обычно это бывает сразу после сильного снегопада, когда лежки горалов занесены снегом. Нередко спят горалы и днем, свернувшись калачиком и уткнув голову в бок. Сон у них прерывистый, через каждые 5—8 мин они поднимают голову и осматриваются.

В период гона, в ноябре, можно наблюдать, как взрослый самец все чаще оставляет на кустарнике свои метки, все интенсивнее метит экскрементами тропы по краям ущелий. Внимание самца к своим самкам возрастает, и он предпринимает первые попытки узнать, какая же из самок вступает в состояние течки. Обратив внимание на какую-нибудь самку, он подходит к ней на 4—5 м и останавливается, напряженно глядя на самку. Если самка неподвижна, он быстро подбегает к ней спереди, поднимает одну из передних ног и проводит по ее морде или шее своим копытом. Этот элемент поведения воспринимается, как «поглаживание». При этом самец вытягивается вперед, чтобы обнюхать морду самки, а иногда повторяет «поглаживание» и другой ногой. Затем он делает три-четыре шага назад и снова замирает в напряженной позе.

В этот период самки еще продолжают изредка кормить своих пятимесячных малышей, поэтому часто ее ответом будет резкое встряхивание головой или даже легкий выпад в сторону «ухажера». Этого достаточно, чтобы самец отошел, однако он при случае повторяет «ухаживание».

Самцы в это время начинают проявлять повышенный интерес к хозяевам соседних территорий и проверяют прочность своих границ. Обычно они не выходят за пределы своей территории, и взаимодействия между соседними самцами сводятся лишь к демонстрациям на расстоянии. Если же границу переходит чужак, то хозяин территории сразу бросается на пришельца и прогоняет его. За период трехлетних наблюдений нам ни разу не удалось видеть серьезных конфликтов между соседними самцами. Всего дважды мы наблюдали окровавленных самцов в период гона, и оба раза это были молодые горалы.

При достижении трехлетнего возраста горал уже набирает силу и может стать самцом-доминантом. Но все места заняты и поэтому у него есть возможность только «сбросить» (лишить территории) старого самца и занять его место.

В начале ноября одна из самок «отвечает» на «ухаживания» самца и позволяет самцу находиться все время рядом с ней. Они и пасутся, и отдыхают, лежа в 3—4 м друг от друга. Так образуется пара, которая распадается через несколько дней. В течение ноября самец спаривается со всеми самками, обитающими на его территории. Обычно их бывает 3—5. Если какая-нибудь самка не огулялась, то течка у нее может повториться примерно через месяц. Таким образом, период гона может растягиваться до конца декабря.

В это время пяти- и шестимесячные малыши по-прежнему находятся с матерями. Отношение горалов к детенышам вполне мирное, несмотря на то что они всячески мешают и самцу и самке, которые заняты друг другом: то малыш пытается сосать молоко у самки, то лезет к самцу, обнюхивает его. Самец или делает вид, что не замечает этого, или слегка наклоняет голову в его сторону, что заставляет малыша быстро ретироваться. Все сцены «ухаживания», образования пары, взаимодействий самца и самки происходят на глазах у малыша. По-видимому, это играет важную роль в воспитании подрастающего поколения. Ведь как и у других копытных, у горалов общее число врожденных реакций невелико, причем в основном они довольно просты и представляют из себя позу или несколько характерных движений<sup>2</sup>. Многие навыки приобретаются животными постепенно в процессе всей жизни, общения с особями своего вида, т. е. с помощью обучения. Физическое созревание у горалов заканчивается в двухлетнем возрасте, а социальное — позже. Так, самка становится по-настоящему взрослой в три года, когда она рождает первого малыша, а формирование поведения самцов оканчивается к четырем годам.

К моменту, когда луга среди скал покрываются сочными травянистыми растениями, и приурочено появление горалят. Малыши рождаются в конце мая — в июне, а некоторые даже в начале июля. После родов самка с малышом переходит на другое место, которое бывает обычно труднодоступным и располагается среди скал.

<sup>2</sup> Баскин Л. М. Поведение копытных животных. М., 1976.

В первые недели и даже месяцы после родов самки склонны к одиночеству, рассредоточены по всему участку обитания и не стремятся к общению с другими горалами.

В первые дни самка может на время пастьбы оставлять своего малыша, который затаивается между камней, но уже в недельном возрасте гораленок постоянно следует за самкой, повторяя ее движения. Если мать ложится, то здесь же вплотную устраивается и малыш. Стоит ей насторожиться, как настораживает маленькие ушки и гораленок. Чем больше он подрастает, тем точнее копирует поведение своей матери. Гораленок начинает щипать траву, подражая матери, уже на пятый — седьмой день своей жизни. Но это пока лишь обучение, так как основным кормом является молоко. Откусив травинку, малыш часто даже, не прожевав, забывает о ней.

Горалята любят играть, и часть их игровой активности направлена на мать, а другая — на прошлогоднего ее детеныша, который нередко держится возле них. В этот период малыш привыкает следовать также за старшим братом или сестрой. В случае потери матери он все же не так

одинок. А такие случаи бывают. Если это происходит в марте — апреле, когда ему уже почти год, то у него больше шансов выжить. А если это случается раньше, то возможна гибель малыша. Однажды в октябре мы обнаружили одинокого малыша. Куда пропала его мать, неизвестно. Так или иначе малыш (самочка) остался один. Он все время держался с молодыми горалами, чаще всего с двухлетней самкой, и даже не был мельче своих сверстников. Но в конце зимы, 22 марта, после сильного снегопада мы обнаружили его мертвым в лежке. Никаких следов насилия не было, малыш лежал на боку, запрокинув голову. Вскрытие отклонений от нормы не показало, желудок был полон, значит, перед снегопадом он пасся. Возможно, что на развитии этого гораленка отрицательно сказалось отсутствие молочного питания в осенне-зимний период, так как других малышей матери кормили весь октябрь, ноябрь и даже декабрь. Потеря матери губительно сказывается не только на выживании малыша, но и на будущем поведении животного, поскольку возникают различные аномалии полового и группового поведения.

## Опыт вольерного содержания горалов

**И. В. Соломкина**

Лазовский заповедник

Один из способов восстановления численности горалов — разведение и содержание их в неволе с последующим расселением в местах прежнего их обитания.

Первая, неудачная, попытка содержания горалов в неволе у нас в стране была предпринята в 1937 г. в Московском зоопарке. Все 11 горалов, вывезенные из Лазовского заповедника, в зоопарке погибли.

В 1973 г. в Лазовском заповеднике начата работа по вольерному содержанию

горалов. Для этого построена огороженная металлической сеткой вольера (высота изгороди 3 м). В вольере имеются кормушки, сарай для укрытия горалов с полками внутри, на которых звери любят отдыхать. В вольере живут четыре самца горала. Трое из них находятся в неволе с 1—2-дневного возраста, а один пойман взрослым. Сейчас одному горалу уже более четырех, другому — более двух лет, третьему — около года.



Горалята, отловленные для содержания в вольере.

Фото В. И. Животченко.

Методика приручения горалят в основном сводилась к установлению определенного режима домашнего содержания, особенно важны были первые дни содержания в неволе. Горалята ходили повсюду за кормившим их человеком, принимая его за мать. Двух горалят выпаивали козовым молоком, подогретым до температуры парного, через соску. При виде опасности горалята ложились и затаивались, большое значение в такие моменты имело присутствие приемной матери — человека: испуганный малыш ложился около человека, обязательно касаясь его ног. В десятидневном возрасте горалята уже хорошо паслись, но молока требовали до годовалого возраста. Третьего гораленка до 6 мес выкармливала домашняя коза.

К концу первого года жизни в неволе горалята превратились во взрослых горалов, похожих на коротконогих домашних козлов, с широкой грудью, пушистой «шубой».

В полутора-двухлетнем возрасте вес горалов, живущих в неволе, не отличался

от веса их собратьев в природе — 35—37 кг. Максимального веса (42 кг) достигал осенью один из горалов в двухлетнем возрасте.

Рожки у горалов появились в двухмесячном возрасте, а в возрасте чуть старше года на рогах стали заметны поперечные кольцевые выступы, количество которых со временем увеличивалось: у четырехлетнего горала насчитывается 12 «колец», у двухлетнего — 10.

Из кормов горалы отдают предпочтение желудям, сое, овсяной муке, плодам дикой яблони, боярышника; любят морковь, свеклу, тыкву, капусту, арбуз. На зиму для кормления горалов заготавливаются веники из леспедецы, ивы, березы, ильма, дуба. В летнее время горалы пасутся за пределами вольеры на пастбище, а в кормушки получают свежескошенную траву и ветви деревьев с зеленой листвой. При пастбище горалы долго на одном месте не задерживаются, а медленно передвигаются, как бы мимоходом скусывая верхушки трав. Пресной воды горалы выпивают летом по 1,5 л, зимой — 0,5 л в сутки. В качестве минерального питания получают мел, поваренную соль, с удовольствием пьют морскую воду.

Кормятся горалы в сараях, каждый на своей полке. Если кормление почему-либо задерживается, животные начинают

беспокоиться: ходят вдоль сетки, поглядывая на дорогу, где должен появиться кормящий их человек. Горалы безбоязненно берут корм из рук выращивших их людей, спокойно переносят поглаживания.

Осенью у полуторалетних горалов впервые отмечались проявления полового инстинкта: горалы были возбуждены, большую часть суток находились в движении и интенсивно метили свою территорию (на всех деревьях в вольере имеются их почесы и в определенных местах — «уборные»).

Много времени горалы проводят в играх: бегают, скачут галопом, бодают деревья, подпрыгивают, резко поворачиваясь в воздухе. Причины, вызывающие игровое поведение, различны: появление знакомого человека, животного, автомашины, мотоцикла, при внезапных громких звуках. Пик игрового поведения приходится на утро и вечер.

Четырехлетний горал очень агрессивен по отношению к посторонним людям, при случае пускает в ход острые рога, и может нанести серьезные раны.

В спокойном состоянии горалы малоподвижны, передвигаются неторопливо, часто помахивая хвостом. Отдыхают лежа, подогнув конечности или вытянув вперед переднюю ногу. Любят лежать на краю крыши сарая, свесив переднюю ногу вниз. Встав с лежки, горалы потягиваются, прогнув спину. Очень часто почесываются: чешут рогами бок, спину, задней ногой — за ухом, зубами — бок, хвост, под хвостом, ноги.

Горалы отлично уживаются в одной вольере с домашней козой и косулей. С козой часто играют, бегая по вольере, бодаются. Молодую косулю немного притесняют, прогоняя от лакомого корма.

Между горалами установились определенные взаимоотношения — со стороны молодых заметно явное подчинение. Все конфликты между горалами разрешаются одним обнюхиванием «нос к носу», при этом старший иногда угрожает рогами, но в ход их не пускает, а молодой горал уходит.

Опыт содержания горалов в Лазовском заповеднике показал, что горалята хорошо привыкают к людям. Сейчас перед сотрудниками заповедника стоит задача отловить самку горала и добиться разведения потомства этих редких животных в условиях вольера.

## РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Баскин Л. М.** ПОВЕДЕНИЕ КОПЫТНЫХ ЖИВОТНЫХ. М., 1976.

**Гептнер В. Г., Насимович А. А., Банников А. Г.** МЛЕКОПИТАЮЩИЕ СОВЕТСКОГО СОЮЗА. Т. 1, М., 1961.

**Наумов Н. П.** БИОЛОГИЧЕСКИЕ СИГНАЛЬНЫЕ ПОЛЯ, ПОВЕДЕНИЕ И ПОПУЛЯЦИОННАЯ ОРГАНИЗАЦИЯ ЖИВОТНЫХ.— В сб.: Групповое поведение животных. М., 1976.

**Соколов И. И.** КОПЫТНЫЕ ЗВЕРИ ОТРЯДА. М.— Л., 1959.

## Граниты — источники руд

Л. В. Таусон



Лев Владимирович Таусон, член-корреспондент АН СССР, директор Института геохимии им. А. П. Виноградова Сибирского отделения АН СССР. Ученик А. П. Виноградова. Специалист, в области геохимии эндогенных процессов и геохимических методов поисков; автор большого числа научных работ, из них двух монографий: Геохимия редких элементов в гранитоидах. М., 1961; Геохимические типы и потенциальная рудоносность гранитоидов. М., 1977.

Среди изверженных горных пород гранит — самая распространенная порода, которая выходит на поверхность на огромных пространствах. Плиты полированного гранита украшают многие здания наших городов и станций метро. Прочность этой породы уже давно стала символом твердости.

Гранит состоит из кислорода, кремния, алюминия, железа, кальция, магния, натрия и калия и представляет собой кристаллическую породу, сложенную преимущественно зернами кварца, полевого шпата и листочками слюды. Кроме того, гранит содержит массу других более редких элементов.

Уже давно подсчитано, что в 1 км<sup>3</sup> гранита содержится 160 тыс. т цинка, 15 тыс. т олова и даже такого редкого металла, как золото, — более 5 т. Во многих случаях этого количества металла хватило бы для месторождения среднего размера.

Однако концентрации упомянутых элементов в гранитах чрезвычайно малы, и при современной технологии добыча металлов из них обходилась бы невероятно дорого. В настоящее время экономически целесообразна эксплуатация скоплений рудных и редких элементов с концентрацией в тысячу раз большей, чем их содер-

жание в гранитах. Например, среднее содержание золота в гранитах равно 2 мг/т, а нижний предел концентраций золота в промышленных рудах сейчас составляет около 2 г/т.

Если же сравнить количества металлов, сосредоточенных в промышленных залежах и рассеянных в гранитах, то их отношение составит 1:1000. Иными словами, основная масса рудных и редких элементов, нужных человечеству, рассеяна в гранитах, и только один атом из тысячи находится в промышленных рудах.

Рассматривая возможные источники вещества, за счет которых могли образоваться рудные залежи, геологи всегда считали, что важнейшими среди них являются магмы — силикатные расплавы: при их кристаллизации образуются изверженные горные породы, и в частности гранитоиды<sup>1</sup>.

Для некоторых типов месторождений генетические связи оруденения с изверженными горными породами проявляются достаточно отчетливо. В этом отно-

<sup>1</sup> Гранитоиды — совокупность гранитов, гранодиоритов, плагитогранитов и их разновидностей, переходных к кварцевым диоритам.

шении наилучшими примерами могут служить хорошо известные геологам месторождения олова и вольфрама в Забайкалье и Казахстане, образующиеся в верхних частях некоторых гранитных интрузий, или залежи медно-никелевых руд, генетически и пространственно связанные с массивами пород основного состава, как в знаменитых месторождениях Норильска.

В большинстве случаев генетические связи между рудными месторождениями и изверженными горными породами не столь очевидны. Несмотря на это, образование многих месторождений молибдена, вольфрама, олова, свинца, цинка, серебра, золота и других металлов принято связывать с гранитами.

Совершенно естественно, что широкая распространенность гранитов и относительная ограниченность связанных с ними рудных месторождений вызвали у геологов вопрос: в связи с какими гранитными массивами можно ожидать развития эндогенного (глубинного генезиса) оруденения?

Раньше было довольно широко распространено представление, что граниты, с которыми генетически связаны рудные месторождения того или иного металла, обязательно должны быть изначально им обогащены. Например, граниты, с которыми связывали оловянные месторождения, называли «оловоносными». Считали, что в них содержание олова в 10 раз выше его концентраций в «неоловоносных» гранитах.

С накоплением количественных данных о распространенности редких элементов в гранитоидах стало выясняться, что концепция их изначального обогащения ошибочна. Рудные месторождения свинца, цинка, молибдена, вольфрама и даже олова оказались генетически связанными с теми гранитными массивами, в которых концентрации этих элементов ненамного отличались от их средних содержаний в подобных породах.

Существом связей рудных месторождений с гранитами оказалось не столь простым, как представлялось раньше, и выявилось только после многолетних систематических исследований. Количественное изучение распределения редких элементов в изверженных горных породах показало, что при кристаллизации магматических расплавов основная масса атомов рудных и редких элементов рассеивается в минералах, слагающих образующиеся породы. Однако небольшая часть этих атомов, вступая в соединения с некоторыми летучи-

ми компонентами магм (водой, хлором, фтором, углекислотой, серой, бором и др.) интенсивно мигрирует в теле интрузий, а иногда вместе с летучими может их и покидать.

Таким образом, установлено, что в геохимической истории рудных и редких элементов кроме процессов кристаллизационного рассеяния, вызванных захоронением большей части атомов редких элементов в минералах изверженных пород, немаловажную роль играют процессы эманационной дифференциации магматических расплавов, которые связаны с перемещением летучих компонентов.

При этом весьма важно, что геохимическая история летучих компонентов существенно отличается от истории петрогенных (кремний, алюминий, кальций и др.) и редких элементов в магматических процессах. Если кристаллизующиеся магматические расплавы покидают всего один из тысячи атомов редких элементов, то летучие компоненты покидают их в очень значительных количествах. Например, среднее содержание воды в гранитах около 0,8%, в то время как содержание ее в исходных магмах по имеющимся данным должно быть не менее 3%, т. е. почти 3/4 находящейся в магмах воды покидают их. Среднее содержание хлора в гранитах составляет всего 0,02%, первичное же содержание хлора в гранитоидных магмах было 0,2%. Иными словами, каждые 9 из 10 атомов хлора покинули магматические очаги при их кристаллизации и остывании. То же можно сказать и об углекислоте.

Интенсивное перемещение летучих компонентов и связанных с ними редких элементов в верхние части интрузивов может существенно влиять на характер распределения в породах редких элементов и изменять структуру и свойства магматических расплавов. Особенно сильно процесс эманационной дифференциации проявляется в интрузиях, кристаллизовавшихся и остывавших на глубине 2—5 км от поверхности земли. В интрузиях, отличающихся большими размерами и кристаллизовавшихся на глубине 15—20 км, процессы эманационной дифференциации угнетены.

Весьма важна следующая особенность летучих — они выступают в качестве активных транспортных агентов для рудных и редких элементов. Кроме того, некоторые летучие (вода и фтор) могут существенно менять структуру силикатных расплавов. Например, гранитные расплавы, в которых растворены значительные количества воды и фтора, кристаллизуются при

температуре 550—600°C, в то время как при малых содержаниях воды и фтора кристаллизация происходит при 750—800°C.

При растворении в гранитных расплавах разных количеств воды их вязкость меняется (с уменьшением содержания воды уменьшается и вязкость). Все это делает силикатные расплавы весьма динамичными системами, физические свойства и структура которых могут меняться в зависимости от количества растворимой воды и фтора на разных этапах существования и кристаллизации магм.

Изучение геохимической истории летучих компонентов магм показало, что потенциальная рудоносность гранитоидов в конечном итоге определяется уровнем содержания летучих компонентов и некоторых редких элементов в материнских магмах, а также условиями и масштабами процессов их эманационной дифференциации, зависящими от морфологического типа интрузий и тектонического режима их внедрения, кристаллизации и остывания.

Среди гранитных интрузий можно выделить четыре главных типа, отличающиеся морфологией и глубиной формирования:

Абиссальные (глубинные) батолиты	15—20 км
Мезоабиссальные (среднеглубинные) батолиты	6—12
Гипабиссальные (малоглубинные) интрузии	2—5
Субвулканические (приповерхностные) интрузии	0,5—2

Совершенно понятно, что в малоглубинных интрузиях, обычно небольших по размеру и кристаллизующихся на глубине 2—5 км, будут наблюдаться достаточно высокие перепады давления между верхними и нижними частями магматических камер, что обязательно вызовет интенсивное движение летучих в верхние (апикальные) части интрузий.

В интрузиях, кристаллизующихся на большой глубине (15—20 км) и имеющих огромные размеры (миллионы кубических километров), перепады давления, которым подвергаются летучие компоненты в разных частях интрузий, сравнительно невелики, поэтому процессы эманационной дифференциации, как отмечалось выше, в таких интрузиях угнетены.

Значительно труднее оказалось установить различия между материнскими гранитными магмами. Уже давно большинство исследователей пришли к выводу, что граниты могут образовываться тремя раз-

ными путями. Основная масса гранитоидов, возможно до 75%, образовалась в результате плавления вещества земной коры континентов (палингенные гранитоиды). Меньшая их часть (примерно 15%), развивая преимущественно в подвижных поясах, могла образоваться в результате дифференциации базальтоидных магм основного и среднего состава, возникших в верхней мантии Земли («мантийные» гранитоиды). Некоторое количество гранитоидов (~10%), вероятно достаточно значительное на ранних этапах геологической

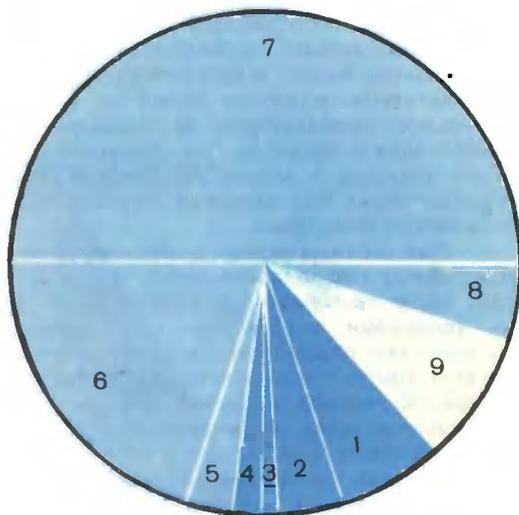
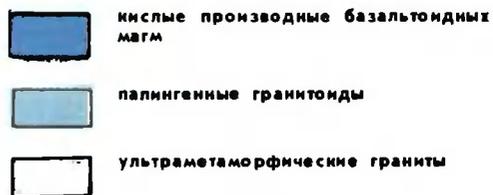


Диаграмма распространности гранитоидов различных геохимических типов.

1 — гранитоиды андезитового ряда [7%]; 2 — граниты латитового ряда [4%]; 3 — плагιοграниты толеитового ряда [1%]; 4 — аргантовые редкометалльные граниты [2%]; 5 — редкометалльные граниты щелочного ряда [3%]; 6 — палингенные гранитоиды щелочного ряда [20%]; 7 — палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда [50%]; 8 — плюмазитовые редкометалльные лейкограниты [5%]; 9 — ультраметаморфические гранитоиды [8%].



истории Земли, могло возникнуть в результате ультраметаморфизма и гранитизации пород кристаллического основания континентальной коры.

Но такое деление гранитоидов на три группы оказалось недостаточным. Систематическое количественное изучение распространенности редких элементов в различных гранитоидах показало, что в пределах даже одной генетической группы могут наблюдаться весьма существенные колебания содержаний некоторых редких элементов. Вместе с тем в разных по происхождению гранитах различия в содержаниях петрогенных элементов и породообразующих минералов (кварц, полевые шпаты, биотит и др.) оказались столь незначительными, что не позволяли с уверенностью определять принадлежность гранитоидов к одной из трех генетических групп. Поэтому в основу разделения гранитоидов нами был положен принцип геохимической типизации.

Под геохимическим типом изверженных горных пород понимается группа пород, характеризующихся одними и теми же условиями и способом образования. Их единство проявляется в приуроченности этих пород к определенной геодинамической обстановке, сходстве химического, редкоэлементного и минерального составов, а также в формировании в сходных геологических условиях рудно-магматических комплексов, близких по потенциальной рудоносности и рудной продуктивности. Наиболее показательным признаком, позволяющим безошибочно относить изучаемые граниты к тому или иному геохимическому типу, служит уровень содержания в них редких элементов (бария, рубидия, стронция, лития, циркония, фтора и др.).

Среди гранитов нами было выделено девять геохимических типов. Четыре типа гранитоидов рассматриваются как кислые производные базальтоидных магм. Это плагиограниты толеитового<sup>2</sup> ряда, граниты андезитового<sup>3</sup> ряда, гранитоиды латитового<sup>4</sup> ряда и агпайтовые<sup>5</sup> редкометаль-

ные граниты. Среди палингенных гранитоидов выделены также четыре геохимических типа: гранитоиды известково-щелочного ряда, плюмазитовые<sup>6</sup> редкометальные лейкограниты, гранитоиды щелочного ряда и щелочные редкометальные граниты. В девятом типе объединены ультраметаморфические граниты.

Плагиограниты толеитового ряда (кислые производные толеитовых магм) отличаются необычным для гранитоидов составом редких элементов. Для них характерно весьма низкое содержание калия, рубидия, лития, бериллия, свинца и фтора.

Кислые производные андезитовых магм, выделяемые в геохимический тип гранитоидов андезитового ряда, по уровню содержания литофильных элементов (основных элементов горных пород) приближаются к среднему граниту<sup>7</sup>.

В последние годы стала выявляться особая петрогенетическая и металлогеническая роль латитовых магм, развитых преимущественно в зонах сочленения континентов с океанами и во внутриконтинентальных подвижных зонах. Эти базальтоиды и их кислые производные обогащены летучими компонентами (водой, углекислотой, фтором, хлором, бором) и отличаются необычайно высоким уровнем концентрации в них бария и стронция.

Весьма своеобразен геохимический тип агпайтовых редкометальных гранитов. Генетически они, по-видимому, связаны с перегретыми щелочными магмами основного, а возможно, и ультраосновного состава. Эти граниты отличаются необычайно высокими уровнями концентрации циркония, редких земель, ниобия, цинка, олова, фтора и резко пониженными концентрациями стронция, бария и, вероятно, воды.

Разделение палингенных гранитоидов на известково-щелочную и щелочную группы основывается на выявленных в последние годы значительных различиях между гранитоидами, образовавшимися в зонах древней консолидации с сильно метаморфизованным коровым субстратом,

<sup>2</sup> Толеит — наиболее распространенный тип базальтов.

<sup>3</sup> Андезит — широко распространенный эффузивный аналог диоритов.

<sup>4</sup> Латит — эффузивная порода диоритового состава с высоким содержанием калия.

<sup>5</sup> Агпайтовые породы характеризуются отношением

$$\frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} > 1$$

(по В. М. Гольдшмидту).

<sup>6</sup> Плюмазитовые породы характеризуются отношением

$$\frac{\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}}{\text{Al}_2\text{O}_3} \ll 1$$

<sup>7</sup> Средним принято называть гранит, имеющий средний для всех гранитов редкоэлементный состав (с учетом площадной распространенности гранитов различных геохимических типов).

и гранитами, возникшими в областях с меньшим метаморфизмом осадочного чехла. Эти различия заключаются в значительно более высоком уровне содержания летучих компонентов (воды, фтора и углекислоты) в гранитоидах известково-щелочного ряда. Различия в содержании летучих предопределяют и другие особенности этих двух групп гранитоидов: разные минеральные парагенезисы (т. е. совместное нахождение минералов, объясняющееся генетической связью между ними), температурные уровни образования, раз-

гранитоидных магм щелочного состава. Для плюмазитовых редкометалльных лейкогранитов характерны самые высокие среди гранитов содержания фтора, рубидия, лития, олова и вольфрама.

Ультраметаморфические граниты, выделяемые в девятый тип, образовались, вероятно, в результате селективного выплавления гранитной составляющей из глубокометаморфизованных пород кристаллического основания земной коры и распространены преимущественно в древних кристаллических щитах. Они отличаются

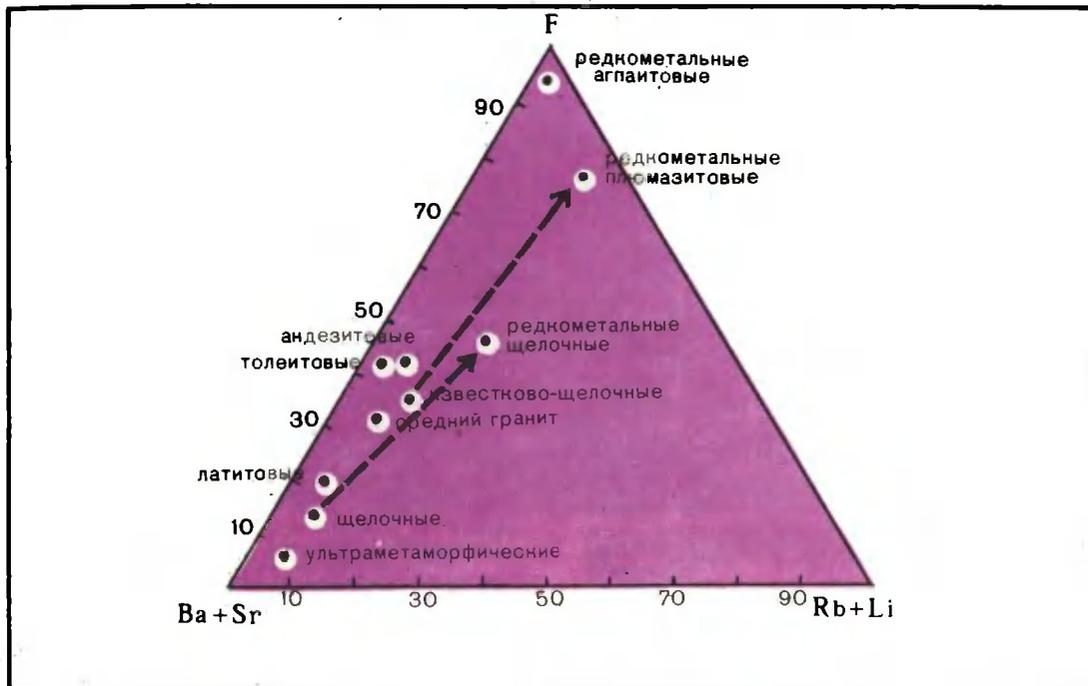


Диаграмма редкоэлементного состава гранитоидов различных геохимических типов, на которой хорошо видно, что гранитоиды выделенных типов широко «разбегаются» по полю составов.

ный состав породообразующих и акцессорных минералов, редкоэлементный состав и т. д. По редкоэлементному составу известково-щелочные гранитоиды наиболее близки к среднему граниту.

Плюмазитовые редкометалльные лейкограниты мы считаем самыми кислыми производными глубинных очагов палингенных магм известково-щелочного состава, а редкометалльные граниты щелочного ряда — кислыми дифференциатами

очень низким уровнем концентраций фтора, лития и бериллия и самой высокой среди гранитоидов концентрацией бария.

Отличия содержаний некоторых редких элементов в гранитах, относящихся к разным геохимическим типам, бывают весьма значительны. Например, в плагиогранитах толентового ряда среднее содержание рубидия составляет всего 0,0003%, а в палингенных плюмазитовых редкометалльных лейкогранитах оно достигает 0,44%, т. е. почти в 150 раз выше. В агапитовых редкометалльных гранитах среднее содержание бария всего 0,004%, а в ультраметаморфических гранитоидах — 0,28%, т. е. в 70 раз выше, чем в первом типе.

Не менее информативным оказыва-

ется отношение суммы концентраций бария и стронция к сумме концентраций рубидия и лития: в литий-фтористой разновидности палингенных плюмазитовых редкометалльных лейкогранитов оно равно 0,04, в плагиигранитах толентового ряда — 24, а в среднем граните — 6,6. Таким образом, минимальное и максимальное значения этого отношения различаются в 600 раз. Эти же отношения в палингенных известково-щелочных гранитоидах (5) и гранитах андезитового ряда (7) близки к его значению в среднем граните.

Различия в содержании фтора, стронция, бария, рубидия и лития в выделенных геохимических типах гранитоидов приведены на треугольной диаграмме. Значительные отличия в содержании этих элементов в гранитоидах различных геохимических типов определяются геохимической историей гранитоидов, процессами кристаллизации и дифференциации гранитных магм.

В группе гранитоидов, ведущих свое начало от мантийных базальтоидных магм, эти различия связаны с особенностями редкоэлементного состава материнских расплавов. В результате в плагиигранитах толентового ряда среднее содержание рубидия и бария соответственно составляет всего 0,0003 и 0,0057%, а в гранитах латитового ряда поднимается до 0,0125 и 0,17%.

В группе палингенных и ультраметаморфических гранитоидов факторы, определяющие распределение стронция и ба-

рия, уже иные. В ряду гранитоидов, отличающихся большей степенью метаморфизма исходного субстрата, наблюдается закономерное увеличение концентрации бария: в гранитоидах известково-щелочного ряда — 0,083%, гранитоидах щелочного ряда — 0,155% и ультраметаморфических гранитах — 0,28%.

В процессах же дифференциации гранитоидных расплавов известково-щелочного и щелочного рядов их поздние кислые дифференциаты (плюмазитовые редкометалльные лейкограниты и щелочные редкометалльные граниты) значительно обедняются барием и стронцием, но обогащаются рубидием и литием.

Отношение суммы бария и стронция к сумме рубидия и лития в генетически связанных сериях гранитоидов может уменьшаться более чем в 100 раз. Приведенные особенности распределения лития, рубидия, стронция и бария определяются главным образом следующими причинами: тенденцией бария и стронция накапливаться в самых ранних выделениях полевых шпатов при кристаллизации магм, накоплением лития и рубидия в остаточных расплавах и интенсивной миграцией их в процессе эманационной дифференциации благодаря тесным связям с фтором.

Различия концентраций рудных элементов в гранитах разных геохимических типов обычно значительно меньше, хотя в их ряду содержание цинка может колебаться от 0,003% в плюмазитовых редкометалльных гранитах до 0,039% в агапитовых редкометалльных гранитах, а олова — от 0,0002% в плагиигранитах толентового ряда до 0,0022% в плюмазитовых редкометалльных лейкогранитах.

Гранитоиды выделенных геохимических типов имеют различную распространенность: наибольшей распространенностью пользуются палингенные гранитоиды известково-щелочного и щелочного рядов (50 и 20% соответственно), а генетически связанные с ними плюмазитовые редкометалльные лейкограниты и щелочные редкометалльные граниты развиты значительно меньше (5 и 3% соответственно). Широкая распространенность палингенных гранитоидов определяется тем, что они образуют огромные по размерам глубинные и среднеглубинные интрузии во внутриконтинентальных подвижных зонах, а палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда и производные от них — плюмазитовые редкометалльные лейкограниты, кроме того, образуют значительные по размеру интрузии в зонах сочленения

Содержание (в г/т) лития, рубидия, стронция и бария в палингенных гранитоидах

Элементы	Типы гранитоидов					
	известково-щелочные	плюмазитовые редкометалльные			щелочные	щелочные редкометалльные
		с редким содержанием	содержание в литий-фторовой фации			
Li	50	180	550	27	52	
Rb	175	440	980	140	270	
Sr	330	70	17	650	170	
Ba	830	175	44	1550	500	
$\frac{Ba + Sr}{Rb + Li}$	5	0,4	0,04	13	2	



Останцы палингенных гранитов известково-щелочного ряда. Восточная Монголия.

Фото С. И. Проклчука.

континентов с океанами. В этих зонах развиты также гранитоиды андезитового и латитового рядов (7 и 4% соответственно). Гранитоиды латитового ряда, как это стало ясно в последние годы, широко распространены и во внутриконтинентальных подвижных зонах.

Ультраметаморфические граниты распространены главным образом в областях древней консолидации и обнажаются на сравнительно ограниченной площади (8%). Можно предполагать, что граниты этого геохимического типа в глубоких зонах континентальной коры имеют значительно большее распространение.

Наименее распространены плагиограниты толеитового ряда и агпайтовые

редкометалльные граниты (1 и 2% соответственно).

Выделенные геохимические типы гранитоидов различаются и по потенциальной рудоносности. Максимальной потенциальной рудоносностью обладают мало-глубинные и приповерхностные интрузии гранитов латитового ряда и палингенных плюмазитовых редкометалльных лейкогранитов. Их возможная рудоносность связана с высокой концентрацией летучих компонентов и развитием интенсивных процессов эманационной дифференциации в интрузиях данных типов.

Показателем повышенной концентрации летучих может служить содержание в гранитоидах фтора, который, по-видимому, только наполовину покидает магматический очаг при его кристаллизации и остывании. Так, даже в исходных латитовых (базальтоидных) магмах содержание фтора может достигать 0,2%. В палингенных плюмазитовых редкометалльных лейкогранитах среднее содержание фтора 0,27% при среднем его содержании в гранитах

0,08%. В некоторых же разновидностях этих гранитов (так называемых литий-фтористых) оно достигает 0,61% при максимальных содержаниях до 2,5%. Минеральные парагенезисы, соотношение летучих компонентов в вулканических газах и ряд других признаков дают основание считать, что в этих гранитоидных магмах столь же высоки концентрации воды, углекислоты и хлора, а в латитовых магмах — еще и бора.

С интрузиями гранитов латитового ряда могут быть связаны месторождения олова, вольфрама, золота, свинца, цинка и урана, с плюмазитовыми редкометальными лейкогранитами — месторождения олова, вольфрама, цинка, урана, ниобия, тантала, бериллия и лития. Для малоглубинных интрузий щелочных редкометальных гранитов характерны месторождения вольфрама и молибдена, а для интрузий палингенных гранитоидов известково-щелочного ряда — молибдена, свинца, цинка и в меньшей степени золота. С интрузиями гранитов андезитового ряда обычно связаны месторождения медно-колчеданные и медно-молибденовые, а также золота и серебра.

В палингенных гранитоидах известково-щелочного ряда и гранитах андезитового ряда фтор уже значительной роли не играет, и в них на первое место выступают вода, углекислота и хлор.

Наименьшей потенциальной рудоносностью среди выделенных геохимических типов гранитоидов обладают ультраметаморфические граниты, плагиограниты толеитового ряда и граниты щелочного ряда.

Распространенность рудных элементов в гранитоидах различных геохимических типов показывает, что повышенные содержания этих элементов в породах не являются показателем их потенциальной рудоносности. Например, в потенциально рудоносных на олово гранитах латитового ряда и палингенных плюмазитовых редкометальных лейкогранитах средние содержания олова соответственно равны 0,0005 и 0,0022% при среднем содержании олова в гранитах 0,0006%. В агпайтовых же редкометальных гранитах, с которыми не связаны оловянные месторождения, среднее содержание олова 0,0018%. Для этого типа гранитов, отличающихся высокими концентрациями ряда элементов (фтора, цинка, циркония и т. д.), характерен низкий уровень содержания воды, что резко уменьшает интенсивность процессов эманационной дифференциации в них.

Таким образом, оловянные месторождения могут быть связаны с гранитами, имеющими как высокие, так и низкие содержания олова в первичных магмах. Характерная особенность плюмазитовых редкометальных лейкогранитов — высокая насыщенность их магм водой и фтором, а для латитовых — водой, фтором и бором. Магмоводные магмы, даже при высоких содержаниях в них олова и фтора, крупных месторождений олова не образуют.

С гранитоидными магмами, отличающимися высокими уровнями содержания воды, углекислоты и хлора, но низкими концентрациями фтора (граниты андезитового ряда), оловянные месторождения также не связаны. Обязательным условием повышенной потенциальной рудоносности гранитных магм на олово является совместное присутствие в них повышенных количеств воды и фтора.

В мире наиболее распространены оловянные месторождения, связанные с малоглубинными интрузиями плюмазитовых редкометальных лейкогранитов. Это известные издавна месторождения Корнуолла в Англии, которые эксплуатировались еще римлянами, оловянные месторождения Рудных гор в Чехословакии и Германской Демократической Республике и такие знаменитые месторождения, как Шерлова Гора и Хапчеранга в восточном Забайкалье. С этими же гранитами связаны и крупнейшие месторождения олова Малайзии и Индонезии.

В последние годы начинает повышаться доля олова, добываемого из месторождений, связанных с гранитоидами латитового ряда. У нас в Советском Союзе это месторождения олова в Приморье и в пределах Чукотско-Охотского вулканогенного пояса. Оловянные месторождения, связанные с гранитоидами этого типа, в ближайшие годы могут быть открыты в восточном Забайкалье, где широко развиты интрузии гранитоидов латитового ряда. За рубежом районы наибольшего развития подобных оловянных месторождений — запад США и Канады, а также Боливия и Перу. Значительно меньше рудных скоплений олова связано со среднеглубинными интрузиями палингенных гранитоидов известково-щелочного ряда. В этих интрузиях олово концентрируется в виде вкрапленности касситерита в купольных участках кровли интрузий, разрушение которых приводит к образованию россыпей этого минерала, иногда значительных.

Несмотря на ограниченную распространенность, граниты латитового ряда и

плюмазитовые редкометальные лейкограниты очень хорошо распознаются по редкоэлементному и минеральному составам, геологическому положению, морфологии интрузий. Пространственно близко к этим гранитам встречаются генетически связанные с ними предшественники более высокой основности (латиты и палингенные гранитоиды известково-щелочного ряда). Принимая во внимание, что эти геохимические типы «оловоносных» гранитоидов развиваются преимущественно в зонах сочленения континентов с океаном и внутриконтинентальных подвижных зонах, сейчас можно с достаточной уверенностью делать региональный петролого-геохимический прогноз на олово.

Знание же особенностей формирования полей аномальных концентраций олова вокруг потенциально рудоносных на олово гранитных интрузий позволяет с достаточной достоверностью осуществлять локальное геохимическое прогнозирование, т. е. предсказывать местоположение участков с промышленными рудами. Однако этот вопрос связан и с другой проблемой — оценкой рудной продуктивности потенциально рудоносных интрузий, — которая выходит за рамки этой статьи.

Рассмотренный пример потенциальной рудоносности гранитов различных геохимических типов на олово показывает, что разработанная система оценки, основывающаяся на геохимических и морфологических типах гранитов и условиях протекания в них процессов эманационной дифференциации, дает возможность регионального петролого-геохимического прогнозирования размещения рудных месторождений, генетически связанных с интрузиями гранитоидов.

Полученные в настоящее время данные по геохимии редких элементов в изверженных горных породах дают основания для разработки в ближайшем будущем теории формирования полей аномальных концентраций химических элементов в земной коре, которая в дальнейшем должна стать научной основой методов направленного поиска глубокозалегающих месторождений полезных ископаемых.

#### РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

**Белов Н. В.** МИНЕРАЛОГИЯ И ПЕРИОДИЧЕСКИЙ ЗАКОН. Доклад на Юбилейной сессии, посвященной 250-летию АН СССР. М., 1975.

**Вернадский В. И.** О РАССЕЯНИИ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ. Избр. соч., т. I, М., 1927.

**Гольдшмидт В. М.** ПРИНЦИПЫ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В МИНЕРАЛАХ И ГОРНЫХ ПОРОДАХ. М., 1938.

**Кадик А. А., Лебедев Е. Б., Хитаров Н. И.** ВОДА В МАГМАТИЧЕСКИХ РАСПЛАВАХ. М., 1971.

**Коваленко В. И.** ПЕТРОЛОГИЯ И ГЕОХИМИЯ РЕДКОМЕТАЛЬНЫХ ГРАНИТОИДОВ. Новосибирск, 1977.

**Козлов В. Д., Свядковская Л. Н.** ПЕТРОХИМИЯ, ГЕОХИМИЯ И РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ ЦЕНТРАЛЬНОГО ЗАБАЙКАЛЬЯ. Новосибирск, 1977.

**Таусон Л. В.** ГЕОХИМИЯ РЕДКИХ ЭЛЕМЕНТОВ В ГРАНИТОИДАХ. М., 1961.

**Таусон Л. В.** ГЕОХИМИЧЕСКИЕ ТИПЫ И ПОТЕНЦИАЛЬНАЯ РУДОНОСНОСТЬ ГРАНИТОИДОВ. М., 1977.

**Ферсман А. Е.** ГЕОХИМИЯ, т. I. М., 1934.

## Протозвездная эволюция

Е. А. Колотилев



Евгений Анатольевич Колотилев, научный сотрудник отдела радиоастрономии Государственного астрономического института им. П. К. Штернберга при МГУ. Проводит спектральные и фотометрические наблюдения молодых звезд на Крымской станции ГАИШа.

Проблема образования звезд, начальные стадии их жизни — одна из актуальнейших в современной астрофизике. Ближайшая к нам звезда — Солнце. В ходе какого процесса сформировался этот огромный газовый шар, как давно это произошло и сколь долго длился процесс его образования?

По современным представлениям жизнь звезды можно разбить на три этапа: вначале период бурной молодости (протозвездная стадия); затем очень длительное и в значительной мере стабильное пребывание на стадии главной последовательности<sup>1</sup> (момент вступления звезды на эту последовательность характеризуется началом ядерных реакций в ее нед-

рах); после выгорания в центре запасов водорода звезда покидает главную последовательность, и наступает последний этап ее жизни. Непрерывно происходит сложная перестройка структуры звезды, сопровождаемая рядом нестационарных явлений.

Возраст самых старых звезд в Галактике равен примерно  $10^{10}$  лет, но процесс образования звезд происходит и в наши дни. В последнее время заметно возрос интерес к изучению этого процесса.

### СХЕМА ЭВОЛЮЦИИ ЗВЕЗД ДО ПРИХОДА НА ГЛАВНУЮ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТЬ

Большинство астрономов считает, что механизм образования звезд сводится к гравитационному сжатию газопылевых облаков межзвездной среды. Следует сразу указать на отсутствие прямых доказательств возникновения звезд из диффузного вещества. Однако теоретические расчеты, основанные на этой гипотезе, находят в удовлетворительном согласии с наблюдениями.

Представим изолированное невращающееся сферическое газопылевое облако в отсутствии магнитного поля. В пре-

<sup>1</sup> Если построить для звезд Галактики зависимость «светимость — спектральный класс» (так называемая диаграмма Герцшпрунга—Рессела), то по своим наблюдаемым характеристикам они не будут разбросаны на диаграмме хаотически, а займут вполне определенные области, одна из которых и есть главная последовательность. Диаграмма Герцшпрунга—Рессела имеет глубокий эволюционный смысл, так как звезды, изменяя со временем свои характеристики, перемещаются на диаграмме, которая будет иметь различный вид для отличающихся по возрасту подразделений населения Галактики.

делах облака действуют силы тяготения, стремящиеся его сжать, и давление газа, препятствующее этому. Существует критерий гравитационной неустойчивости Джинса, согласно которому облако неизбежно будет сжиматься (т. е. гравитационное давление превысит газовое), если его радиус будет

$$R \leq 6,5 \cdot 10^{12} \frac{\mu}{T} \frac{M}{M_{\odot}} \text{ см},$$

где  $M$  — масса облака,  $M_{\odot}$  — масса Солнца,

$T$  — температура и  $\mu$  — молекулярный вес вещества.

При типичных параметрах межзвездной среды (плотности  $10^{-25}$ — $10^{-23}$  г/см<sup>3</sup>, температуре 10—100 К и молекулярном весе  $\sim 2$ ) только очень массивный сгусток с  $M > 10^4 M_{\odot}$  и радиусом порядка десятков парсек будет удовлетворять критерию Джинса. В такой ситуации остается предположить, что в межзвездной среде сначала начинают сжиматься большие массы, которые затем дробятся на какое-то количество фрагментов, соот-

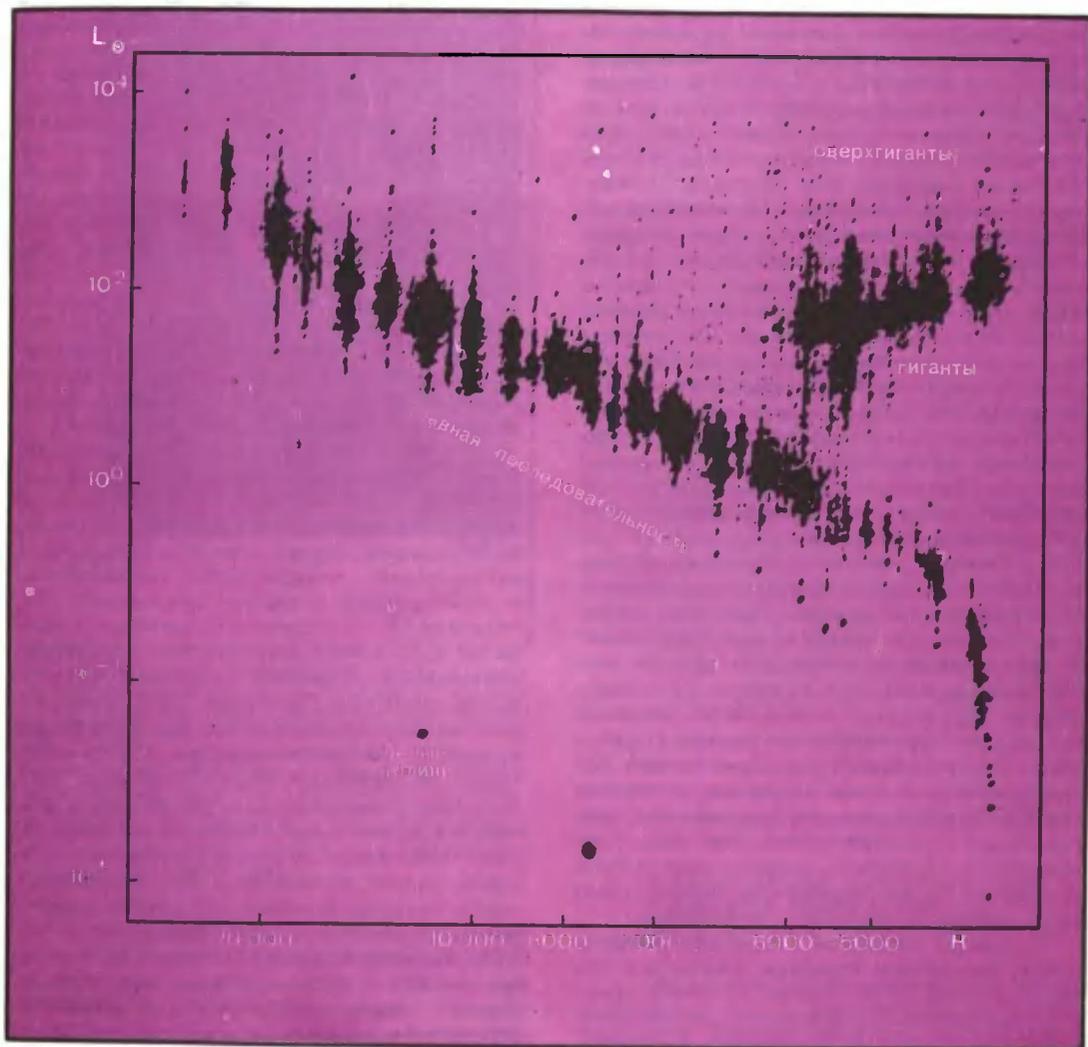


Диаграмма Герцшпрунга — Рассела для звезд с известными расстояниями, т. е. с точно определенными светимостями; по оси абсцисс — эффективная температура  $T_{\text{эф}}$ , по оси ординат —

светимость звезд в единицах светимости Солнца  $L_{\odot}$ . Видно, что большинство звезд группировано вдоль главной последовательности.

ветствующих реально наблюдаемым величинам звездных масс (причины фрагментации пока изучены плохо). Отметим, что вращение облака и магнитное поле должны препятствовать сжатию, в то время как действие внешнего давления может способствовать конденсации.

Собственно теоретическое моделирование эволюции протозвезды начинается с момента, когда в силу каких-то причин выделился определенный фрагмент облака, достаточно плотный для сжатия под действием собственного тяготения. В работе американских астрофизиков Ч. Вестбука и С. Тартера<sup>2</sup> проведен расчет эволюции фрагмента с массой  $1 M_{\odot}$ , однородной плотностью  $1 \cdot 10^{-19}$  г/см<sup>3</sup>, температурой 3 К и радиусом  $1,7 \cdot 10^{17}$  см. При таких низких значениях плотности и температуры сжимающееся облако прозрачно для собственного излучения, выход которого из всего объема облака и определяет потерю энергии. Эффективными охлаждающими агентами служат молекулы  $H_2$  и частицы пыли, содержащиеся в облаке; они излучают в далеком ИК-диапазоне длин волн. В этот период выделяющаяся при сжатии гравитационная энергия практически вся теряется в виде ИК-излучения и температура в пределах облака не меняется. Сжатие протозвездного облака происходит неоднородно, в центре плотность увеличивается быстрее, и при значении плотности  $\sim 10^{-15}$ — $10^{-14}$  г/см<sup>3</sup> вещество становится непрозрачным для собственного ИК-излучения.

На этом оканчивается период объемных потерь энергии, протозвезда начинает разогреваться в центре. При повышении температуры последовательно происходят полное испарение пыли, диссоциация молекул водорода  $H_2$ , а также ионизация атомов водорода и гелия. Эти процессы вызывают переменность темпов сжатия облака и порождают ударные волны. Как промежуточный этап эволюции в центре звезды образуется ядро, окруженное протяженной холодной оболочкой. Ядро находится в гидростатическом равновесии, поскольку последующее его сжатие будет происходить значительно медленнее.

Каков механизм переноса энергии после окончания периода объемных потерь? В 1961 г. С. Хаяси (Япония) впер-

вые показал, что на определенной стадии перенос энергии в протозвезде должен осуществляться в результате конвекции — процесса интенсивного перемещения вещества вверх — вниз. Энергия, выносимая из горячих внутренних слоев, уходит в виде излучения из некоторого внешнего слоя, который условно можно назвать «фотосферой» протозвезды. Было установлено, что в случае развитой конвекции сжатие происходит при практически постоянной эффективной температуре фотосферы ( $\sim 2000$ — $3000$  К), не зависящей от начальной массы протозвезды.

Расчет протозвездной эволюции облака с начальной массой  $1 M_{\odot}$  показывает, что в момент, когда только 1,10 начальной массы сосредоточена в гидростатическом ядре, его радиус составляет  $\sim 60 R_{\odot}$ , фотосферный радиус  $\sim 3000 R_{\odot}$ , эффективная температура фотосферы  $\sim 200$  К и светимость такого объекта равна  $15 L_{\odot}$ . К подобному состоянию протозвезда приходит за время  $2 \cdot 10^5$  лет, а еще через 67 тыс. лет протозвезда уже представляет собой объект с эффективной температурой 2200 К и светимостью  $\sim 165 L_{\odot}$ , при этом температура в центре достигает  $3,5 \cdot 10^5$  К. Поверхностная конвективная зона занимает еще очень небольшой объем, всего несколько процентов, но со временем быстро распространяется в глубь протозвезды.

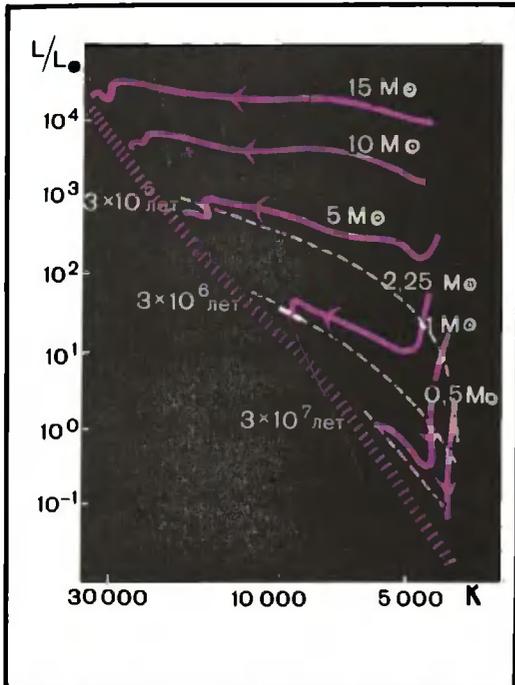
У протозвезд с массами, меньшими  $0,5 M_{\odot}$ , конвекция захватывает весь объем, и в таком состоянии они приходят на главную последовательность. Их светимость со временем падает, поскольку площадь излучающей поверхности уменьшается, а температура остается практически постоянной. У протозвезд с массами в пределах  $0,5$ — $3 M_{\odot}$  в ходе сжатия (с развитой конвекцией) в центре возникает область, вынос энергии из которой осуществляется уже не за счет конвекции, а в результате лучистой теплопроводности. Светимость такой протозвезды будет падать до тех пор, пока примерно 80% ее массы не окажется в области лучистого равновесия; тогда поверхностная температура и светимость начнут возрастать. Для протозвезд, масса которых более  $5 M_{\odot}$ , образующееся гидростатическое ядро содержит 20—30% начальной массы; у таких протозвезд конвективная фаза эволюции отсутствует. Сжатие ядра, находящегося в лучистом равновесии, происходит при возрастающей температуре поверхности и почти постоянной светимости.

Когда температура в центре звезды становится порядка  $10^7$  К, начинаются

<sup>2</sup> «Astrophys. J.», 1975, v. 200, p. 48. Мы будем основываться на этой работе, но следует иметь в виду, что пока при качественном согласии общей картины события разные авторы дают различающиеся числовые результаты.

ядерные реакции, т. е. молодая звезда приходит на главную последовательность. Полное время протозвездной эволюции зависит от начальной массы фрагмента, и для разных масс эти времена следующие:  $10^9$  лет ( $0,1 M_{\odot}$ ),  $10^7$  лет ( $1 M_{\odot}$ ),  $10^6$  лет ( $3 M_{\odot}$ ),  $10^5$  лет ( $10 M_{\odot}$ ), и  $10^4$  лет ( $30 M_{\odot}$ ).

Итак, звезды главной последовательности должны формироваться в процессе сжатия облаков диффузной материи, приводящего к увеличению плотности вещества почти на 23 порядка и температуры — на 7 порядков. При фрагментации больших



Эволюционные треки медленного сжатия до главной последовательности протозвезд с массами от 0,5 до  $15 M_{\odot}$ . По оси абсцисс — эффективная температура протозвезд, по оси ординат — светимость  $L$  в единицах светимости Солнца  $L_{\odot}$ . Вертикальные участки треков представляют фазу конвективного сжатия, горизонтальные — лучистого. Штриховкой показана главная последовательность, пунктиром — линии, вдоль которых должны располагаться протозвезды одинакового возраста, но разных масс.

масс звезды должны возникать группами и быть тесно связаны с газопылевой материей, непосредственно не участвовавшей в процессе звездообразования. На диаграмме «светимость — эффективная температура» протозвезды должны располагаться правее главной последовательности и постепенно подходить к ней.

На ранних этапах сжатия протозвезда должна представлять собой достаточно протяженный объект с низкой температурой, все излучение которого сосредоточено в ИК-области спектра. У таких объектов в ходе эволюции должна определенным образом изменяться светимость; так, при выходе на поверхность ударных волн светимость увеличивается; значительное ее увеличение наблюдается при образовании гидростатического ядра и возникновении конвекции; а в ходе сжатия звезды ее светимость уменьшается. Сама конвекция может, по-видимому, служить причиной выбросов сгустков вещества и приводить к значительным колебаниям блеска.

Кроме того, из расчетов следует, что вещество оболочки еще до прихода протозвезды на главную последовательность либо все выпадет на ядро (для малых масс), либо будет вынесено давлением излучения горячего ядра и создаст своеобразный «кокон» (в случае массами падения вещества оболочки со временем будет «проявлять» формирующуюся внутри звезду. Поглощаемое в ходе этого процесса излучение ядра большей частью будет переходить во внутреннюю энергию вещества оболочки и частично переизлучаться. Так, нагретая пыль будет излучать в ИК-диапазоне длин волн. У формирующихся массивных горячих звезд вещество «кокона» будет ионизовано и возникнут так называемые зоны HII — области свечения ионизованного водорода. Кроме того, протозвезда может быть закрыта от нас диффузной материей «родительского» комплекса, что также должно отразиться на ее наблюдаемых характеристиках.

Необходимо отметить, что в последнее время предприняты попытки учесть несимметричность и вращение сжимающегося облака, оценить роль магнитного поля в динамике событий. По мнению Д. Макналли (Англия), эти работы могут принести неожиданные результаты, изменив некоторые, сложившиеся на сегодняшний день представления.

#### НАБЛЮДЕНИЯ МОЛЕКУЛЯРНЫХ ОБЛАКОВ, ИНФРАКРАСНЫХ ИСТОЧНИКОВ И ЗОН HII

Имеем ли мы возможность и сейчас наблюдать самые ранние стадии гравитационного сжатия облаков межзвездного вещества? Обратимся к достижениям радиоастрономии. За последние десять лет в космосе было зарегистрировано множе-

ство новых молекул (по их спектрам поглощения или излучения), что значительно расширило представления о физических условиях в межзвездных газовых облаках — температуре, плотности, химическом (включая изотопный) составе, скоростях движения.

Были обнаружены гигантские, с массами в десятки тысяч солнечных масс, облака молекул окиси углерода. В пределах этих облаков выявлены области высокой плотности, состоящие из молекул аммиака, сульфида углерода и цианистого водорода. Весьма существенно, что эти молекулы имеют спектр излучения, состоящий из отдельных линий, только в среде с повышенной плотностью. Таким образом, они могут служить отличными индикаторами подобных областей. Водород в таких комплексах находится в молекулярном состоянии, и излучение от остальных молекул возникает при возбуждении их в результате столкновений с молекулами водорода. Расчеты температурного режима показали, что в пределах подобных молекулярных комплексов температура составляет примерно 10 К. Наблюдаемое сочетание высокой плотности с низкой температурой, по-видимому, отражает гравитационно неустойчивое состояние сжимающегося и фрагментирующегося вещества. Более точные выводы можно получить, только зная в деталях распределение вещества и, что особенно важно, распределение скоростей в молекулярных облаках.

Такие радиоастрономические исследования, требующие приборов с хорошим угловым разрешением, только начинаются. Д. Макналли провел предварительный анализ материала, относящегося к молекулярному облаку в туманности Ориона<sup>3</sup>. По-видимому, существует определенное соответствие между наблюдаемой структурой облака и теоретической схемой сжатия вращающегося несферического фрагмента. В пределах облака обнаружен протяженный ИК-источник (так называемая туманность Клеймана — Лоу), весьма сходный по своим характеристикам с протозвездными объектами, предсказываемыми теорией. По оценкам, размер источника  $\sim 2 \cdot 10^{17}$  см, масса  $\sim 10^4 M_{\odot}$ , светимость  $\sim 10^4 L_{\odot}$ , а спектр излучения этого объекта соответствует температуре всего лишь 100 К. Кроме того, на краю туманности обнаружен точечный ИК-источник со светимостью  $\sim 10^3 L_{\odot}$  и температурой около 600 К.

Еще одна интересная область, результаты наблюдения которой можно сопоставить с теорией образования звезд, была занесена в 1958 г. в каталог как радиоисточник W3. После того как угловое разрешение радиотелескопов было улучшено, удалось установить, что источник W3 на самом деле состоит из нескольких компактных зон ионизованного водорода. Ионизованный водород дает непрерывное излучение в радиодиапазоне, которое беспрепятственно проходит через плотную газопылевую материю.

П. Мезгер и Е. Крюгель (ФРГ) недавно провели детальное изучение двух, наиболее интересных конденсаций в этой области, обозначаемых W3(OH) и W3(G133.7+1.2)<sup>4</sup>. Первый источник можно интерпретировать как протозвездную систему, состоящую из массивного горячего ядра, окружающей его зоны HII (самой компактной из известных пока в нашей Галактике) и внешней, очень протяженной оболочки, состоящей из нейтрального газа и пыли. А вот второй источник, W3(G133.7+1.2), по-видимому, представляет собой массивную горячую протозвезду, уже подошедшую к главной последовательности; радиус ее зоны HII сравним с радиусом нейтральной оболочки предыдущего источника, а вся эта система закрыта от нас слоем пыли и нейтрального газа. Исследование окрестностей этого источника на многих длинах волн позволило получить интересные результаты: обнаружен ряд точечных источников только в ИК-диапазоне, на длине волны 20 мкм (ИК 4—6); по своим характеристикам они вполне могут быть протозвездами на очень ранних стадиях сжатия.

#### КАК МОЖНО ПРЕДСТАВИТЬ ЭВОЛЮЦИЮ ПРОТОСОЛНЦА?

Наблюдения протозвезд малых масс позволяют восстановить историю развития нашего Солнца. К таким объектам относятся звезды типа Т Тельца. Спектральные и фотометрические (в широком диапазоне длин волн) наблюдения этих звезд показывают, что по светимости и эффективной температуре они попадают на диаграмме Герцшпрунга — Рассела на участки эволюционных треков, соответствующие медленному сжатию протозвезд малых масс (0,5—3  $M_{\odot}$ ). Их возраст не превышает  $10^6$  лет.

<sup>3</sup> «Irish. Astronom. J.», 1974, v. 11, № 7-8.

<sup>4</sup> «Astronom. and Astrophys.», 1975, v. 42, № 3, p. 441.

Оптический блеск этих объектов весьма слаб, что требует использования телескопов больших диаметров. Хотя наблюдения звезд типа Т Тельца ведутся уже более трех десятилетий, пока не создано единой картины связанных с ними физических явлений.

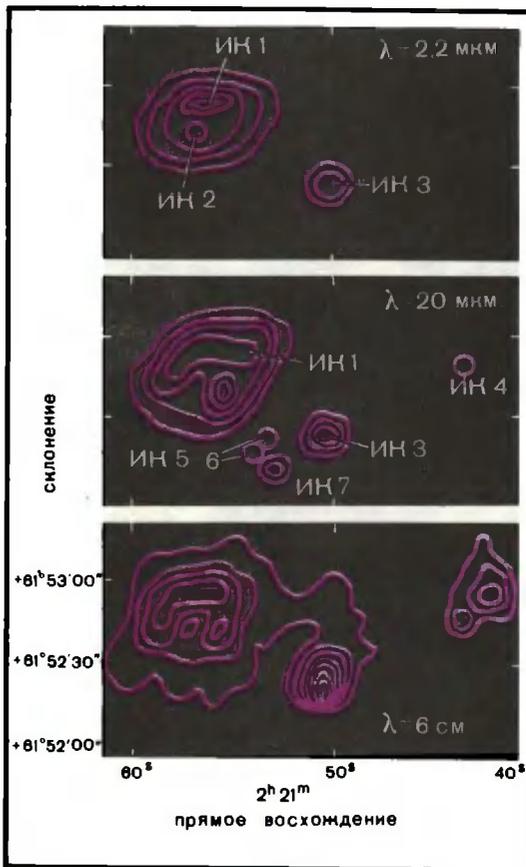
Звезды типа Т Тельца встречаются исключительно в районах диффузных туманностей и темных пылевых облаков и, как правило, группами (ассоциациями). Часто около них наблюдаются небольшие светящиеся туманности. Уже давно известно, что это — неправильные переменные звезды. Одной из наиболее активных является звезда DF Тельца; зарегистрированы значительные изменения ее яркости даже за времена порядка десятков секунд.

Характерная особенность, отличающая спектры звезд типа Т Тельца от спектров нормальных звезд главной последовательности, — присутствие в них линий излучения, из которых наиболее заметны линии H, HeI, CaII, FeI, FeII, напоминающие спектр солнечной хромосферы, а также ряда линий, характерных для спектров газовых туманностей. В тех случаях, когда видны линии поглощения, оказывается возможным, применив критерий спектральной классификации, оценить эффективную температуру звезд. Еще одна особенность этих звезд — повышенное содержание лития, на что указывает сильная линия поглощения на длине волны 6707 Å. Это также свидетельствует о молодости звезд типа Т Тельца, поскольку в дальнейшем литий разрушается в ядерных реакциях.

В спектрах звезд типа Т Тельца наблюдается линия излучения  $H_{\alpha}$ . Изучение контура этой линии (распределение интенсивности излучения в зависимости от длины волны) позволяет судить о характере движения излучающего вещества. На 125-сантиметровом телескопе Крымской станции ГАИШа<sup>5</sup> мы получили серию спектрограмм звезд типа Т Тельца, по которым определили контуры линии  $H_{\alpha}$ . Как выяснилось из наблюдений, для этих звезд характерны три вида контуров  $H_{\alpha}$ : одиночная симметричная линия излучения; линия, состоящая из двух пиков, разделенных абсорбционным провалом, смещенным в фиолетовую часть спектра, а также линия типа Р Лебеда, состоящая из пика излучения и абсорбционного провала, смещенного в фиолетовую область

спектра. Из теоретических расчетов следует, что контур типа Р Лебеда образуется в протяженной расширяющейся газовой оболочке. Двухкомпонентный контур с абсорбционным провалом, смещенным в фиолетовую область спектра, наблюдается от вращающейся и расширяющейся оболочки, когда луч зрения перпендикулярен оси вращения; одиночная линия соответствует направлению луча зрения на полюс.

Таким образом, наблюдения контуров линии  $H_{\alpha}$  указывают, что со звездами типа Т Тельца преимущественно связан



Карта источника W 3 (G 133.7 + 1.2) и его окрестностей по наблюдениям на длинах волн 2,2 мкм, 20 мкм и 6 см. По осям нанесены астрономические координаты. ИК 1, 3, 7 — протяженные источники; ИК 2, 4—6 — точечные источники инфракрасного излучения.

<sup>5</sup> В этом году Крымской станции ГАИШа, основной наблюдательной базе института, исполнилось 20 лет.

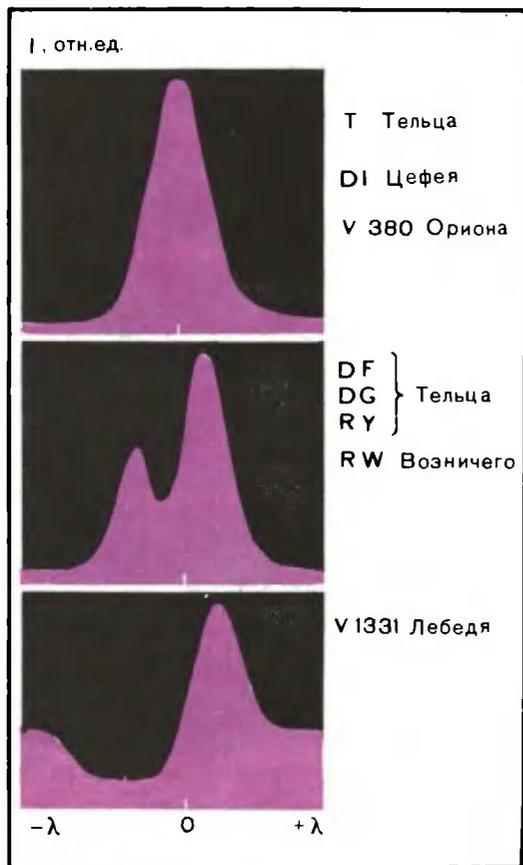
процесс истечения вещества. Лишь у очень немногих звезд обнаружены контуры типа обратного Р Лебеда (т. е. с абсорбционным провалом, смещенным в красную область спектра), прямо свидетельствующие о падении вещества оболочки. Указания на истечение вещества получены также из детального анализа условий образования двух аномально возбужденных только у этих звезд линий флуоресценции FeI, из измерений лучевых скоростей линий излучения, возникающих в связанных с этими звездами туманностях, а также при изуче-

нии изменяющихся во времени структуры и яркости самих туманностей. С другой стороны, теоретические расчеты сжатия протозвезд малых масс предсказывают падение вещества оболочки, причем это падение должно происходить в течение всего периода эволюции до главной последовательности. Такое расхождение теории и наблюдений говорит, что мы еще далеки от полного понимания всех процессов, связанных с эволюцией протозвезд. Механизм, приводящий к истечению вещества у звезд типа Т Тельца, пока детально не разработан.

Контуры линий излучения в спектрах звезд типа Т Тельца могут значительно изменяться со временем. Так, по наблюдениям звезды RY Тельца, проведенным нами совместно с Г. В. Зайцевой на Крымской станции ГАИШа, было установлено, что иногда контур линии излучения  $H\alpha$  менялся за времена порядка 10—20 мин, а в другие периоды сохранялся неизменным на протяжении по крайней мере целой ночи.

Распределение энергии в непрерывном спектре звезд типа Т Тельца существенно отличается от распределения, характерного для нормальных звезд главной последовательности: у них обнаружено избыточное излучение как в ультрафиолетовой, так и в инфракрасной областях спектра. Природа повышенного ультрафиолетового излучения пока не выяснена. Избыточное излучение в инфракрасной области спектра (в диапазоне длин волн больше 10 мкм) обусловлено, по-видимому, тепловым переизлучением пыли; механизм избыточного ИК-излучения в диапазоне 1—10 мкм пока также не выяснен. Однако необходимо иметь в виду, что установить истинное распределение энергии в спектрах звезд типа Т Тельца достаточно трудно, поскольку необходимо учесть селективное поглощение излучения в «родительском» комплексе материи и в межзвездной среде. При этом надо знать, как отличается закон поглощения в данном комплексе от среднего для межзвездной среды.

Для построения полной физической картины переменности этих звезд и выяснения природы УФ- и ИК-избыточного излучения наибольший интерес представляют одновременные фотометрические наблюдения во всем доступном диапазоне длин волн. Такие измерения только начинаются. М. Коган и Р. Шварц (США) провели наблюдения 22 звезд в диапазоне длин волн 0,3—10 мкм в течение нескольких ночей, а мы с Г. В. Зайцевой и В. И. Ше-



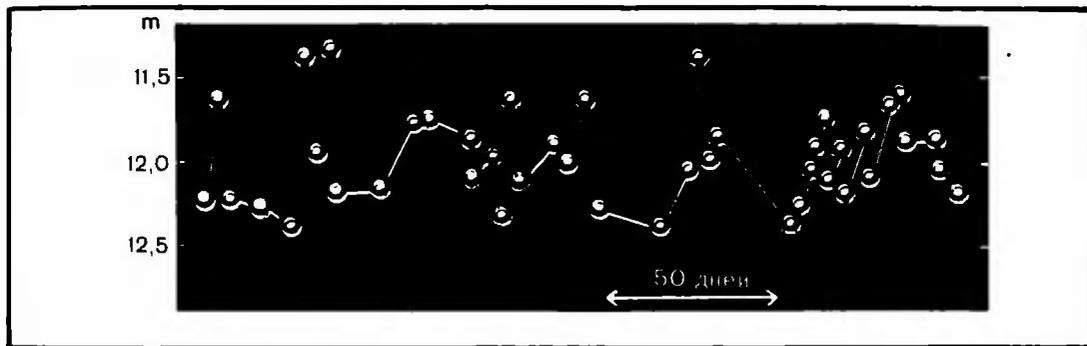
Три вида контуров линии излучения  $H\alpha$ , характерные для звезд типа Т Тельца. Сверху вниз — одиночная симметричная линия, двойная линия, линия типа Р Лебеда. По оси абсцисс — длина волны, по оси ординат — интенсивность излучения.

навранным наблюдали за двумя звездами в диапазоне длин волн 0,3—3,5 мкм в течение нескольких месяцев. В результате было установлено, что картина переменности очень сложна и нет однозначной зависимости между изменениями потоков излучения со временем в оптическом и ИК-диапазонах спектра. Проведение подобных наблюдений крайне желательно в будущем.

Еще одно событие, связанное со звездами типа Т Тельца, привлекло особое внимание астрономов. Звезда V 1057 Лебе-

дия  $H_{\alpha}$  имела контур типа Р Лебеда с очень широким абсорбционным провалом и интенсивным пиком излучения (спектральные наблюдения до вспышки имеют низкое разрешение, недостаточное для анализа отдельных линий). Со временем, как показывает полученная нами в 1974—1976 гг. серия спектрограмм, излучение в линии  $H_{\alpha}$  исчезло, и уменьшилась ширина абсорбционного провала, что, по-видимому, свидетельствует о процессе рассеяния газовой оболочки.

Таким образом, молодость нашего



Кривые блеска звезды DF Тельца. При измерениях использовался фильтр, эффективная длина волны пропускания которого равна 0,55 мкм. По оси абсцисс — время, по оси ординат — блеск в звездных величинах.

дья, которая до 1969 г. обладала спектральными и фотометрическими признаками звезд этого типа, на протяжении нескольких месяцев 1969—1970 гг. испытала значительное, примерно на 6 звездных величин, увеличение оптического блеска (наблюдения в ИК-области спектра до вспышки, к сожалению, не проводились). Из выполненных к настоящему времени, в частности и на Крымской станции ГАИШа, фотометрических измерений V1057 Лебеда следует, что после вспышки потоки излучения как в оптическом, так и в ИК-диапазоне ( $\lambda > 10$  мкм) монотонно уменьшаются со временем. Такое поведение излучения в далеком ИК-диапазоне согласуется с теорией пылевой оболочки, нагреваемой оптическим излучением переменного центрального источника.

Полного понимания событий, происшедших со звездой типа Т Тельца, пока нет, но характер изменений со временем контура линии  $H_{\alpha}$  позволяет предположить, что в 1969—1970 гг. произошел сброс оболочки звезды. Сразу после вспышки ли-

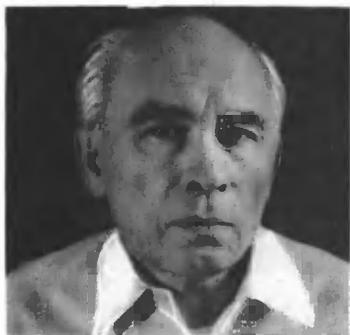
Солнца, как следует из наблюдений за звездами типа Т Тельца, была очень активной. Высказано даже предположение, что вспышки, подобные наблюдавшейся у звезды V1057 Лебеда, по-видимому, происходят у каждой протозвезды на стадии Т Тельца неоднократно (т. е. происходили не раз и у Протосолнца). Интересно также упомянуть, что анализ наблюдений звезды южного неба типа Т Тельца — RU Волка — привел Г. Гаама с сотрудниками (Швеция) к выводу о существовании у нее протопланетной системы.

Представляют интерес высказанные недавно предположения о двойственности звезд типа Т Тельца, их быстром вращении, а также попытки учесть при расчетах магнитное поле, разработать механизм истечения вещества, связанный с существованием у протозвезд протяженной зоны неполной ионизации и диссоциации.

По единодушному мнению теоретиков и наблюдателей, чтобы еще лучше понять феномен Т Тельца, определенную стадию звездной эволюции, необходимо провести как можно более широкие одновременные наблюдения (фотометрические, спектроскопические, поляризационные и т. д.). В СССР такие работы уже начаты.

## Новые материалы к биографии А. М. Бутлерова К 150-летию со дня рождения

Г. В. Быков



Георгий Владимирович Быков, доктор химических наук, старший научный сотрудник-консультант Института истории естествознания и техники АН СССР. Область исследования — история химии и теоретическая химия. Автор книг: *Электронные заряды связей в органических соединениях*. М., 1960; *История классической теории химического строения*. М., 1960; *Александр Михайлович Бутлеров*. М., 1961; *История электронных теорий органической химии*. М., 1963; *История стереохимии органических соединений*. М., 1966; *История органической химии*. Кн. 1. М., 1976. Кн. 2. М., 1978 и др.

С именем Александра Михайловича Бутлерова связаны создание и разработка теории химического строения, на которой основаны последующие важнейшие успехи органической химии; формирование крупнейшей отечественной школы химиков, обеспечившей дальнейшее развитие этой науки в нашей стране; а также разносторонняя общественная деятельность. Заслуги великого русского химика перед наукой широко известны. Предлагаемая статья знакомит с некоторыми результатами литературных и архивных изысканий, относящимися к биографии А. М. Бутлерова, характеристике его личности, позволяющими уточнить и дополнить те сведения, которыми располагали к началу 60-х годов биографы ученого.

### ДАТА РОЖДЕНИЯ А. М. БУТЛЕРОВА

До начала 60-х годов в качестве бесспорной даты рождения Бутлерова принималось 25 августа (6 сентября) 1828 г. Однако в 1961 г. Б. Е. Нагирнер<sup>1</sup> обнару-

жил в архиве свидетельство о рождении Бутлерова, подтверждаемое записями в делах Казанской духовной консистории, согласно которому датой его рождения следует считать 3(15) сентября 1828 г. Эта же дата проставлена и в списках студентов Казанского университета за 1844 и следующие годы.

До сих пор биографы приводили дату его рождения, указанную в известном биобиблиографическом словаре Поггендорфа еще в 1863 г., хотя ни в каких других прижизненных бутлеровских документах эта дата не повторяется. Но словарь Поггендорфа — источник далеко не надежный. В нем, например, сообщается, что Бутлеров умер в Биаррице, на юге Атлантического побережья Франции. Здесь деревня Бутлеровка (ныне Алексеевского района Татарской АССР) спутана с Биаррицем.

### РОДИТЕЛИ А. М. БУТЛЕРОВА

О родителях А. М. Бутлерова было известно лишь то, что отец его, Михаил Васильевич Бутлеров, служил в армии, был участником Отечественной войны 1812 г., вышел в отставку подполковником, был женат на Софье Михайловне Стрелковой

<sup>1</sup> Нагирнер Б. Е. — «Вопросы истории естествознания и техники», 1963, вып. 14, с. 79—82. Приведена фотокопия свидетельства о рождении А. М. Бутлерова.

из соседней с Бутлеровкой деревни Шанталы.

Теперь имеется возможность более подробно рассказать о них.

Как следует из «Указа» при увольнении М. В. Бутлерова в отставку<sup>2</sup>, он начал службу юнкером в 1811 г., «находился в походах и делах против французских войск» при Могилеве 17 июля 1812 г., где за отличие произведен в прапорщики, участвовал в защите Смоленска, в сражении при Бородино, а затем в преследовании неприятеля до Саксонии. В 1813 г. участвовал в сражениях при Люцене, Лебау, Пацкау, в битве народов под Лейпцигом. В 1814 г. отличился при взятии штурмом Реймса, произведен в поручики. В 1815 г.— снова поход во Францию в составе 5 Егерского полка. После окончания войны продолжил службу в лейб-гвардии Павловском полку. В нем его продвижение по службе шло быстрее: в 1816 г. он уже штабс-капитан, в декабре 1818 г.— капитан, а в январе следующего 1819 г.— майор, и в этом чине переведен в 30 Егерский полк, а 19 ноября того же года «уволен от службы с чином подполковника и с мундиром».

В метрической книге Богородицкой церкви села Красный Яр (также принадлежавшем Бутлеровым) Чистопольского уезда Казанской губернии есть такая запись: «Июля осьмнадцатого числа Чистопольский дворянский предводитель и кавалер Михаил Васильев сын Бутлеров, отрок 37 лет, по учинению обысков (свидетельство о неродстве.— Г. Б.) сочетался законным браком деревни служилой Шанталы помещика Александра Стрелкова на дочери девице Софье Стрелковой 17 лет»<sup>3</sup>. Отсюда следует, что отчество матери Бутлерова — Александровна, а не Михайловна, и что, возможно, имя ему дали в честь деда. В той же метрической книге отмечено, что у помещика Михайлы Бутлерова 3 сентября 1828 г. родился сын Александр, крещенный 9 сентября того же года<sup>4</sup>. Это еще одно подтверждение указанной выше «новой» даты рождения Бутлерова.

В 40-х годах XIX в. по указанию Николая I была проведена проверка всех дворян на право находиться в этом сословии. При этом оказалось, что дед Бутлерова Василий Иванович, хотя и был единст-

венным наследником своего отца (и может быть именно поэтому), не сохранил никаких документов, подтверждавших его родство со своим отцом и права наследования Бутлеровки. По своему чину, полученному при выходе в отставку (коллежский ассесор), он получал право лишь на личное, а не на потомственное дворянство. Поэтому и отец Бутлерова был «признан в дворянском достоинстве» лишь по личным заслугам, и с него формально начался заново дворянский род Бутлеровых.

### ПАНСИОН И ГИМНАЗИЯ

В Казани было два частных пансиона для мальчиков с программой гимназии: один открыт в 1835 г. учителем французского языка 2-й Казанской гимназии А. Дечевери, а другой — в 1838 г. учителем французского языка 1-й Казанской гимназии А. Топорниным. Последний был закрыт в августе 1842 г. после большого городского пожара. Осенью 1842 г. после «установленных испытаний» около 10 учеников из обоих пансионов были приняты в 1-ю Казанскую гимназию, в том числе и А. Бутлеров, в шестой класс. Все биографы утверждают, что он учился в пансионе Топорнина. Однако из переписки попечителя Казанского учебного округа с Министерством народного просвещения,<sup>5</sup> неодобрительно относившегося к существованию частных пансионов вообще и возражавшего против перевода некоторых учеников сразу в шестой класс, видно, что Бутлеров учился в пансионе Дечевери и из него был переведен именно в шестой, а не в пятый или даже в четвертый класс, как можно прочесть в ряде его биографий.

А. М. Бутлеров окончил гимназию в 1844 г. Так как обучение в гимназиях того времени продолжалось семь лет, то нет никаких сомнений, что он был переведен в нее сразу в шестой класс.

### СТУДЕНЧЕСКИЕ ГОДЫ

Биографы Бутлерова утверждают, что он учился в университете на первом курсе два года, так как по молодости лет не мог быть зачислен в студенты (и поэтому он проучился в университете не четыре, а пять лет). Однако из «Ведомостей об учащихся в Казанском университете»<sup>6</sup> следует, что А. М. Бутлеров вначале действи-

<sup>2</sup> Центральный государственный исторический архив в Ленинграде (далее — ЦГИАЛ), ф. 1343, оп. 17, № 7275, л. 27—28.

<sup>3</sup> Там же, л. 30, 30 об.

<sup>4</sup> Там же, л. 29 об.

<sup>5</sup> Там же, ф. 733, оп. 43, № 47.

<sup>6</sup> Отдел рукописей Казанского университета, № 7801, л. 21, 23 об.

тельно числился «неутвержденным слушателем», но 6 февраля 1845 г. был «принят студентом» по разряду математических наук, а уже 16 февраля «перемещен в разряд естественных наук». Считалось, что отец хотел видеть сына математиком, но тот воспротивился, утверждая, что у него нет математических способностей и поступил на естественный разряд. В действительности же еще будучи «неутвержденным слушателем» и первые десять дней в качестве студента Бутлеров принадлежал к математическому разряду.

Позднее зачисление в студенты не помешало закончить первый курс вместе со своими товарищами, но на втором курсе он был два года: в 1845/46 и 1846/47. Причиной этому была тяжелая болезнь, которая свела в могилу отца и чуть было не его самого. Заболел он во время путешествия в составе экспедиции П. И. Вагнера в Заволжские степи. «Вид» (свидетельство об отправлении Бутлерова в командировку в качестве помощника Вагнера) был подписан Н. И. Лобачевским как управляющим Казанским учебным округом 12 марта 1846 г.<sup>7</sup> А 5 октября 1846 г. Лобачевский уведомляет проректора университета о болезни Бутлерова: «...Ординарный профессор Вагнер доносит мне, что по случаю болезни студента Бутлерова он прибыл в Черный Яр, где по неимению аптеки больной его оставался без врачебных пособий до Сарепты. Болезнь сначала в виде простой лихорадки начала день ото дня принимать вид непрерывной горячки; пароксизмы слились, оказался бред и, наконец, развилась вполне тифозная горячка с пятнами, к счастью, он вовремя еще поспел в Симбирск, где нашел средства помочь больному — с 18 по 19 число был перелом в болезни — горячка миновала, но оставила после себя слабость в высшей степени. Выздоровление Бутлерова, по всему вероятию, будет медленное; помощь его теперь менее нужна, и он в ожидании приезда в Симбирск отца студента Бутлерова остается при больном, дабы передать его в верные руки. Он писал уже к г. Бутлерову и с нынешнею почтою еще просил его поторопиться приездом, дабы иметь возможность скорее самому отправиться в Казань»<sup>8</sup>. Как известно, отец Бутлерова

приехал к сыну в Симбирск, заразился тифом сам и умер, а сын, хотя и поборол болезнь, но вышел оттуда с упадком умственных способностей, так что думали даже, что он встал в ребячество.

Именно эта причина и вызвала необходимость остаться еще на год на втором курсе. Бутлеров, однако, поправившись, снова путешествовал. Так в 1848 г. он вместе и еще одним студентом были «уволены по желанию их в учебное путешествие по степям Оренбургской губернии» на все летнее вакационное время. Эти путешествия у Бутлерова были явно связаны с его энтомологическими интересами.

#### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ПОРТРЕТ А. М. БУТЛЕРОВА НАЧАЛА 50-Х ГОДОВ

Из своих лучших учеников первой половины 1850-х годов в Казанском университете Бутлеров особенно отличал П. Д. Боборыкина. Практические занятия в лаборатории сделали интересы последнего более серьезными. С переходом на второй курс он стал переводить с немецкого учебник Лемана, а также подумывать о кандидатской диссертации. Однако затем под влиянием рассказов о постановке преподавания химии в Дерптском университете решил отправиться туда, что Бутлеров полностью одобрил. В Дерпте (ныне Тарту Эстонской ССР) Боборыкин докончил перевод Лемана, напечатал его, но химию после университета оставил, отдавшись полностью литературе. Ему принадлежит ряд воспоминаний о Бутлерове<sup>9</sup>, но в них нет такого удивительно живого портрета молодого профессора, как в автобиографическом романе «В путь-дорогу». Приведем этот совершенно неизвестный литературный портрет Бутлерова.

«В числе предметов камерального разряда (хозяйственного отделения юридического факультета.— Г. Б.) стояла химия. Телепнев (под этим именем Боборыкин вывел себя.— Г. Б.) отправился в лабораторию. Ему интересно было начать слушать эту, совершенно неизвестную ему науку. Полукруглая аудитория была почти полна. Телепнев сел рядом с Абласовым,

<sup>7</sup> Ленингр. отд. Архива АН СССР, ф. 22, оп. 1, № 57, л. 11.

<sup>8</sup> Лобачевский Н. И. Научно-педагогическое наследство. Руководство Казанским университетом. Фрагменты. Письма. М., 1976, с. 308.

<sup>9</sup> Боборыкин П. Д. Жестокая утрата. Памяти А. М. Бутлерова.— «Новости и биржевая газета», 1886, 20 авг.; Без памятки.— «Русское слово», 1911, 23 авг.; в кн.: За полвека. М.—Л., 1929.



АЛЕКСАНДР МИХАЙЛОВИЧ БУТЛЕРОВ. 1882 г.

который как медик слушал также и химию. Перед лавками помещался большой, во всю комнату, полукруглый стол, покрытый изразцами. На нем стояло множество склянок, банок, спиртовая лампа, два медных штатива и стеклянная реторта. Пред появлением профессора вышел из лаборатории белобрысый господин и начал переставлять склянки. Некоторые из новичков приняли было его за профессора, но тотчас спохватились, видя что он в кур-

гузом сюртучке и слишком смотрит аптекарским гезелем (так Боборыкин описал лаборанта химической лаборатории Х. Ф. Грахе.—Г. Б.). Минут через двадцать пять явился и сам профессор. Он бойко выскочил из дверей и дробным шагом подлетел к изразцовому столу. Это был молодой еще человек. Большой лоб с взлызами, продолговатое лицо с острым носом и прищуренными косыми глазами придавали его личности бойкий и даже

игривый характер. Заговорил он громко, очень внятно, ударяя на некоторые слова, много разводил руками, вставал и садился, вообще вел себя непринужденно, чем и привлек аудиторию. Его изложение было просто, без профессорских замашек, и в первую лекцию он отчетливо и вразумительно разъяснил слушателям, что это такое за штука химия и чем она отличается от других естественных наук. Лекция кончилась описанием свойств кислорода, причем лаборант весьма эффектно произвел сжигание проволоки в кислородном газе.

— Как тебе понравилось? — спросил Телепнев Абласова.

— Говорит толково.

— И наука занимательная.

— Да, да вот жалко — по-русски учебников-то нет. Слышал? — он говорил, только и есть, что Гесс и Реньо какой-то<sup>10</sup>.

На первом курсе были экзамены, кроме экзаменатора по данному предмету, присутствовал еще «депутат», преподаватель другой специальности. Вот как оценили Бутлерова как депутата студенты камералисты на экзамене по ботанике: «— А кто депутатом?

— Депутатом Сашенька, химик... Просто лафа будет, коли никто не сбрендит»<sup>11</sup>.

По приезде в Дерпт Телепнев явился к профессору химии К. Шмидту (выведенному под фамилией Шульц). Он тут же повел новоприбывшего в лабораторию: «Она представляла довольно плачевный вид: пожожа была на плохую грязноватую кухню. В ней было тесно и неудобно; но все-таки видно было, что там работают... На Телепнева вся мизерная обстановка этой лаборатории подействовала гораздо внушительнее, чем лощенные столы и стены К-ской лаборатории, где никто ничего не делал»<sup>12</sup>. Действительно, в первой половине 1850-х годов Бутлеров продолжал еще заниматься энтомологией, затем очень много уделял времени прикладной ботанике — садоводству и цветоводству, был деятельным участником Казанского экономического общества. Заметим, что в упомянутой статье Б. Е. Нагирнера приводятся и новые материалы о деятельности Бутлерова в этом обществе.

## НЕИЗВЕСТНОЕ ПИСЬМО БУТЛЕРОВА О ПОЛУЧЕНИИ ТРЕТИЧНОГО БУТИЛОВОГО СПИРТА

Расцвет деятельности Бутлерова начался со второй половины 50-х годов после поездки за границу. Им в это время был выполнен большой «метиленовый» цикл исследований, одним из результатов которого явилось получение впервые синтетического сахаристого вещества. Его работа «О химическом строении вещества» относится к 1864 г.. Этим временем и датируется возникновение теории химического строения.

Большое значение для утверждения теории химического строения имел синтез Бутлеровым третичного бутилового спирта  $[(\text{CH}_3)_3\text{COH}]$  и расшифровка его строения. Первое сообщение об этом, датированное 30 мая 1864 г., появилось в том же году в журнале «Zeitschrift für Chemie». Но еще ранее он сообщил об этом А. В. Гофману, крупному немецкому химику, в те годы, однако, работавшему в Англии во главе созданного им Королевского химического колледжа. Сохранился черновик письма Бутлерова, которое мы приводим в нашем переводе с немецкого: «Высокоуважаемый коллега, после того, как я на днях получил Ваш «Отчет»<sup>13</sup>, спешу высказать Вам свою искреннюю благодарность за оказанную мне честь. Позволяю себе думать, что этими в высшей степени лестными для меня знаками Вашего благосклонного внимания я обязан не только моему положению профессора химии в самом восточном европейском университете, но также и скромным результатам моих работ на поприще этой науки. Я осмеливаюсь воспользоваться случаем, чтобы сообщить Вам о некоторых, может быть, небезыңтересных еще не опубликованных данных моей последней работы. Ныне мне удалось разъяснить первоначально довольно-таки запутанные результаты действия цинкметила на фосген. Теперь не подлежит никакому сомнению, что первоначальным продуктом реакции, в согласии с теорией, является хлористый ацетил, который, однако, тотчас же взаимодействует дальше с

<sup>10</sup> Боборыкин П. Д. В путь-дорогу!.. Роман в 6-ти книгах, кн. 3. СПб, 1864, с. 99—100.

<sup>11</sup> Там же, кн. 4, с. 97.

<sup>12</sup> Там же, кн. 5, с. 56.

<sup>13</sup> Речь идет о книге: Reports by the Juries of International Exhibition of 1862. Class II. Section A. Chemical Products Processes A. W. Hofmann — Reporter. L., 1863.

Эта книга сохранилась в бутлеровской библиотеке Казанского университета, и, просматривая ее, автор этих строк обнаружил черновик цитируемого письма Бутлерова.

цинкметилом, образуя кристаллы, которые получают также при действии уже описанного мною алкогольного вещества, а именно: когда я к избытку цинкметила очень медленно добавлял хлористый ацетил и оставлял смесь на некоторое время в покое. Реакция протекает совсем иначе, чем в опытах Пебаля и Фрейнда (которые получили в конечном итоге ацетон.— Г. Б.): образуются кристаллы, которые тождественны с полученными при реакции цинкметила с фосгеном. При действии воды они дают псевдобутильный алкоголь, которому и соответствует по своему составу. Конечный результат: реакция состоит, следовательно, в замещении кислородного атома ацетила на 2 (CH<sub>2</sub>)'. Низкое содержание углерода, которое я нашел в алкогольном веществе, полученном при действии цинкметила на фосген, было связано не с примесью псевдопропильного алкоголя, а с тем обстоятельством, что новый псевдобутильный алкоголь содержит всегда воду и отдает последнюю лишь с большим трудом. Таким образом, полагаю, что полученный псевдобутильный алкоголь можно рассматривать как триметилированный метильный спирт. Следовательно, это последний из следующих четырех теоретически возможных бутильных алколей.

С совершенным уважением и дружеским приветом остаюсь преданный  
А. Б.»

Текст письма не закончен. Очевидно в беловом варианте письма Бутлеров предполагал дать формулы изомерных бутиловых спиртов, как это он сделал в своей статье<sup>14</sup>. Публикуемое письмо ценно как автореферат важнейшего экспериментального исследования в истории классической теории химического строения, за которым последовало предсказание других теоретически возможных третичных спиртов и их синтез в лаборатории Казанского университета.

#### А. М. БУТЛЕРОВ И ЕГО УЧЕНИКИ

Для отношения Бутлерова к своим ученикам, к тем, кого он считал необходимым подготовить для преподавательской деятельности в Казанском университете, характерны два эпизода, до сих пор остававшиеся неизвестными. Среди первых учеников Бутлерова по Казанскому университету, кроме В. В. Марковникова

и умершего во время заграничной командировки М. М. Мясникова, были братья Константин и Александр Зайцевы. Первый из них был командирован за границу за счет университета, а второй отправился за свой счет, чтобы усовершенствоваться в немецких и французских лабораториях. Обоих привлекла в первую очередь лаборатория профессора Г. Кольбе в Марбургском университете. Кольбе был отличным экспериментатором, автором многих выдающихся открытий в области органической химии. Он прекрасно поставил у себя преподавание, особенно аналитической химии, но придерживался теоретических представлений, которые противоречили теории химического строения. Братья Зайцевы, работая в лаборатории Кольбе, прониклись его теоретическими взглядами, и А. М. Зайцев, впоследствии известный химик-органик, член-корреспондент Академии наук, немало способствовал развитию и укреплению теории Бутлерова, прислал в 1864 г. из Марбурга кандидатскую диссертацию, в которой подробно излагалась теоретическая система Кольбе. Бутлеров сурово разобрал эту диссертацию и в заключение написал: «Плохой перевод с немецкого». Через год А. М. Зайцев представил другую работу, уже экспериментальной плана, за которую и получил степень кандидата. История с первой кандидатской диссертацией А. М. Зайцева оставалась неизвестной и его биографам<sup>15</sup>.

В марте 1862 г. в Совете Казанского университета встал вопрос о продлении К. М. Зайцеву заграничной командировки еще на год. Бутлеров, «мнение которого об этом деле пожелали знать большинство членов Совета университета, изъяснил», что он считает целесообразным продолжение командировки, причем отнесся вполне самокритично к своим собственным возможностям. «Известно, что научиться и даже учиться аналитической химии без занятий практических почти невозможно, а для этого необходим руководитель, которого деятельность именно сосредоточивалась бы на анализах. Одно лицо и притом такое, которое, как я например, не избрало аналитической химии своей специальностью, может только читать лекции этого отдела, сопровождая их опытами, и таким образом подготовить слушателей к аналитическим занятиям;

<sup>14</sup> Бутлеров А. М. Соч., т. 1. М., 1953, с. 133.

<sup>15</sup> См.: Быков в Г. В. Материалы к биографии А. М. Зайцева.— Вопросы истор. естеств. и техн. 1978, вып. 60.

научить же анализу у него нет ни времени, ни возможности. Только с определением особого преподавателя аналитическая химия пойдет в нашем Университете так, как должна идти она»<sup>16</sup>.

#### ПЕРЕХОД В ПЕТЕРБУРГСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

После отставки с поста выборного ректора Казанского университета (приказ по Министерству от 25 июня 1863 г.), А. М. Бутлеров, тяготясь обстановкой, которая сложилась в университете, предпринимал попытки уехать из Казани. Как видно из писем к нему А. П. Бородина из Петербурга и особенно М. Я. Киттары из Москвы<sup>17</sup>, желаемый переход на новое место осуществить не так-то было легко. К тому же Киттара настоятельно советовал своему бывшему товарищу не покидать Казанский университет. Однако в 1864 г. благодаря хлопотам профессора физиологии Ф. В. Овсянникова, переехавшего в Петербург из Казани после избрания в Академию наук, снова поднялся вопрос о переходе Бутлерова в Петербургский университет. Его блестящее имя не очень прельщало, видимо из-за боязни конкуренции, других профессоров химии Петербургского университета. Ему предлагали сначала явно неприемлемые условия, но даже и после того, как 11 мая 1868 г. он был избран Советом Петербургского университета ординарным профессором по кафедре чистой химии, А. М. Бутлеров не сразу прислал требуемое от него письменное согласие. Между тем существует мнение, что он еще до своего избрания дал согласие на переход из Казани. Об обстоятельствах, связанных с переходом в Петербургский университет, наиболее полное представление дают многочисленные письма Овсянникова к Бутлерову, впервые опубликованные в 1963 г.<sup>18</sup>

#### ЛИТЕРАТУРНЫЙ ПОРТРЕТ А. М. БУТЛЕРОВА НАЧАЛА 1870-Х ГОДОВ

В письме от 5 марта 1877 г. Марковников спрашивал Бутлерова: «Видели ли

Вы свой портрет в «Лихих болестях» Боборыкина?»<sup>19</sup>. В этом довольно слабом романе, не вошедшем в собрание сочинений писателя, Бутлеров с присущей Боборыкину портретной точностью выведен под именем Василия Ивановича Дурнашова. В романе два главных действующих лица: Михаил Петрович, окончивший когда-то университет со степенью кандидата, но никак не умеющий воспользоваться своими знаниями и поэтому мучимый всякими «проклятыми вопросами» и самоупреками, и его любящая жена, Ида Николаевна. Михаил Петрович уехал, Ида Николаевна одна, через час она должна отправиться на лекцию по медицине, а сейчас сидит за пианино.

«Поле (горничной.— Г. Б.) было приказано не принимать никого, говорить, что Ида Николаевна не совсем здорова. [...] И, как нарочно,— звонок, да такой энергичный, что Ида Николаевна, остановившись, подумала: не вернулся ли это Михаил Петрович? [...] В передней вышел разговор. Голос Поли заглушал мужской говор: звонкий, скорый, чуть-чуть точно простуженным голосом.

— Вы доложите... я знаю, что в эти часы барыня дома... Скажите, что я привез с собой кое-что...

— «Что такое?» — с молодым любопытством спросила себя Ида Николаевна, все еще не совсем узнавая голос.

— Кто это? — обернулась она кшедшей Поле.

— Они были раз... Дурнашов, кажется, по фамилии... Приказали доложить, что привезли вам кое-что...

— Просите,— скоро решила Ида Николаевна. [...]

Ида Николаевна оправилась и в дверях гостиной, полуосвещенной свечами на пьянино, встретила гостя, рослого и широкого в плечах мужчину, лет сильно за сорок, в темной визитке, с подстриженной русой бородой и огромным лбом, переходящим в лысину. Широкий рот, с синеватыми губами и с таким же синеватым румянцем, и взгляд русских серых глаз давали его облику сразу что-то бойкое, уверенное в себе и в то же время ласковое и наблюдательное. Он, когда вошел и протянул руку Иде Николаевне, сейчас же прищурил глаза и заговорил громко, громче, чем бы нужно было по размерам комнаты!

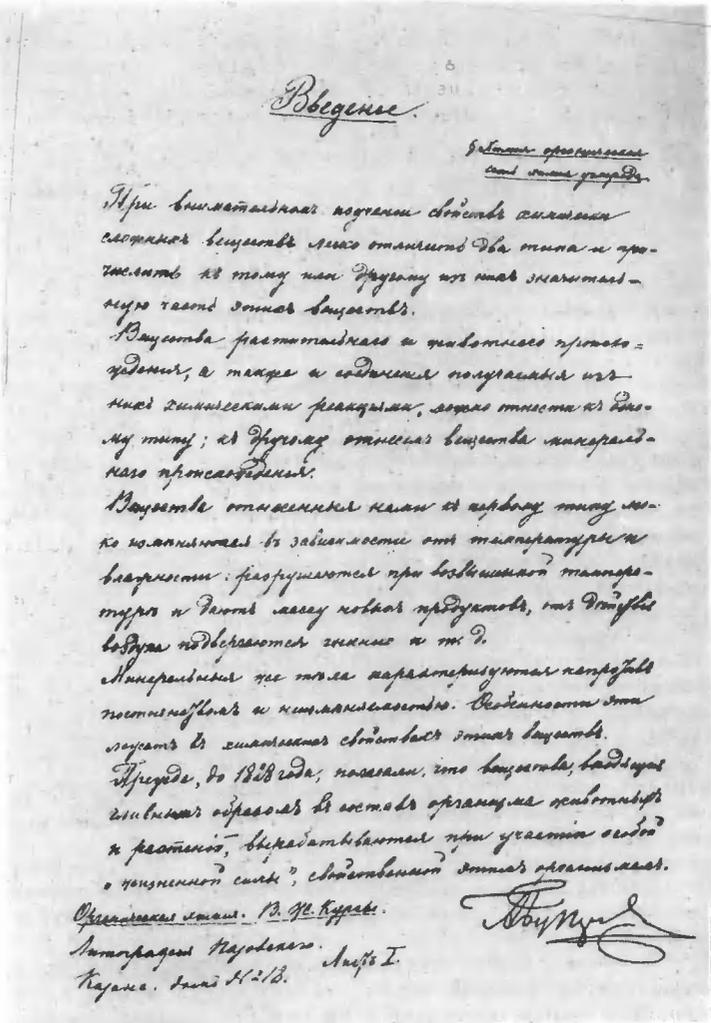
<sup>16</sup> ЦГИАЛ, ф. 733, оп. 141, № 4, л. 283 и об.

<sup>17</sup> Письма русских химиков к А. М. Бутлерову.— В кн.: Научное наследство. Т. 4. М., 1961.

<sup>18</sup> Кузьмин М. К. Академик Ф. В. Овсянников. М., 1963, с. 139—194.

<sup>19</sup> Письма русских химиков к А. М. Бутлерову, с. 279.

Первая страница литографического издания лекций А. М. Бутлерова для Высших женских курсов с его автографом. 1880 г.



— Уж извините, я к вам вломился силой... Мне говорят: «Михаила Петровича нет». — Ну, так что же? Я Иду Николаевну желаю видеть, я ей подарочек привез...

— Подарок? За что это, Василий Иванович?

Она провела его к дивану, а сама села в кресло. Ей приходилось всего в третий раз говорить с ним, но она уже знала, что с ним ей «ужасно легко» и удобно. И мужу она сообщала об этом. Она забыла совсем, что Василий Иванович Дурнашов — профессор, ученый, известный во всей Европе. С ним она ни разу еще не обозвала себя «идiotкой» и нимало не следила за своими словами: как выйдет, так и хорошо.

— Вот он — мой подарочек...

И он вынул из бокового кармана книжку в осьмушку, красиво переплетенную в английский коленкор.

— Что же это? — удивилась Ида Николаевна.

— А вы уже и забыли? Вы меня спрашивали все насчет ухода за комнатными растениями... вот вам и книжка — лучше не отыскал.

Этот подарок тронул ее. Он еще больше развязал ей язык... Они заговорили опять об уходе за цветами. Василий Иванович встал и пошел к тому углу, где стояла ее маленькая коллекция растений. Так просто начал он ей рассказывать и про латании, и про драцены, и про аралии, и про потусы. Все-то он знает, не по-ученому, не с мудреными терминами, а житей-

ски: когда полить, сколько полить, как подрезать, когда переменить землю. А ведь растения — не его специальность: он — знаменитость совсем по другой науке.

Через пять минут оба они перетрогали все растения. Василий Иванович встал даже одним коленом на ковер, чтобы удобнее достать горшок, и долго объяснял, какой именно земли нужно поскорее добыть, иначе растение заглохнет. Незаметно, все еще около цветочного угла, беседа их перешла к лесу, к полевым цветам, к уходу за пчелами, и Василий Иванович совсем ее погрузил в жизнь пчелинца... Точно он весь свой век высидел на пасеке.

Из столовой показалась Мося (собачка Иды Николаевны. — Г. Б.). Только что Василий Иванович завидел ее, как выдернул из кармана платок, сделал из него зайчика и стал, крадучись, подходить к ней, пугая ее кончиком белого платка. Мосевна начала фыркать и пятиться назад, но обнюхав «зайчика», переполнилась радости и без всяких preliminарий пустилась стремглав по комнатам. Василий Иванович и Ида Николаевна враз захохотали, глядя на беготню моськи. Перед гостем она особенно старалась.

И вдруг смех замер в груди Иды Николаевны. Ее удержала мысль: когда же она переговорит с Василием Ивановичем на самую дорогую тему, на тему о Михаиле Петровиче? [...]

— На вас мне просто завидно смотреть, Василий Иванович, — заговорила она другим тоном.

— Что так? — по-приятельски откликнулся он и начал играть часовой цепочкой, а потом прищурился на нее.

— Вы, я думаю, ужасно много работали в вашей жизни, да и теперь продолжаете то же; а в вас столько еще молодости и веры в свои силы... не правда ли?

— Да чего же смущаться-то?

— Не все таковы... Научите вы моего мужа, — голос ее мгновенно дрогнул, — брать жизнь, как она есть, не тревожиться, не падать духом и не глотать себя. [...]

— Муж ваш — большой идеалист, — подхватил Василий Иванович, — я за это его люблю. Мы с ним ведь давнишние приятели... он у меня начал работать... Не захотел чистой науки, набросился на многое другое... Вот равновесие и потерял немножко...

Широко улыбнулся Василий Ива-

нович и тоном добродушного доктора добавил:

— Поуспокойтесь... на родной-то почве! ...Петербург хоть кого переделает... Слишком он — европеец... а с его нервами совсем бы и не следовало бы ему жить здесь: вот как я рассуждаю.

— Ах, что вы! — испуганно перебила Ида Николаевна и даже встала. — Не говорите вы ему... Он за границей ужасно тоскует... У него нет там никакого дела... Он и здесь-то не может его найти.

— Ну уж это — недуг неисправимый... Все русские им страдают...

Василий Иванович рассмеялся, и впервые смех его болезненно отдался в сердце Иды Николаевны. Она жаждала разговора о муже; она ждала чего-нибудь такого, за что можно бы было схватиться, как за хороший рецепт, как за целую систему. И ничего не получила. [...]

Гость взялся за шляпу. Ей стало его жаль, но она не скрыла от него, что и ей пора на лекцию, призналась и на какую.

— Вот как! — вскричал Василий Иванович и даже подался всем корпусом назад. [...]

— Ну, а на всякий случай захватили бы пузырек со спиртом: пожалуй, что-нибудь и не очень свежее принесут на доске. [...] Присылайте мужа ко мне обедать, авось его хандру разгоним!

Эти последние слова Василия Ивановича опять заставили Иду Николаевну затаманиться. Да, легко ей очень с Дурнашовым; она хотела бы у него учиться всему; в нем ей всего приятнее живое чувство природы, вот такое точно, какое наполняет ее, когда она попадает в поле, в лес, в горы, на берег озера. Она знала, что всегда у них выйдет простой, веселый и полезный для нее разговор. Но отчего же он не понимает ее тайного горя?<sup>20</sup>

Вероятно, на этот вопрос можно было бы ответить так: Дурнашов — Бутлеров был настолько деятельной натурой, с настолько здоровой психикой, что он просто органически не мог понять нытиков, «самоедов», неспособных найти себе дело в жизни — людей, подобных мужу Иды Николаевны.

Михаил Петрович кончает жизнь самоубийством. Ида Николаевна переехала на другую квартиру, становится больничной сиделкой. Один раз зимой «на

<sup>20</sup> Боборыкин П. Д. Лихие болести. — «Отечественные записки», 1876, № 10, с. 360—364.



самоубийства?... Идеализм какой-то... неприличный... извините меня...»<sup>21</sup>.

В дальнейшем разговоре с Дурнашовым — Бутлеровым Ида Николаевна рассказывает, почему и как она стала больничной сиделкой, а собеседник хвалит ее: «Молодец... Таких нам нужно...».

Роман Боборыкина позволяет нам увидеть живые черты внешнего портрета Бутлерова и позволяет даже заключить, что он еще в те годы был серьезно болен. Другими словами, но о том же говорит Боборыкин и в своих воспоминаниях: «Я нашел его, разумеется не таким молодым, каким он был в Казани, но еще очень молодежлив, бодр, всегда оживленным, с тем же звучным голосом и ясной дикцией, с той же манерой говорить... Он был близорук и у него сложилась давнишняя привычка щурить глаза... Он давно уже жаловался на сердечные припадки, и в его лицезом облике можно было различить симптомы неправильной кровеносной системы»<sup>22</sup>.

Именно каким-то сердечно-сосудистым заболеванием (скорее всего стенокардией — «жабой», по словам Дурнашова) надо, по-видимому, объяснить, что в 1875 г. Бутлеров по истечении 25-летнего срока службы намеревался, как это можно усмотреть из его переписки, оставить университет, а в 1880 г., лишь уступив настойчивым просьбам своих учеников и коллег, остался еще на пять лет.

Мы не можем не преклониться перед самоотверженностью великого русского химика, если вспомним, что, несмотря на болезнь, кроме университета он читал лекции на Высших женских курсах, вел ожесточенную борьбу внутри Академии наук с группой академиков, которым были чужды интересы русской науки (например, случай с забаллотированием Д. И. Менделеева), руководил отделом пчеловодства в Вольном экономическом обществе, что также не доставляло одни радости... Глубокое понимание своего долга как ученого, бескомпромиссное отстаивание того, что считал правильным, высокие моральные требования к себе и другим — все то, что объединяется понятием «категорический императив», было органически присуще натуре Александра Михайловича Бутлерова. И в этом отношении он является образцом.

<sup>21</sup> Там же, № 11, с. 84—86.

<sup>22</sup> Б о б о р ы к и н П. Д. Жестокая утрата. Памяти А. М. Бутлерова. — «Новости и биржевая газета», 1886, 20 авг.

Очередные номера «Природы» можно приобретать по предварительным заказам, оставив заказ лично до 5 числа за два месяца до выхода журнала (например, заказ на № 12 до 5 октября) в магазинах «Академкнига»:

№ 1 — Москва, 103009, Центр, ул. Горького, 8, тел. 229-11-78;

№ 2 — Москва, 117312, ул. Вавилова, 55/7, тел. 135-63-49.

Наложенным платежом журнал высылается при заказе по адресу: 103012, Москва, К-12, Центр, Большой Черкасский пер., д. 2/10, тел. 221-57-26. Центральная контора «Академкнига».

Не забудьте оформить подписку на журнал «Природа» на 1979 год.

Подписка принимается (в установленные Министерством связи СССР сроки) в пунктах приема подписки «Союзпечати», отделениях связи, городских и районных узлах связи.

Подписная цена на 1 год — 6 руб.

## Глубинная сейсмичность континентов

Л. П. Винник



Лев Павлович Винник, доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Занимается вопросами глубинного строения Земли. Автор монографий: Структура микросейсм и группирование в сейсмологии. М., 1968; Исследования мантии Земли сейсмическими методами. М., 1976.

### ГЛУБОКИЕ ЗЕМЛЕТРЯСЕНИЯ

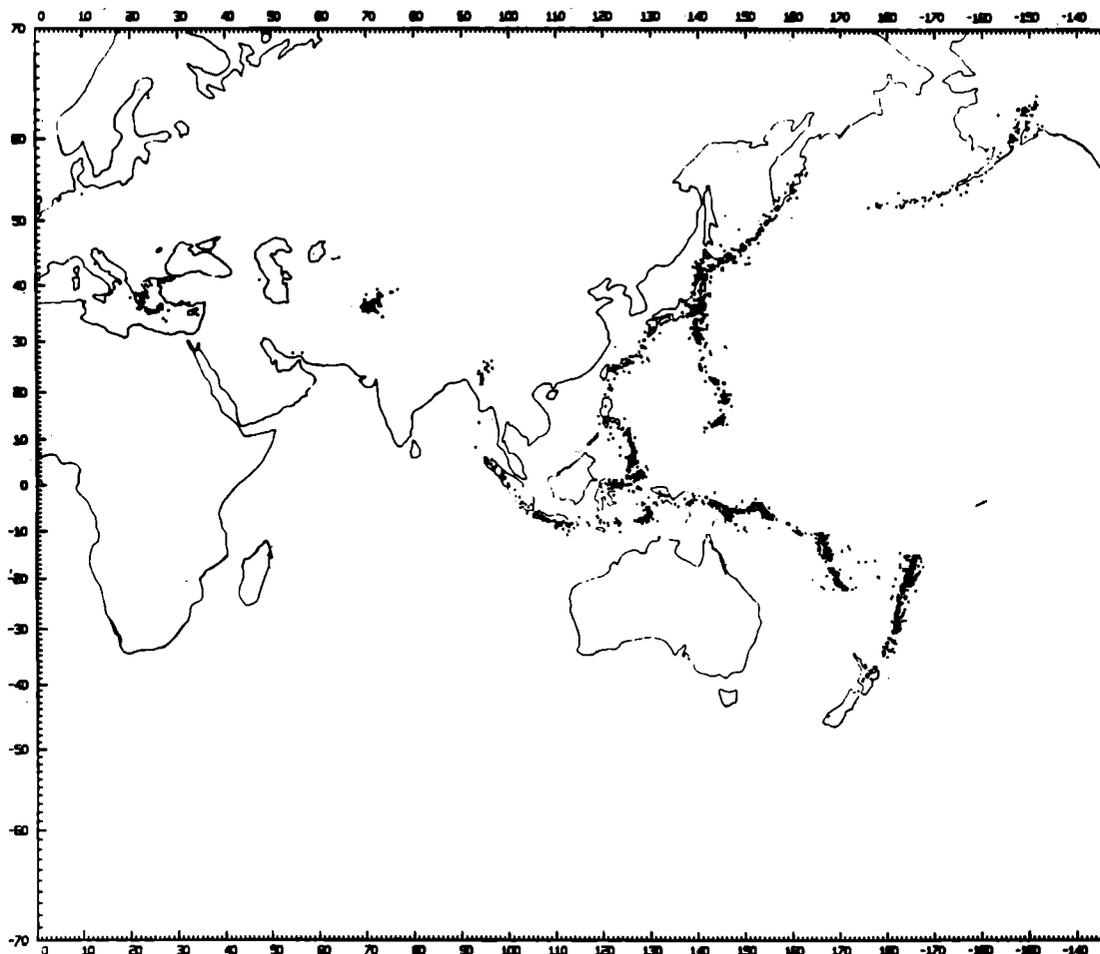
Источники большинства землетрясений расположены на глубине не более двух — трех десятков километров от поверхности. Но имеются на нашей планете и такие зоны, где источники землетрясений находятся на глубинах порядка нескольких сотен километров. Это в основном окраины Тихого океана и горные сооружения Альпийско-Гималайского пояса. Глубокие землетрясения можно считать единственным непосредственным проявлением динамических процессов, происходящих в глубочайших недрах нашей планеты, именно потому интерес геофизиков к ним очень велик.

Напомним, что верхнюю оболочку Земли разделяют на литосферу и астеносферу. Литосфера — это прочный поверхностный слой мощностью около 100 км. Ниже литосферы находится слой пониженной вязкости — астеносфера, образование которой связано с повышением температуры и плавлением некоторой части породообразующих минералов. Землетрясения в астеносфере невозможны, так как здесь не могут накопиться необходимые для них упругие напряжения. Однако астеносфера располагается как раз на тех глубинах, что и зоны глубоких землетрясе-

ний, — 150—200 км и ниже. Каким же образом объяснить это противоречие?

Возможное объяснение происхождения глубоких землетрясений предлагает теория тектоники плит. Литосферные плиты дрейфуют по земному шару. При этом плиты плотной океанической литосферы могут погружаться в мантию. Глубокие землетрясения на окраинах Тихого океана происходят из-за высвобождения напряжений в погружающихся литосферных плитах. Погружение плиты сопровождается также нагревом астеносферы, магматизмом и образованием вулканической гряды.

Кроме глубинных сейсмических зон океанических окраин существуют континентальные зоны глубоких землетрясений в Карпатах (так называемая Вранчская фокальная зона), в районе Памиро-Гиндукуша, в Бирме. Полагают, что Альпийско-Гималайский пояс, в котором находятся континентальные зоны глубоких землетрясений, образовался в результате столкновения континентов при дрейфе литосферных плит. Несколько десятков миллионов лет назад на месте современных горных сооружений находился океан, поверхность которого быстро сокращалась из-за погружения в мантию подстилавшей его литосферы и сближения континентов. Происхождение глубоких континенталь-



Эпицентры землетрясений глубиной 100—200 км  
(по данным 1961—1967 гг.)

ных сейсмических зон связывают с тем, что перед столкновением континентов остатки океанической литосферы затонули в мантии. Что касается возможности погружения в мантию континентальной литосферы, то такой процесс считают маловероятным из-за пониженной плотности континентальной литосферы, обеспечивающей ее «непотопляемость».

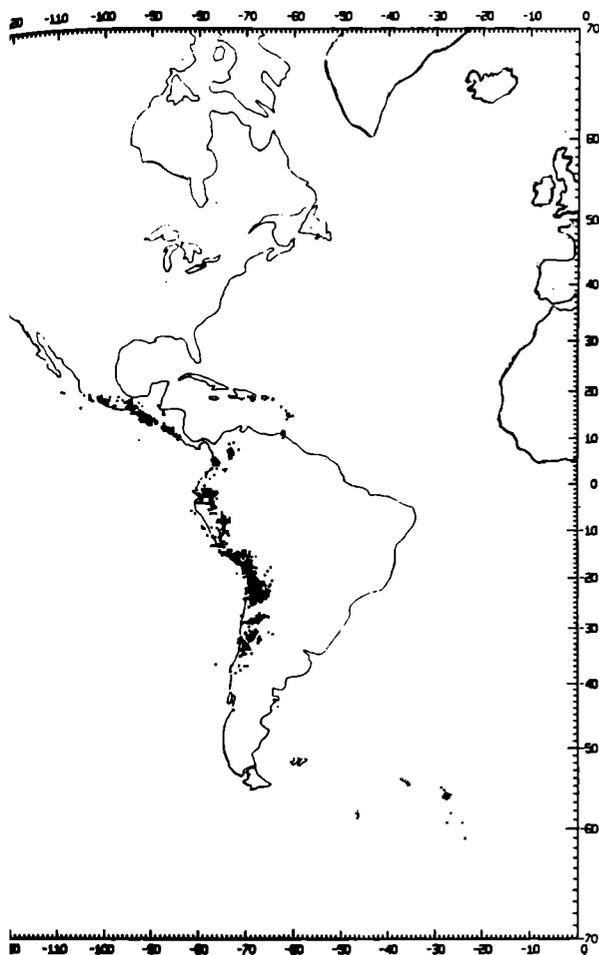
В последние годы глубинную структуру Памиро-Гиндукушской зоны интенсивно изучали советские сейсмологи. Одним из результатов этой работы является новая гипотеза о природе глубоких землетрясений этого района<sup>1</sup>.

## ПРИРОДА СЕЙСМИЧНОСТИ ПАМИРО-ГИНДУКУША

Памир и Гиндукуш — сложный тектонический узел, расположенный в месте резкого изгиба Альпийско-Гималайского пояса. Здесь северо-западное направление горных хребтов меняется на северо-восточное — хребты как бы обтекают Индийский субконтинент. Сильные глубокие землетрясения на протяжении многих десятилетий сосредоточены в небольшом (около 100 км в поперечнике) районе с центром, координаты которого 36,5° с. ш. и 71° в. д.

Этот участок напоминает столб, от-

<sup>1</sup> Vinnik L. P., Lukk A. A. and Nersisov I. L. Nature of the intermediate seismic zone in the mantle of Pamirs—Hindu—Kush. — «Tectonophysics», 1977, v. 38, № 3/4.



весные стенки которого уходят на глубину 250—280 км. Землетрясения отмечаются по всей глубине зоны, начиная с нескольких десятков километров, но самые сильные обычно происходят в ее нижней трети.

Более слабые и редкие землетрясения происходят на территории, образующей в плане изогнутую полосу протяженностью в несколько сотен километров. К западу от 71-го меридиана полоса имеет широтное простираение, к востоку — приблизительно северо-восточное.

К числу последних достижений в изучении глубинной сейсмической зоны принадлежит анализ изменений скорости распространения упругих волн по горизонтали. Это исследование выполнено методом сейсмического «просвечивания» мантии.

Этим способом в верхней мантии

Памира и Гиндукуша оконтурено крупное тело, в котором продольные волны распространяются значительно быстрее, чем в окружающей среде. Наиболее активная часть глубинной сейсмической зоны составляет часть этого тела. В плане высокоскоростной блок мантии примерно соответствует выходам на поверхность Земли древнейших пород возрастом около 2 млрд лет.

Еще в 1965 г. А. А. Лукк построил скоростной разрез мантии Памиро-Гиндукуша по глубине, в котором скорость распространения продольных волн на глубине 100—200 км составляет около 8,6 км/с. Близкие оценки для этого района получила группа индийских сейсмологов. В 1971 г. советские математики (А. С. Алексеев и др.) построили скоростной разрез мантии Центральной Азии, в котором для района Памира даются значения 7,9—8,0 км/с на глубине 100—200 км. Эти значения примерно на 0,5 км/с ниже, чем в двух первых разрезах, и различие выходит далеко за пределы возможных ошибок измерений. Противоречивый характер оценок скорости, ранее не находивший рационального объяснения, теперь становится понятен: большие значения скорости относятся только к блоку, в котором происходят глубокие землетрясения. Различие скоростей распространения продольных волн в высокоскоростном блоке и во вмещающих породах составляет 0,4—0,5 км/с и прослеживается до глубины 300 км.

Эффективным средством диагностики состояния глубоких недр служит анализ поглощения упругих волн. Слабое их поглощение характерно для «холодной» верхней мантии, сильное поглощение является безошибочным признаком частичного плавления вещества. Сильное поглощение упругих волн всегда отмечается в районах, где на поверхности Земли имеются действующие вулканы; наблюдается оно и там, где вулканы потухли 10—20 млн лет назад или какие-то причины не позволили магме излиться на поверхность. Районирование Центральной Азии по степени поглощения продольных волн показало сильное их поглощение под Тибетом и частью Тянь-Шаня, слабое поглощение — под Таримским массивом и Памиром. Проведенные недавно более детальные исследования на Памире подтвердили факт слабого поглощения в верхней мантии этой области.

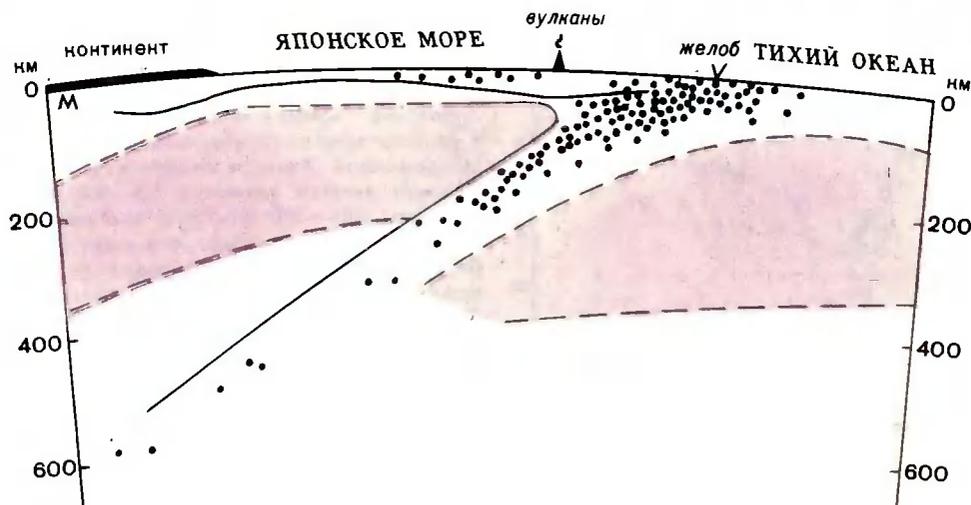
Важную характеристику недр дают и измерения силы тяжести. Большие массивы горных пород стремятся к состоянию гидростатического равновесия, при кото-

ром избыток масс на поверхности Земли, например в виде горного хребта, уравнивается недостатком массы на глубине. Но в недрах Памира и Гиндукуша обнаружен такой большой недостаток массы, что для достижения равновесия Гиндукуш должен подняться еще на 860 м.

Мы уже упоминали о гипотезе, связывающей происхождение сейсмических зон, подобных Памиро-Гиндукушской, с остатками затонувшей в мантии океанической литосферы. Посмотрим теперь, в какой степени такое объяснение согласуется

ские проявления стерты последовавшими процессами. Однако это предположение трудно согласовать с фактом слабого затухания сейсмических волн, о котором мы уже говорили. Вследствие огромной инерции тепловых процессов участок мантии, нагретый 10—20 млн лет назад, и сейчас выделялся бы сильным поглощением упругих волн.

Глубокие землетрясения Гиндукуша происходят в высокоскоростном блоке мантии, который можно пытаться отождествить с плитой погруженной океаниче-



Схематический разрез через западную окраину Тихого океана (по Т. Утсу). М — поверхность Мохоровичича.

-  сильное поглощение и низкая скорость распространения сейсмических волн
-  слабое поглощение и высокая скорость распространения сейсмических волн

с имеющимся в нашем распоряжении конкретным геолого-геофизическим материалом.

Если эта гипотеза верна, то на территории Памира и Гиндукуша в недалеком прошлом существовал весь комплекс явлений, наблюдаемых сейчас по окраинам Тихого океана, включая, конечно, и вулканизм. Между тем в этом районе практически отсутствуют следы недавно потухших вулканов. Правда, можно думать, что магма, накопившаяся в мантии, не смогла подняться на поверхность или что вулканиче-

ской литосферы. Однако размеры блока (толщина 250 км, ширина 250 км) не позволяют считать его осколком затонувшей океанической литосферы, так как мощность океанической литосферы по всем оценкам не превышает 100 км.

Примечательная особенность высокоскоростного блока, к которому принадлежит сейсмическая зона, — его совпадение в плане с областью выхода на поверхность Земли докембрийских пород. Объяснить этот факт с помощью гипотезы погруженной океанической литосферы довольно трудно.

Еще одну загадку представляет гравитационное поле. Мы уже упоминали о том, что недра Гиндукуша характеризуются недостатком массы по сравнению с той, которая требуется для гидростатического равновесия. Эта особенность разительным образом отличает обсуждаемый район от типичных альпийских горных сооружений и островных дуг, для которых характерен избыток масс. Согласно поло-

жениям тектоники плит, избыток возникает за счет пододвинутой литосферы и больших сжимающих напряжений, мешающих восстановлению равновесия. Но так как под Гиндукушем наблюдается недостаток массы, маловероятно, что под ним располагается большой блок пододвинутой литосферы.

Добавим к этим трудным вопросам некоторые другие. Чем объяснить вертикальное положение фокальной зоны в разрезе, тогда как у островных дуг угол наклона этой зоны, как правило, составляет около  $45^\circ$ ? Почему после 20 млн лет со времени закрытия океана океаническая литосфера все еще находится под земной корой, а не в более глубоких горизонтах мантии, куда она должна была за это время затонуть?

На все эти вопросы легче ответить, если предположить, что глубокие землетрясения Памятиро-Гиндукуша происходят не в океанической литосфере, а в блоке мантии, который можно не совсем строго назвать нижней литосферой древней платформы, а точнее древнего щита.

Древними платформами в тектонике называют участки континентов, где фундамент консолидировался 1—2 млрд лет назад, щитами — участки древних платформ, на которых фундамент выходит на поверхность. В последние годы при сейсмических исследованиях верхней мантии древних платформ в них обнаружена в среднем значительно более высокая скорость распространения упругих волн, чем в областях, где активная тектоническая деятельность прекратилась позднее или продолжается в настоящее время. При этом разрез высокоскоростного блока Гиндукуша можно сравнить, например, с разрезом верхней мантии Русской платформы, где скорость распространения продольных волн достигает значений 8,6 км/с на глубине около 150 км, т. е. примерно там же, что и под Гиндукушем. Геологи, изучавшие на юге Памира породы, выходы которых соответствуют высокоскоростному блоку, характеризуют их как жесткий, консолидированный докембрийский массив. Таким образом, геологические данные, относящиеся к поверхностному слою, и результат глубинного сейсмического исследования находят в новой гипотезе гармоничное объяснение.

Непосредственной причиной глубинной сейсмичности Памятиро-Гиндукуша служат тектонические напряжения, связанные, как показывает анализ механизма очагов землетрясений, со сжатием в горизон-

тальном субмеридиональном направлении. Можно предположить, что это давление оказывает Индийский щит, крайний северный выступ которого, судя по карте, находится примерно на той же долготе, что и центральная часть сейсмической зоны. Некоторые идеи для объяснения конфигурации зоны в плане можно почерпнуть из опытов по деформированию образцов с помощью жесткого штампа. При этом максимальные скальвающие напряжения в образце направлены по двум семействам кривых линий, перпендикулярных друг к другу в каждой точке; вдоль этих линий образуются трещины скольжения, напоминающие геологические разломы. Похоже, что ориентированные по-разному, восточная и западная части сейсмической зоны соответствуют двум линиям такого типа. Высокоскоростное тело окружено более низкоскоростной и относительно «мягкой» мантией, что способствует концентрации напряжений в его восточной, наиболее узкой части.

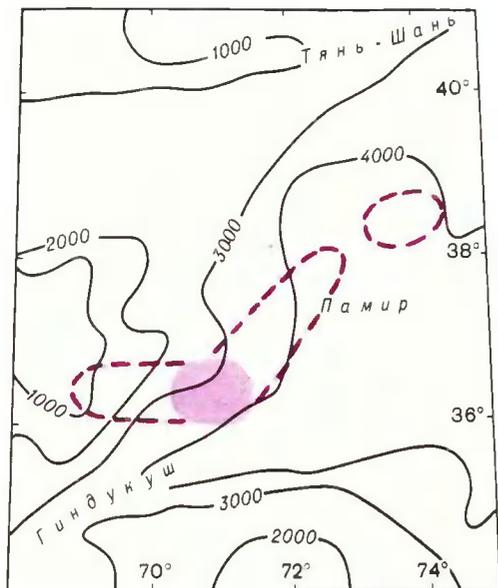
Высокоскоростной блок мантии Памятиро-Гиндукуша ведет себя как жесткое тело: об этом свидетельствуют большие значения напряжений, сбрасываемых при землетрясениях. Так как очаги землетрясений распределены практически без перерывов от подошвы коры до глубины 250 км, то это может означать отсутствие здесь астеносферы, если иметь в виду обычное значение этого термина. Этот вывод покажется парадоксальным, так как существование астеносферы было впервые установлено как раз на древних щитах Северного полушария по их быстрому всплыванию после таяния ледников. Выход из этого парадокса может быть двоякий: либо астеносфера под Гиндукушем находится на обычной глубине (100—150 км), но напряжения накапливаются в ней гораздо быстрее, чем рассасываются, либо астеносфера находится на глубине, превышающей 250 км.

Тут мы подходим к остро дискуссионному вопросу — насколько далеко вниз от поверхности Земли уходят корни крупных геоструктур, таких, как древние континентальные массивы и океаны. Лет 15 тому назад этот вопрос казался выясненным раз и навсегда. Средний тепловой поток из недр Земли оказался одинаковым на континентах и океанах, несмотря на то что кора континентов несравненно богаче радиоактивными элементами — источниками тепла. Предполагалось, что кора континентов вылавлилась из подстилавшей ее мантии, отбирая у мантии радиоактивные элементы; поэтому континентальная мантия бед-

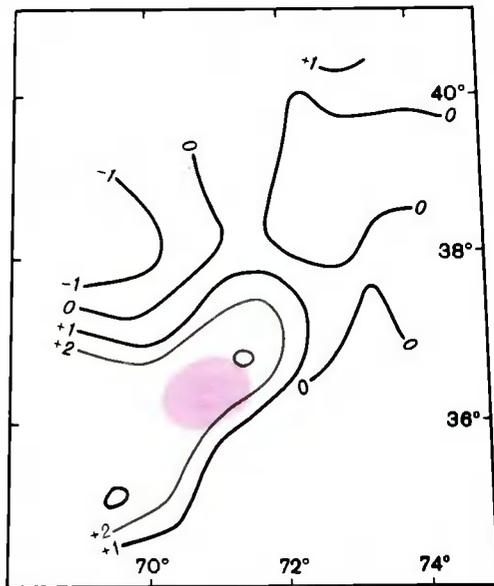
нее океанической источниками тепла, а тепловой поток на континентах и океанах в среднем одинаков. Из этих рассуждений следовало, что химический состав, а следовательно, и физические параметры мантии различных геоструктур разнятся до глубин, исчисляемых несколькими сотнями километров. Такая точка зрения хорошо увязывалась со взглядами многих геологов, изучавших эволюцию континентальной коры. Позднее эти представления вышли из моды под давлением теории тектоники плит, предполагавшей, что литосферные плиты

Почвой для таких представлений служат главным образом некоторые данные измерений скорости распространения сейсмических волн в мантии океанов и континентов. Следует заметить, что эти сейсмические эффекты, как правило, не выходят за пределы ошибок измерений, а связанная с ними аргументация носит сугубо умозрительный характер.

Новая интерпретация глубинной структуры Средней Азии, о которой мы рассказали, означает, что если докембрийский массив Гиндукуша дрейфовал на по-



Рельеф Памиро-Гиндукуша (показан изогниями) и зона глубинной сейсмичности в плане.



Горизонтальные продольные неоднородности распространения сейсмических волн в верхней мантии Памиро-Гиндукуша (по Л. П. Виннику, А. А. Лукку и М. Мирзокурбанову).

-  зона наиболее высокой сейсмичности
-  зона глубоких землетрясений

-  отклонение от средней скорости распространения сейсмических волн в процентах
-  часть зоны с наиболее высокой сейсмичностью

мощностью не более 150 км дрейфуют по земному шару и что глубже 150—200 км свойства мантии уже не коррелируются со свойствами вышележащей оболочки.

В последнее время, однако, намечается возврат к старым представлениям в новом облике: некоторые исследователи теперь предполагают, что вместе с континентальной корой дрейфует и подстилающий ее слой мантии мощностью в несколько сотен (400—600) километров.

верхности Земли, то вместе с корой дрейфовал и подстилающий блок мантии мощностью около 250 км. Таким образом, эта интерпретация не только проясняет структуру интересного региона, но и проливает некоторый свет на один из труднейших вопросов геодинамики.

#### ГЛУБИННЫЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ЗОНЫ ЕВРОПЫ И ЮЖНОЙ АМЕРИКИ

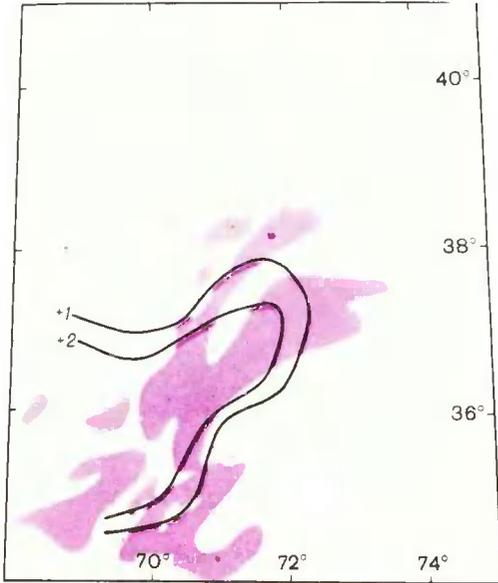
Попытаемся, исходя из этих представлений, рассмотреть сейсмические зоны

Европы и Южной Америки. К сожалению, в этих районах не хватает детальных сейсмических данных о структуре верхней мантии, очень важных для выработки объективного суждения по интересующему нас вопросу. Поэтому и наш рассказ будет весьма неполным.

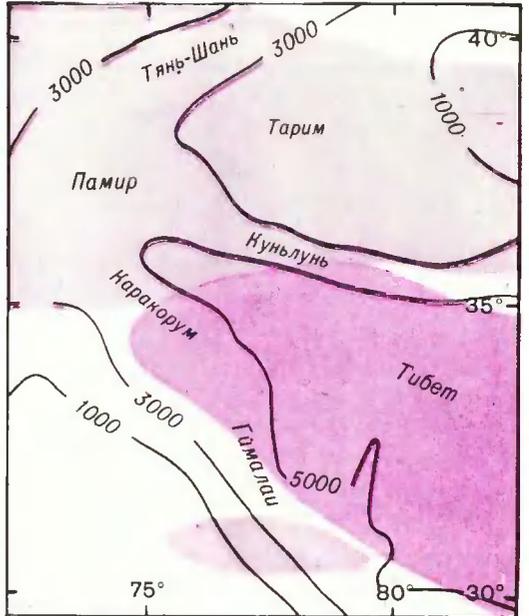
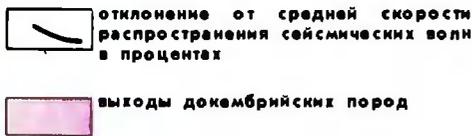
На территории Европы глубокие землетрясения известны в Эгейском и Тирренском морях и в Карпатах. Кроме того, чрезвычайно редко (2 раза за последние несколько десятилетий) и на большой глубине такие землетрясения происходят

и островные дуги Тихого океана; это сходство позволяет многим исследователям объяснить сходным образом и природу глубинных сейсмических зон.

Зона землетрясений в Тирренском море погружается от Калабрии и Сицилии в северо-западном направлении до глубины несколько более 300 км; над районом, где сейсмическая зона погружена на 200 км, на поверхности находится вулканическая островная дуга. Землетрясения Эгейского моря происходят в сейсмической зоне, которая погружается от п-ова



Относительное расположение высокоскоростного тела в верхней мантии и массива докембрийских пород в районе Памиро-Гиндукуша.



Степени поглощения продольных волн в верхней мантии Центральной Азии [по Л. П. Виннику и А. А. Годзиковской].

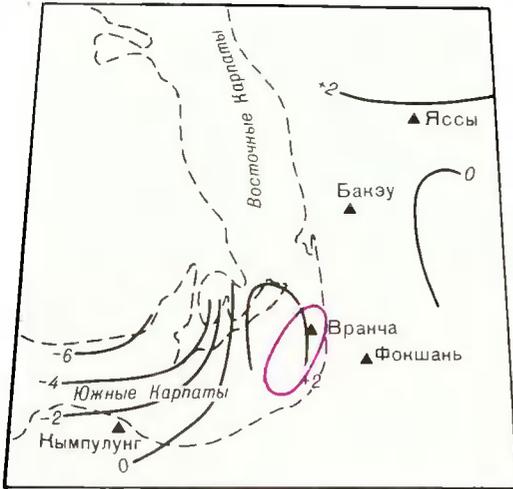


в южной Испании. Геологическая история Средиземного моря, к которому принадлежат Эгейское и Тирренское моря, сложна и разными авторами понимается по-разному. По-видимому, часть этого моря образовалась вследствие преобразования континентальной коры в океаническую и опускания больших участков суши.

По ряду признаков геологическая обстановка в районах Эгейского и Тирренского морей напоминает краевые моря

Пелопоннес, о-вов Крит, Карпатос и Родос в северо-восточном направлении. Непосредственным продолжением этой островной дуги на суше являются Динарские Альпы на Балканах. Обстоятельством, которое побуждает усомниться в том, что причиной образования этих структур служит пододвигание литосферы, является очень маленькая кривизна островных дуг. Несложные геометрические построения показывают, что при погружении сфе-

рической плиты в сферическую Землю под углом  $45^\circ$  линия пересечения плиты с поверхностью Земли образует окружность радиусом около 2500 км; примерно такой же радиус должна иметь связанная с погружающейся плитой островная дуга. Между тем радиус кривизны Калабрийской и Эгейской дуг составляет не более 250 км, в чем легко убедиться, взглянув на географическую карту. Так же мал радиус кривизны Карпатской дуги, которую часто считают аналогом островной дуги на суше.



Скорости распространения продольных волн в верхней мантии в районе Вранчской зоны Карпат.



отклонение от средней скорости распространения сейсмических волн в процентах

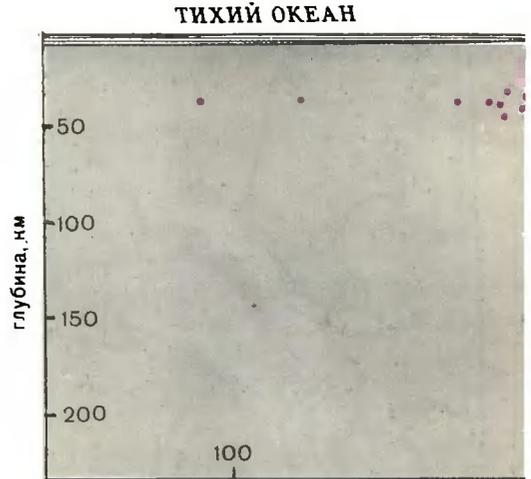


зона глубокой сейсмичности

Карпатскую дугу принято делить на северную (ориентированную вдоль параллели), восточную (субмеридиональную) и южную части. Внутри дуги находятся крупные впадины с многочисленными проявлениями вулканизма, который прекратился около 10 млн лет назад. Глубокие землетрясения происходят на участке, вытянутом в плане с северо-востока на юго-запад, шириной около 30 и длиной около 60 км с центром около  $45, 75^\circ$  с. ш. и  $26,5^\circ$  в. д. в районе Вранча (Румыния). Этот участок точно приурочен к месту резкого изгиба дуги,

разделяющего Южные и Восточные Карпаты. В разрезе сейсмическая зона ориентирована почти вертикально; наибольшая глубина очагов — 160 км. 4 марта 1977 г. во Вранчской зоне на глубине около 120 км произошло сильное землетрясение, вызвавшее разрушения построек и гибель людей.

Анализ скоростной структуры верхней мантии этого района показывает, что сейсмическая зона находится в блоке с высокими скоростями распространения продольных сейсмических волн, параметры



Гипоцентры землетрясений Южной Америки.

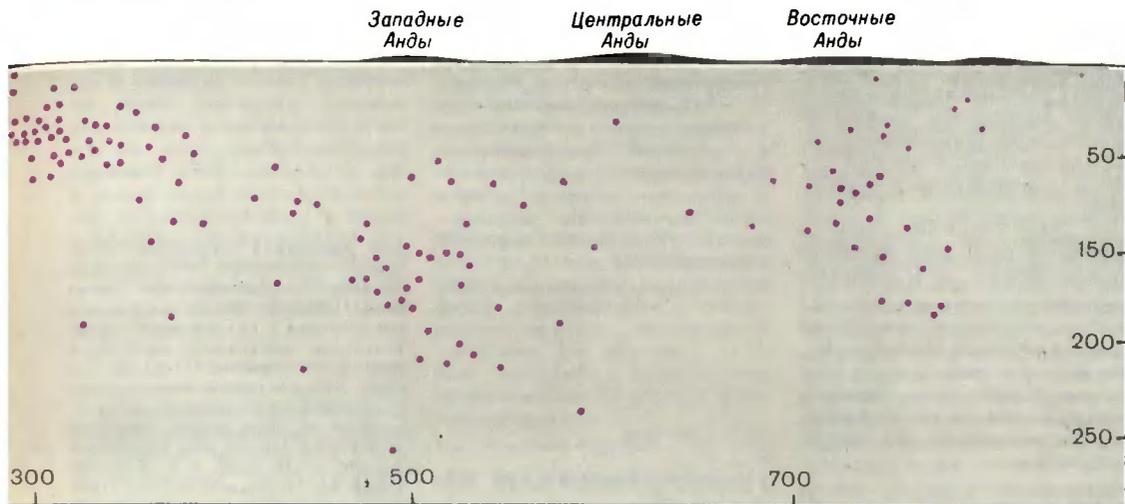
которого близки к параметрам находящейся к северо-востоку древней платформы. Кстати, слабым затуханием упругих волн в платформенной мантии, возможно, объясняется сила, с которой последнее землетрясение ощущалось в Москве и других удаленных от эпицентра районах Русской платформы. Блок мантии Южных Карпат, соседствующий с сейсмичным блоком Восточных Карпат, отличается низкой скоростью распространения упругих волн.

Концентрацией очагов в небольшом объеме и характером их распределения по глубине сейсмическая Вранчская зона напоминает Памиро-Гиндукушскую зону. Возможно, что сходна и их физическая природа: наибольшую глубину землетрясений 160 км можно считать оценкой мощности литосферы платформенного

основания, на котором возникли Восточные Карпаты.

Анализ механизма сейсмических очагов Вранча показывает, что в них действуют две системы горизонтальных сил сжатия: одна ориентирована в юго-западном, другая — в северо-западном направлении. Эти направления приблизительно перпендикулярны простирающимся Восточных и Южных Карпат. Можно предположить, что разрушительная концентрация напряжений во Вранчской зоне определяется угловым положением зоны,

Итак, сейсмичность в различных глубинных зонах, вероятно, может иметь различное происхождение. Судить о ее природе пока что можно лишь на уровне гипотез, но предпочтение должно отдаваться гипотезе, которая объясняет наибольшее число фактов. Поэтому сбор фактических данных для каждой зоны представляет дело первостепенной важности. Вопрос о природе глубоких землетрясений тесно связан с такими фундаментальными проблемами, как свойства вещества земных недр и поведение больших масс этого ве-



при котором взаимодействуют две системы сил, и контактом жесткого блока, в котором накапливаются напряжения, с мягким блоком Южных Карпат.

В заключение этого неполного обзора глубоких сейсмических зон остановим внимание на сейсмичности Южной Америки. Глубокие землетрясения этого района связывают с погружением литосферной плиты, подстилающей Тихий океан, под континент. Гипоцентры южноамериканских землетрясений, если рассматривать их на вертикально-субширотных разрезах мантии, обнаруживают большое рассеяние, выходящее за пределы обычных ошибок определения координат. Кроме очагов, более или менее определенно относящихся к наклонной зоне, уходящей от океана под континент, имеется большая группа не связанных с нею очагов с наибольшей концентрацией под Восточными Андами. Глубина землетрясений Восточных Анд достигает 200 км, и мы предполагаем, что по своему происхождению они схожи с землетрясениями Памиро-Гиндукуша.

щества в условиях высоких давлений и температур. Поэтому решение вопроса о процессах в очаговых зонах глубоких землетрясений зависит от общего роста знаний о недрах нашей планеты; с другой стороны, исследования глубоких землетрясений сами приносят важнейшие сведения об этих процессах. Изучать землетрясения в мантии континентов побуждает не только научная любознательность: они могут представлять опасность для жизни человека, а для того чтобы научиться прогнозировать стихийные бедствия, надо понять их природу.

Физика

## Новый метод диагностики плазмы

Ф. В. Бункин, Ф. В. Калинин и П. П. Пашинин (Физический институт им. П. Н. Лебедева АН СССР) предложили новый метод диагностики плазмы по наблюдению когерентного четырехфотонного рассеяния света на ионно-звуковых колебаниях.

Две световые волны с частотами  $\omega_1$  и  $\omega_2$  и волновыми векторами  $\vec{K}_1$  и  $\vec{K}_2$  в результате взаимодействия с плазмой возбуждают в ней колебания ионов с частотой  $\Omega = \omega_1 - \omega_2$ . Эта частота соответствует звуковым колебаниям, поэтому возбужденная волна называется ионно-звуковой. Ее волновой вектор  $\vec{q} = \vec{K}_1 - \vec{K}_2$ .

(Перестройка разности частот  $\Omega$  и волновых векторов  $\vec{q}$  должна происходить плавно.) Третья волна с частотой  $\omega_3$  и волновым вектором  $\vec{K}_3$  испытывает рассеяние на возбужденной ионно-звуковой волне, в результате в плазме возникает рассеянное излучение с частотой  $\omega_4 = \omega_3 + \Omega$  и волновым вектором  $\vec{K}_4 = \vec{K}_3 + \vec{q}$ . Интенсивность рассеяния максимальна при резонансе, когда  $\Omega = \Omega_{\text{р.з.}} = c_1 q$ , где  $c_1$  — скорость ионно-звуковой волны.

Расчеты показывают, что при выполнении определенных условий можно выбрать такой угол  $\theta$  между направлениями  $\vec{K}_1 - \vec{K}_2$ , что резонансная частота будет находиться в области перестройки разности частот  $\omega_1 - \omega_2 = \Omega$ . Измеряя резонансную частоту, что не требует абсолютных измерений интенсивности рассеянного света, можно непосредственно определить электронную темпера-

туру, а по ширине резонансной линии — величину затухания ионного звука. С помощью абсолютных измерений интенсивности рассеянного света при резонансе, зная интенсивность взаимодействующих в известном объеме пучков, можно определить и концентрацию электронов.

Преимущество предложенного метода по сравнению с обычным некогерентным (томсоновским) рассеянием — в огромном выигрыше в величине сигнала; по расчетам, этот выигрыш может достигать величины  $\sim 10^6$ .

«Квантовая электроника», 1978, т. 5, № 2, с. 468.

Физика

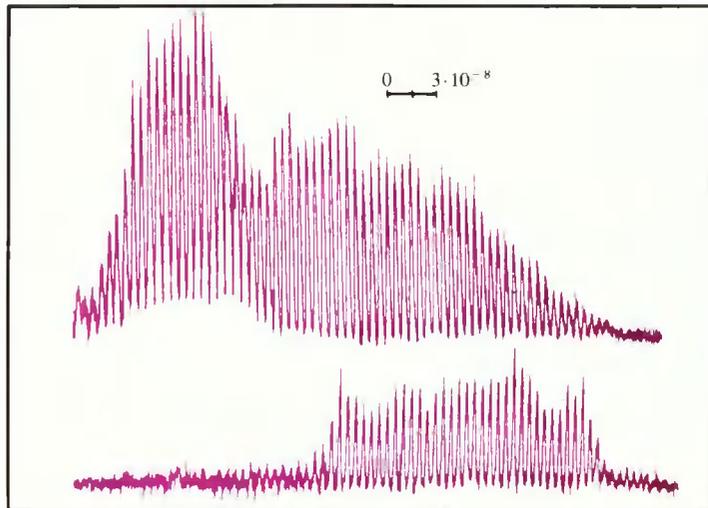
## Перестраиваемые лазеры в физике полупроводников

А. И. Антипов, В. С. Днепровский, В. Н. Чумаш и В. С. Фокин (Московский государственный университет им.

М. В. Ломоносова) исследовали особенности распространения мощных ультракоротких импульсов света в полупроводниковом кристалле  $\text{CdS}_{0.4}\text{Se}_{0.6}$  в условиях резонансного возбуждения экситонов.

Исследование явлений,

цикл импульсов лазерного излучения, падающего на кристалл [вверху] и прошедшего через него [внизу]. Фотоэлектронный регистратор (измеритель длительности импульсов) работал в режиме «медленной» развертки [300 нс]; в этом случае его временное разрешение составляет  $\sim 1$  нс. Как видно, кристалл прозрачен только для импульсов второй части цуга, т. е. с достаточно малой длительностью. Пропускание имеет нелинейный характер: резко меняется при незначительном изменении энергии соседних импульсов, у которых практически сохраняется длительность, и возрастает к концу цуга по мере уменьшения длительности импульсов.



возникающих при резонансном возбуждении экситонов в полупроводниках, позволяет получить новую информацию о кристаллах и найти новые возможности их применения. Одно из таких явлений — самоиндуцированная прозрачность на экситонах — возникает в полупроводниковых кристаллах, когда длительность импульса достаточно мощного когерентного оптического излучения оказывается меньше характерного параметра, называемого временем поперечной релаксации вещества. Импульс света, когерентно возбуждая экситоны в образце, теряет энергию на своем переднем фронте; эта энергия возвращается к нему за счет индуцированного переизлучения среды. В результате такой переначки энергии из светового поля в среду и обратно ультракороткие импульсы света распространяются в полупроводнике без поглощения и с аномально малой скоростью.

Для изучения самоиндуцированной прозрачности необходимо, чтобы спектр лазерного излучения совпадал с линией экситонного поглощения в полупроводнике. Использование твердотельных лазеров с фиксированными длинами волн излучения позволило исследовать это явление лишь для немногих полупроводниковых кристаллов. Применение перестраиваемых источников когерентного оптического излучения существенно расширяет класс исследуемых полупроводников.

В работе использовался лазер на растворе родамина 6Ж с плавной перестройкой длины волны излучения<sup>1</sup>. Излучение представляло собой цуг приблизительно 70 импульсов, длительность которых уменьшалась к концу цуга, составляя во второй его половине не более 30 пс (с точностью до такой величины позволяла работать использовавшийся в эксперименте фотозлектронный регистратор ФЭР-2-1).

Лазерный пучок раздваивался с помощью светоделительной пластинки: одна его часть фокусировалась на исследуемый кристалл, помещенный в криостат с жидким азотом (температура  $\sim 77$  К), и затем попадала на входную щель регистратора; другая направлялась на второй участок щели, минуя кристалл (с компенсацией разности оптического пути). При перестройке длины волны лазера в области 5780 Å наблюдалось аномальное пропускание излучения: через кристалл проходили импульсы только второй половины цуга (с минимальной длительностью). Измерения показали, что скорость их распространения в кристалле составила  $\sim 5 \cdot 10^8$  см/с, т. е. порядка 1% от скорости света в вакууме.

По мнению авторов, наблюдаемый эффект обусловлен в основном самоиндуцированной прозрачностью на экситонах. Эксперимент показал перспективность примененной методики для изучения явлений, связанных с резонансным возбуждением экситонов в полупроводниках.

«Applied Physics», 1978, v. 15, p. 423 (ФРГ).

Физика

## Поиски свободных кварков продолжаются

После сообщения Г. Ляру, В. Фербэнка и А. Хебарда об обнаружении дробных электрических зарядов<sup>1</sup> поиск свободных кварков был возобновлен в ряде лабораторий мира. Напомним, что в опытах Фербэнка с сотрудниками для двух из трех ниобиевых шариков, прогретых перед экспериментом на вольфрамовой подложке, экспериментаторы получили, обрабатывая

данные измерений, дробные значения заряда, в то время как на пяти шариках, прогретых на ниобиевой подложке, дробных значений зарядов не получалось. Предлагалось интерпретировать эти результаты как обнаружение свободных кварков. Хотя сведений, содержащихся в опубликованной работе, недостаточно для количественных выводов, но если все же эти результаты были верны, то кварков в вольфраме должно быть много и они должны легко переходить на ниобий.

Прямые измерения зарядов частиц вольфрама были осуществлены Р. Бландом, Д. Бокобо, М. Эйбанком и Дж. Райером (Университет Сан-Франциско, США). По существу, схема эксперимента совпадает с классическим опытом Милликена по измерению электрического заряда. В отличие от методики Фербэнка магнитное поле не использовалось. Частицы вольфрама, возникающие в дуговом разряде между вольфрамовыми электродами, вдувались в пространство между горизонтальными параллельными электродами и уравновешивались там электрическим полем. В процессе измерения заряд каждой частицы менялся под воздействием радиоактивного облучения. Измеренные заряды оказались кратными минимальному ( $e$ ), а их распределение — симметричным относительно нуля. Отсюда можно заключить, что свободные кварки не наблюдались; так как их заряд равен  $\pm e/3$  (для антикварка и кварка), то при наличии кварка на пылинке вольфрама симметрия распределения зарядов пылинки нарушилась бы.

Были проанализированы данные для 69 частичек вольфрама; результат исключает наличие  $\pm e/3$  зарядов с точностью в 9 стандартных отклонений. Суммарная масса вещества пылинки ( $WO_2$ ) в опытах равнялась  $3,07 \cdot 10^{-12}$  г, что составляет примерно  $1,1 \cdot 10^{12}$  атомов вольфрама. Таким образом, согласно результатам опытов Бланда, верхний предел концентрации кварков в вольфраме меньше  $10^{-12}$ . Такая величина не является рекордно

<sup>1</sup> Подробнее о работе этого типа лазеров см.: «Природа», 1978, № 1, с. 137.

<sup>1</sup> Подробнее об этом см.: «Природа», 1977, № 11, с. 150.

низкой (для легких веществ существуют более сильные ограничения), но существенно, что получено ограничение именно для вольфрама, который использовался и в опытах Фербэнка. К сожалению, нельзя оценить однозначно, какая концентрация кварков в вольфраме была бы нужна для объяснения результатов Фербэнка. Поэтому нельзя утверждать, что существует прямое противоречие между данными Фербэнка и опытом Бланда. Однако эксперимент Бланда более ясен по постановке и надежнее по статистике.

В работе Г. Галлиаро, М. Мартинелли и Г. Морпурго (Институт физики при университете г. Генуи и Отделение Национального института ядерной физики, Италия) измерались заряды железных цилиндров, подвешенных в магнитном поле и колеблющихся в переменном электрическом поле. Установка также была очень чувствительной. Авторы сообщают предварительные данные по пяти цилиндрикам с массами порядка  $2 \cdot 10^{-5}$  г: остаточный заряд равен нулю с точностью 0,1 е, что означает отсутствие кварков. Верхний предел для концентрации кварков меньше  $3 \cdot 10^{-23}$ .

«Physical Review Letters», 1977, v. 39, p. 369; v. 38, p. 1255 (США).

#### Техника эксперимента

## Очистка биологических растворов в ядерных фильтрах

Пористые фильтры (чаще всего это мембраны, изготовленные из ацетата и нитрата целлюлозы) широко применяются как в лабораторной практике, так и в промышленности для разделения, концентрирования и стерилизации растворов различных коллоидных, в том числе и биологических, препаратов. Основной недостаток таких фильтров — большой разброс размеров пор, в результате чего через

фильтры иногда проходят частицы, размеры которых намного превышают номинальный размер пор. Значительно меньшим разбросом пор и весьма правильной, почти цилиндрической формой фильтрующих каналов обладают ядерные фильтры. Их получают путем химической обработки тонких полимерных пленок, предварительно облученных пучком тяжелых ионов. Величина пор определяется условиями обработки таких пленок (т. е. концентрацией травителя, его температурой, продолжительностью процесса и т. д.) и может быть любой — от десятков ангстрем до десятков микрон. Такие свойства ядерных фильтров делают их весьма перспективными для тонкой очистки и концентрирования растворов различных веществ, в том числе биологических (белков, вирусов, бактерий, компонентов клеток).

Коллектив авторов из Политехнического института им. М. И. Калинина (Ленинград), Объединенного института ядерных исследований (Дубна) и Института полиомиелита и вирусных энцефалитов АМН СССР (Москва) провел исследование ядерных фильтров, изготовленных из лавсановой пленки толщиной 10—12 мкм. Пленку облучали ионами ксенона или аргона, ускоренными на циклотроне У-300 Лаборатории ядерных реакций ОИЯИ. Диаметр получаемых пор меняли от 0,05 до 3,1 мкм. Селективность (процент выхода фильтруемых частиц через мембрану) изучали путем фильтрации частиц латексов (водных дисперсий полимеров) и вирусов.

Было установлено, что эффективность работы ядерных фильтров очень высока — значительно выше, чем у широко используемых сейчас фильтров типа «Миллипоры». Так, уменьшение диаметра пор (D) ядерных фильтров с 0,7 до 0,6 мкм приводит к задержанию 90% частиц латексов с диаметром (d) 0,188 мкм и вирионов (зрелых вирусных частиц) размерами  $0,085 \times 0,19$  мкм, а поры с  $D=0,2$  мкм задерживают уже 99% этих

частиц и вирионов. Для сравнения: через фильтры типа «Миллипоры» с  $D=0,22$  мкм проходит более 50% вирионов бешенства и частиц латексов указанного диаметра.

Цилиндрическая форма фильтрующих каналов и высокая механическая прочность ядерных фильтров делают возможным их многократное регенерирование, при этом их пропускная способность восстанавливается практически до первоначального значения. Эта характеристика не меняется после стерилизации ядерных фильтров различными методами: после обработки спиртом, фенолом, в результате кипячения и обработки в автоклавах.

Возможны три режима работы ядерных фильтров: режим сепарирования при  $D \geq 4d$ , концентрирования при  $D \leq 2d$  и переходный режим при промежуточных значениях D. В случае вирусных суспензий сепарирование представляет собой в основном удаление клеточных обломков, при этом пропускная способность ядерных фильтров очень велика. Этот же режим следует использовать и для удаления микрофлоры из биологических растворов (так называемая стерилизующая фильтрация).

Важно подчеркнуть, что при использовании мембран на основе целлюлозы для концентрации вирусных суспензий одновременно с увеличением концентрирования вирусных частиц происходит и значительное увеличение содержания белковых примесей. Этого не случается при применении ядерных фильтров, поскольку можно выбрать так размер их пор, что примесные белки будут беспрепятственно проходить через них, тогда как вирусы задержатся.

Приведенные результаты говорят о несомненной перспективности применения ядерных фильтров при сепарации, концентрировании, стерилизации, очистке и других процессах тонкого разделения различных коллоидных растворов.

«Коллоидный журнал», 1978, т. XL, № 1, с. 59.

## Космические исследования

**IUE — спутник для исследований ультрафиолетового излучения**

26 января 1978 г. в 7 ч 36 мин по гринвичскому времени с космодрома на м. Канаверал (США) был произведен запуск спутника «IUE» (International Ultraviolet Explorer), предназначенного для исследования УФ-излучения астрономических объектов. Ракета-носитель «Торад-Дельта» вывела спутник на промежуточную орбиту с высотой в перигее около 200 км, в апогее — примерно 46 тыс. км. 27 января был включен бортовой ракетный двигатель на твердом топливе, в результате спутник вышел на конечную орбиту с высотой в перигее 26 669 км, в апогее — 45 887 км, наклоном 28,6° и периодом обращения 1 435,7 мин (т. е. близким к суточному).

Стартовая масса «IUE» — 671 кг, в том числе 123 кг — масса научной аппаратуры. Корпус имеет форму призмы: длина 1,5 м, расстояние между противоположными гранями 1,3 м. Общая длина спутника с учетом выступающих с противоположных сторон УФ-телескопа и бортового двигателя 4,2 м, размах развернутых панелей с солнечными элементами 4,5 м.

В состав научной аппаратуры «IUE» входят: УФ-телескоп системы Ричи-Кретьена с апертурой 45 см и точностью наведения  $\pm 2'$  (это самый совершенный прибор такого типа, когда-либо использовавшийся на космических объектах), два эшелетных спектрографа и четыре телевизионные камеры с видиконами, преобразующими зарегистрированные спектры в цифровые сигналы.

Научная программа полета «IUE» включает:

- получение УФ-спектров (110—330 нм) с высокой разрешающей способностью (0,02 нм) звезд, имеющих яр-

кость до 7-й звездной величины;

- получение УФ-спектров с более низкой разрешающей способностью (0,6 нм) небесных объектов, имеющих меньшую яркость (7—15 звездная величина): квазаров, Сейфертовских галактик, пульсаров, «горячих» звезд и других источников УФ-излучения;

- регистрация спектров планетной атмосферы;

- исследование межзвездных пылевых облаков.

Диапазон измерений одного спектрографа лежит в дальнем ультрафиолете (110—200 нм), второго — в ближнем ультрафиолете (от 185 до ~ 330 нм). Каждый спектрограф имеет две щели, используемые поочередно; размер щели имеет важное значение для обеспечения необходимой разрешающей способности спектрограмм, получаемых от протяженных объектов.

Панели с солнечными элементами — поворотные, очень легкие (масса 22 кг); они изготовлены из алюминиевых сот, приклеенных к основанию из многослойной эпоксидной смолы. Расположенные на панелях 10 тыс. кремниевых солнечных элементов обеспечивают мощность 420 Вт непосредственно после выведения спутника на орбиту и не менее 300 Вт в конце расчетного периода его активного существования (3—5 лет). На орбите спутник ориентируется таким образом, чтобы одна сторона корпуса была постоянно обращена к Солнцу.

«IUE» может вести наблюдения любой области небесной сферы, за исключением конуса раствором 86°, ось которого направлена на Солнце. Исследование объектов более близких к Солнцу возможно во время солнечных затмений; каждые сутки в течение 50—72 мин Земля закрывает спутник от Солнца.

Исследования с помощью спутника «IUE» являются продолжением наблюдений, выполненных астрономическими спутниками «ОАО-2», «ОАО-3» («Коперник») и «TD-1». В дальнейшем НАСА планирует создать космический

телескоп «ST» с апертурой 3 м, который должен быть выведен на орбиту в 80-х годах.

В создании «IUE» принимали участие НАСА (США), Великобритания и Европейское космическое агентство (ЕСА). НАСА создало конструкцию спутника (кроме панелей с солнечными элементами), служебные системы и научную аппаратуру (кроме телевизионных камер, сопряженных с телескопом). Великобритания поставила четыре телевизионные камеры, а ЕСА — панели с солнечными элементами. Кроме того, ЕСА построила наземную станцию для приема информации от спутника в Вильяфранка-дель-Кастильо (Испания).

В исследованиях с помощью ультрафиолетового телескопа спутника «IUE» будут участвовать 200 астрономов из 17 стран, в том числе советские астрономы. Две трети наблюдательного времени принадлежит американским специалистам (при этом будет использоваться станция в Гринбелте), а одна треть времени в основном будет использована специалистами из Великобритании и организации ESA.

Согласно последним сообщениям, аппаратура спутника функционирует нормально; 7 февраля 1978 г. было передано первое изображение астрономического объекта — в целях калибровки бортового оборудования произведена съемка объекта второй звездной величины, звезды S в созвездии Большой Медведицы.

«Air et Cosmos», 1978, v. 15, № 702, p. 36; № 703, p. 42—43; № 704, p. 34; № 706, p. 35 (Франция); «Spacecraft Bulletin», 1978, SPX—292, p. 7 (КОСПАР).

## Планетология

**Микрооползень на Марсе**

Телекамерой посадочного отсека космической станции «Викинг-1» зарегистриро-



Между 5 сентября 1976 г. (верхнее фото) и 22 марта 1977 г. (нижнее фото) произошло изменение поверхностного слоя марсианского грунта (показано стрелкой на нижнем фрагменте) на склоне песчаного наноса около двухметрового камня. Фото «Викинга-1».

вано небольшое перемещение марсианского грунта: между 5 сентября 1976 г. и 22 марта 1977 г. некоторое количество тонкозернистого материала на склоне песчаного наноса у подножья большого камня, названного Биг Джо, сползло вниз по склону. Биг Джо имеет в поперечнике около 2 м и находится в 8—10 м от посадочного отсека «Викинга-1». Ширина участка сдвинувшегося материала около 15 см.

Члены группы по изучению панорамных изображений «Викинга» (США) считают, что произошло скольжение грунта вдоль границы между двумя слоями с различным внутрен-

ним сцеплением. Определение причины этого эрозионного явления затруднено, поскольку точная дата его неизвестна: в период, когда произошло сползание грунта, посадочный отсек «Викинга-1» работал по сокращенной программе и передача панорамных изображений поверхности выполнялась редко. Ясно лишь, что подобный оползень произошел в результате движения грунта под действием силы тяжести и не связан с ветровым переносом песка. Причиной могло послужить марсотрясение, замерзание и последующее оттаивание грунта или иное воздействие. По мнению специалистов, если в год происходит одно событие такого масштаба, то за 1 млн лет облик марсианского рельефа должен неузнаваемо измениться.

«Journal of Geophysical Research», 1977, v. 82, № 28, p. 4439—4451 (США).

#### Астрономия

### Рентгеновские источники в шаровых звездных скоплениях

Наблюдения космических рентгеновских источников с помощью специализированных искусственных спутников Земли показали, что с шаровыми звездными скоплениями на небе ассоциируются семь рентгеновских объектов:

С помощью вращающегося модулятора, установленного на борту специализированного американского рентгеновского спутника «SAS-3», положения первых пяти рентгеновских источников на небе были измерены с точностью 20". Области, в которых находятся эти источники, совпадают с ядрами соответствующих шаровых скоплений и содержат огромное количество звезд. Поэтому даже столь высокой точности недостаточно для отождествления рентгеновских источников со звездами или другими оптическими объектами.

Ни для одного из переменных рентгеновских источников этого списка не зарегистрировано периодичности, затмений или других хорошо выраженных особенностей, которые могли бы что-либо сказать об их природе.

«Bulletin of the American Astronomical Society», 1977, v. 9, № 4, p. 579 (США).

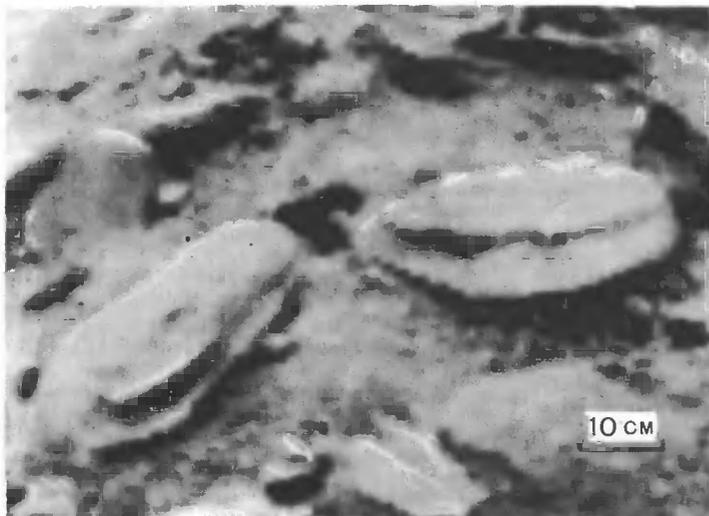
#### Планетология

### Разрушение пород на Венере

Данные физических и химических измерений, выполненных посадочными аппаратами советских автоматических станций «Венера-9 и -10», показали, что условия на поверхности Венеры: очень слабые ветры (0,5—1 м/с), чрезвычайно низкое содержание водяного

Рентгеновский источник	Шаровое скопление	Тип рентгеновского источника*
<b>MX 0513—40</b>	<b>NGC 1851</b>	s + b
<b>4U 1746—37</b>	<b>NGC 6441</b>	b
<b>4U 1820—30</b>	<b>NGC 6624</b>	s + b
<b>A 1850—08</b>	<b>NGC 6712</b>	s + b?
<b>4U 2131+11</b>	<b>NGC 7078-M 15</b>	s
<b>MX 1746—20</b>	<b>NGC 6440</b>	t
<b>MXB 1730—335</b>	<b>скопление Лиллера</b>	s

\* s — источник непрерывного, сильно меняющегося рентгеновского излучения (steady); b — вспыхивающий рентгеновский источник (burster); t — временный рентгеновский источник (transient), наблюдавшийся непродолжительное время.



пара, плотная и толстая атмосфера, исключающая возможность метеоритной бомбардировки поверхности,— не способствуют разрушению пород. Однако на панорамных изображениях поверхности Венеры, переданных этими же станциями, ясно видно, что на планете имеются по крайней мере два геоморфологических процесса разрушения пород. К. П. Флоренский, Л. Б. Ронка и А. Т. Базилевский (Институт геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского АН СССР и Университет Вейна, Детройт, США) выделили процессы разрушения дециметро-

вого и сантиметрового масштабов.

Дециметровый масштаб разрушений характерен для района посадки «Венеры-9». Здесь видны камни поперечником до 50—70 см и высотой 15—20 см с четкими, даже острыми краями, у которых отсутствует какая-либо сглаженность ребер. Это указывает на то, что камни образовались в результате разламывания первоначально единого скального массива. Пластинчатая форма камней и наблюдающаяся у некоторых из них слоистость позволяют считать, что первоначальный массив был

Фрагмент панорамы, переданной станцией «Венера-9». Видны плитчатые камни размером порядка десятков сантиметров с четкими ребрами и слоистым строением, образовавшиеся сравнительно недавно в результате разрушения скального массива и переместившиеся вниз по склону.

Участок светлой каменной глыбы, на которую опустилась станция «Венера-10». Покрыт множеством небольших ямок сантиметровых размеров. Промежутки между глыбами и ямки заполнены темным мелкозернистым материалом. Видны также разрушения дециметрового масштаба — это прямолинейные края глыбы, образовавшиеся в результате раскалывания ее вдоль трещины.

слоистым. Участок посадки «Венеры-9» расположен на склоне, следовательно источник каменного материала находится где-то выше. В целом ландшафт этого участка очень молодой.

Сантиметровый масштаб разрушений характерен для поверхностей крупных каменных глыб поперечником 2—3 м, на одну из которых совершила посадку станция «Венера-10». Множество небольших (диаметром 1—5 см) ямок, заполненных более темным, чем камни, мелкозернистым материалом, и округленные края глыб указывают, что здесь также действовал какой-то процесс разрушения каменного материала. С геоморфологической точки зрения, ландшафт в месте посадки «Венеры-10» более зрелый (т. е., при прочих равных условиях, он сформировался за более длительный период времени), чем в районе посадки «Венеры-9».

Установление природы этих двух процессов разрушения пород на Венере вызывает затруднения. Явления дециметрового масштаба объясняются, скорее всего, постепенным перемещением верхнего слоя пород вниз по склону. Однако при отсутствии жидкой воды трудно представить, под воз-

действием чего происходит это перемещение. Возможно, оно совершается при сейсмических сотрясениях поверхности. Еще более загадочно происхождение разрушений сантиметрового масштаба. Скорее всего, они вызваны химически активными компонентами атмосферы, которые содержатся в очень малых количествах и еще не определены инструментальными измерениями. Возможно также химическое и динамическое воздействие кратковременных вулканических извержений.

«Science», 1977, v. 196, p. 869—871 (США).

Молекулярная биология

## Геминивирусы — новый тип растительных вирусов

Б. Гаррисон, Х. Баркер (Шотландский институт садоводства), К. Бок, Е. Гасри, Ж. Мередит (Восточно-африканская научно-исследовательская организация по сельскому хозяйству и лесу) и М. Аткинсон (Институт вирусологии, Шотландия) обнаружили, что два вида из группы растительных вирусов содержат одностратную ДНК с молекулярным весом около 1 млн. К этой группе относятся шесть вирусов: вызывающие стрик (полосатость) кукурузы, курчавость верхушки сахарной свеклы, желтую мозаику томата и фасоли, мозаику молочая и коричневую полосатость маниока. Вирусы представляют собой две спаренные, необычайно маленькие (15—20 нм) пятигранные частицы, причем спаренные грани длиннее остальных.

Тщательное изучение ДНК, выделенной из частиц вируса, вызывающего стрик кукурузы, и вируса полосатости маниока, показало ее неоднородность: часть ДНК состояла из линейных молекул, а часть — из кольцевых.

Авторы предполагают, что линейные молекулы ДНК — результат разрыва кольцевых молекул. Вполне вероятно, что и другие вирусы этой группы содержат одностратную ДНК.

Предлагается назвать эти вирусы «геминивирусами», что означает спаренные, двойные вирусы (от латинского *geminus* — парный, двойной).

«Nature», 1977, v. 270, № 5639, p. 760—762 (Великобритания).

Молекулярная биология

## Один ген — один блок — пять ферментов

На протяжении последних 15 лет ведется дискуссия о том, что представляет собой ферментный комплекс, катализирующий пять отдельных реакций при биосинтезе ароматических аминокислот. Этот комплекс неоднократно выделяли в различных лабораториях мира из плесневого гриба *Neurospora crassa*, изучали его состав и свойства, однако не было единого мнения о структуре комплекса. Тем не менее было высказано предположение, что за все пять реакций ответственна одна полипептидная цепь с молекулярным весом 150 000, а комплекс состоит из двух таких цепей.

Недавно опубликованы две работы, которые прямо подтверждают это предположение. Ф. Гартнер и К. Коул (Университет штата Теннесси, США) установили, что активный комплекс имеет молекулярный вес 300 000 и действительно состоит только из двух одинаковых по величине полипептидных цепей<sup>1</sup>. А Дж. Ламсен и Дж. Когинс (Университет в Глазго, Шотландия), сравнивая эти две цепи, при-

шли к выводу, что они не отличаются друг от друга, по-видимому, не только по величине, но и по составу<sup>2</sup>.

В таком случае полипептидная цепь, ответственная за пять ферментов, кодирована одним геном в молекуле ДНК. Такие гены американские исследователи предложили называть кластерными, т. е. состоящими из нескольких прочно сцепленных между собой генов. Кластерные гены транскрибируются как одна минимальная единица генетической информации и дают только одну иРНК. В настоящее время известно несколько кластерных генов, и вполне возможно, что в природе это обычное явление.

В. Р. Шатилов

Кандидат биологических наук

Москва

Молекулярная биология

## Исследуется структура аспарат - аминоксидотрансферазы

Получивший это название фермент был открыт в СССР более 40 лет назад А. Е. Браунштейном и М. Г. Крицман. Он катализирует перенос аминоксидотрансферазы с аспарагиновой кислоты на  $\alpha$ -кетоглутаровую, в результате образуется глутаминовая кислота. Работами А. Е. Браунштейна и ряда других авторов была доказана ключевая роль этого фермента в метаболизме аминоксидотрансферазы.

Молекула фермента представляет собой димер, с общим молекулярным весом 93 000. Центральную роль в каталитическом процессе играет пиридоксаль-5-фосфат, который в ходе реакции служит промежуточным переносчиком аминоксидотрансферазы.

Для энзимологов, из-

<sup>1</sup>«Biochem. and Biophys. Res. Commun.», 1977, v. 75, № 2, p. 259—264.

<sup>2</sup>«Biochem. J.», 1978, v. 169, № 2, p. 441—444.

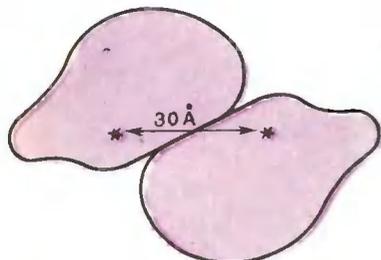


Схема расположения молекул пиридоксальфосфата (показаны звездочками) в димере аспартат-аминотрансферазы.

учающих молекулярные механизмы ферментативного катализа, аспартат-аминотрансфераза стала одним из наиболее популярных объектов исследования. Этому в большой мере способствовало благоприятное сочетание химических и оптических свойств пиридоксальфосфата, «отзывающихся» на любые изменения в молекулярном окружении. Исследования комплексов фермента с разнообразными соединениями, подвергающимися каталитическому действию фермента (субстратами) или блокирующими его действие (ингибиторами), позволили построить детальную картину его работы<sup>1</sup>. Однако до недавнего времени не были известны ни аминокислотная последовательность, ни пространственная структура этого фермента.

Несколько лет назад в Институте биоорганической химии им. М. М. Шемякина АН СССР и Институте молекулярной биологии АН СССР под руководством Ю. А. Овчинникова и А. Е. Браунштейна была определена последовательность расположения в цепи фермента 412 аминокислотных остатков<sup>2</sup>. В настоящее время в Институте кристаллографии АН СССР

под руководством Б. К. Вайнштейна в тесном сотрудничестве с лабораторией А. Е. Браунштейна проводится исследование пространственной структуры молекулы аспартат-аминотрансферазы. Определена общая форма молекулы, расположение в ней спиральных участков полипептидной цепи, взаимное расположение в димере молекул пиридоксальфосфата, находящихся на расстоянии 30 Å друг от друга. Определена также взаимная ориентация молекул пиридоксальфосфата и субстрата. Близок к завершению следующий этап работы, цель которого — установить пространственный ход полипептидной цепи фермента, что позволит конкретизировать имеющиеся гипотетические модели взаимодействия фермента, пиридоксальфосфата и субстрата.

Есть все основания ожидать, что в самом ближайшем будущем из результатов, полученных с помощью рентгеновских, спектроскопических, оптических и разнообразных химических методов, сложится общая картина, которая позволит глубже и полнее понять процессы ферментативного катализа.

«Доклады АН СССР», 1977, т. 235, с. 212.

Физиология

### Лизоцим участвует в минерализации костной ткани

Фермент лизоцим (мурамидаза), открытый еще в 1922 г. А. Флемингом и более детально изученный в 30-х годах З. В. Ермольевой, обнаружен во многих тканях и жидкостях человеческого организма: в слюне и слезной жидкости, лейкоцитах, хрящах, селезенке, эпителиях слизистых оболочек. Встречается он также в организме других позвоночных животных, в растениях (капуста, хрен, репа, редька), в некоторых

бактериях и фагах; особенно много лизоцима в белке куриного яйца.

Катализируя расщепление β-1,4-связи между N-ацетилглюкозаминном и N-ацетилмураминовой кислотой, лизоцим разрушает углеводно-белковые комплексы (протеогликаны) бактериальной стенки, что и лежит в основе его антибактериального действия. До последнего времени считалось общепринятым, что биологическое значение лизоцима ограничивается участием в защитных реакциях организма животных и человека против микробов.

Большой неожиданностью явились данные<sup>1</sup> об участии лизоцима в процессе минерализации костной ткани. Высокие концентрации лизоцима были обнаружены в хрящевой пластинке роста длинных трубчатых костей, где он локализуется на коллагеновых фибриллах и в аморфном межклеточном веществе вблизи соединения между хрящом и костью. Тонкими биохимическими методами установлено, что содержание лизоцима в регенерирующей костной ткани крыс увеличивается в 4—5 раз через 12—20 суток после травмы, т. е. в сроки, соответствующие процессу минерализации. Изменения в содержании кальция и магния, а также гистологические данные подтверждают наличие прямой связи между повышением содержания лизоцима и процессом минерализации костной ткани. При отсутствии сращения и образовании ложного сустава (псевдоартроза) содержание лизоцима в регенерирующей ткани выше, чем в нормальной кости, но гораздо меньше, чем во время минерализации новообразованной костной ткани при сращении перелома.

Механизмы участия лизоцима в процессах минерализации костной ткани еще не выяснены. Однако, поскольку эти процессы происходят в присутствии лишь дезагре-

<sup>1</sup> Braunstein A. E. «Enzymes», 1973, v. IX, p. 379—481.

<sup>2</sup> Овчинников Ю. А., Браунштейн А. Е. и др.— «Доклады АН СССР», 1972, т. 207, с. 728.

<sup>1</sup> «Calcified Tissue Res.», 1977, v. 24, Suppl., p. 23.

гированных протеогликанов<sup>2</sup>, следует думать, что роль лизоцима заключается в разрушении этих углеводно-белковых комплексов.

Профессор М. Г. Шубич  
Краснодар

#### Экология

## Водяной гиацинт — бедствие или польза?

Водяной гиацинт (*Eichhornia crassipes*) ныне весьма часто встречается в тропических районах. Родина его — Бразилия, но за последнее столетие он широко распространился почти по всем континентам. Завезенный в 1884 г. в южные штаты США одной любительницей, прельщенной его красивыми голубыми цветами, гиацинт вытеснил из рек Флориды многие виды растений, привел к гибели ряда представителей животного мира, засорил водные пути, остановив в них течение, препятствуя мелиорации и судоходству, тем самым нанеся миллионные убытки. За 15 лет, истекших с момента завершения строительства крупной плотины Брокколондо в Гайяне, ковер из этих водорослей покрыл более 30 км<sup>2</sup> поверхности водохранилища. На р. Конго в Заире гиацинт также местами образует сплошной плотный ковер, препятствующий судоходству и поступлению в воду кислорода, что ведет к массовой гибели рыбы. Этим сорняком заселены большие участки по течению Нила в Судане и Египте; в индийском штате Бенгалия из-за гиацинта тысячи рыбаков лишились средств к существованию; его появление отмечено даже в далекой Австралии.

Все методы борьбы водяным гиацинтом пока практически безрезультатны: механическое уничтожение малоэффективно; гербициды, патогенные и паразитические ор-



Заросли водяного гиацинта.

ганизмы не обладают достаточно узким спектром действия и приводят к гибели других видов растений; разведение толстолобика или белого амура, а также водного млекопитающего ламантина, активно поедающих этот сорняк, более или менее оправдывает себя, но требует слишком много времени.

Новый подход к проблеме предложен и совместно осуществляется сотрудниками лабораторий НАСА (США) и Международного технико-хозяйственного института при Рейнско-Вестфальской высшей технической школе (Ахен, ФРГ). Исследователи, используя редкостную способность водяного гиацинта быстро усваивать различные питательные вещества, непомерно увеличивая при этом свою массу за короткий срок, провели в достаточно широком масштабе весьма успешные опыты по производству из скошенных гиацинтов питательного силоса. Не менее охотно, как выяснилось, поедает скот и гранулированную пищу, приготовленную из этой зеленой массы.

В ряде американских исследовательских центров, в частности в Лаборатории космической техники НАСА, успешно ведутся работы по изучению фильтрационных свойств зарослей гиацинта. Установлена его способность абсорбировать многие загрязняющие вещества, в том числе тяжелые и радиоактивные элементы, с трудом удаляемые из канализационных вод с помощью традиционных средств. За одни сутки с гектара водной поверхности, заросшей гиацинтами, извлекается из сточных вод до 44 кг азота и столько же калия, до 34 кг натрия, до 22 кг кальция, до 17 кг фосфора и до 4 кг марганца; 89 г. ртути, 104 г свинца, 297 г никеля, 321 г стронция, 343 г кобальта, 385 г серебра, 398 г кадмия; 2,1 кг фенола и большое количество других органических соединений.

Измерения, проведенные в этой же лаборатории, показали, что водяной гиацинт обладает чрезвычайно высокой способностью к фотосинтезу. Он служит подлинной «ловушкой» солнечной энергии.

Совершенно новым оказалось еще одно применение гиацинта: его измельченная, подвергнутая брожению масса выделяет огромное количество метана. Опыты показывают, что из 1 кг сухой массы растения получается

<sup>2</sup> «Calcified Tissue Res.», 1977, v. 24, Suppl., p. 25.

374 л метана с теплотворной способностью 5292 ккал/м<sup>3</sup>. Гектар водной поверхности гиацинтовых зарослей дает от 900 до 1800 кг сухой биомассы в сутки, что могло бы «заменить» от 233 до 465 л бензина. Специалисты НАСА разработали проект экспериментального предприятия по полной переработке и всестороннему использованию водяного гиацинта.

«Umschau in Wissenschaft und Technik», 1977, v. 77, № 17, p. 576—580 (ФРГ).

Охрана природы

## Охрана рек в США

К настоящему времени на реках США построено около 50 тыс. больших и малых плотин, причем плотины сооружены лишь в 38% пунктов, потенциально пригодных для строительства ГЭС. ГЭС поставляют 14% всей производимой в стране энергии. Сейчас расход воды на душу населения в среднем составляет около 380 л в сутки. Американские специалисты полагают, однако, что общее потребление воды в стране к 2000 г. возрастет на 220% по сравнению с нынешним. В этой связи вопрос об охране рек становится очень острым.

Еще более 10 лет назад в США был принят закон о реках, согласно которому восемь находящихся в различных районах страны рек, «обладающих незаурядной живописностью, рекреационными, геологическими, рыбными, историческими, культурными качествами», с непосредственно прилегающей к ним местностью были объявлены заказниками. Позже под охрану были взяты еще 11 рек или отдельных участков по их течению, а для руководства и контроля за их использованием был создан наделенный широкими полномочиями правительственный орган.

В конечном счете под контроль нового органа должны подпасть все реки, отвечающие одному из следующих

определений: «нетронутая» — незагрязненная, лишенная плотин, сохранившая естественное состояние окрестностей, доступная лишь по пешей тропе; «живописная» — без плотин, с берегами, в основном не затронутыми искусственными сооружениями, доступная по автодороге; «рекреационная» — легко доступная, с уже существующими в небольшом количестве плотинами или предприятиями, дальнейшее сооружение которых не допускается.

В качестве возможных объектов для создания заказников рассматривается большинство рек длиной от 40 км и более. С этой целью обследовано около 4 тыс. рек или их отдельных участков общей длиной 450 тыс. км.

Среди уже функционирующих в течение ряда лет заказников можно назвать отрезок Миссури в штате Монтана длиной 240 км, Клируотер в Айдахо (300 км), Сент-Круа в Миннесоте и Висконсине (общая длина двух участков 400 км), Рио-Гранде в Нью-Мексико (85 км) и др. На этих реках ведется тщательный контроль за качеством воды; землечерпательные работы, строительство плотин и других сооружений, рубка леса строго запрещены. В итоге наблюдается улучшение природной среды, несмотря на широкое их использование в рекреационных целях.

«National Geographic Magazine», 1977, v. 152, № 1, p. 4,9 (США).

Минералогия

## Сарматский целестин запада Туранской плиты

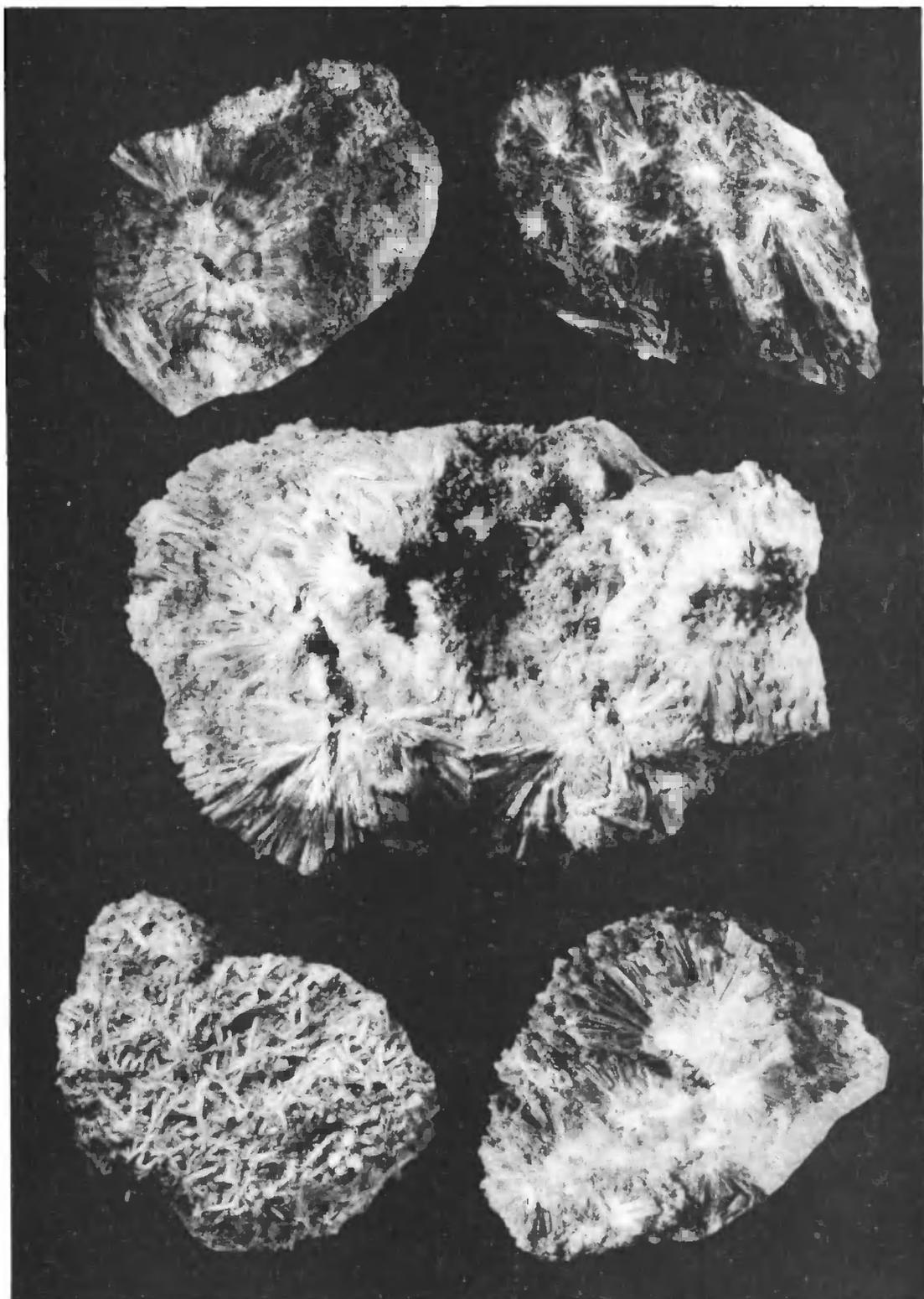
В пределах п-ова Мангышлак и северо-западного Устюрта, составляющих западную часть крупной геологической структуры — Туранской плиты, широко распространено стронциевое оруденение, которое локализуется в различных по составу осадоч-

ных породах пермско-триасового, мелового, палеогенового и неогенового возраста в виде минерала целестина (сульфат стронция). Наибольшее практическое значение имеет стронциеносный горизонт, относящийся к сарматскому ярусу неогена (10—12 млн лет назад).

Целестин этого горизонта в значительных количествах концентрируется в среднесарматской карбонатной толще, которая в основном сложена светло-серыми и розоватыми известняками-ракушечниками; в нижней части разреза появляются оолитовые и детритовые разновидности известняков. В толще известняков встречаются сравнительно маломощные пластобразные линзы глин.

Вмещающие целестиную руду известняки лежат на глинах тортонского яруса и на значительной территории являются самым верхним горизонтом. В нижней части разреза известняков, на границе с подстилающими глинами, размещаются залежи целестиновых руд. Целестин наблюдается здесь в виде вкраплений, прожилок, крупнокристаллических гнезд, а также пластовых жил, образовавшихся в полосах выщелачивания. Этот минерал имеет кристаллическую структуру. Кристаллы, достигающие нескольких сантиметров в длину, сложены в различного рода агрегаты — радиально-лучистые, сноповидные, шестоватые (т. е. сложенные шестообразными кристаллами). Цвет целестина белый, серовато-белый, нередко бесцветные кристаллы. Иногда в кристаллах в виде пятен, налетов и оторочек наблюдаются желтовато-бурые и красно-бурые выделения гидроокислов железа.

Вмещающая целестин известняковая толща состоит в основном из кальцита (карбонат кальция — 36—67%); в незначительных количествах содержит барит (сульфат бария — 2,7—7%), гипс, халцедон, глинистые частицы. Заполняя пустоты в раковинах, целестин местами почти полностью замещает известняк, наследуя текстуру первичных



## Геология

Минерал целестин образует кристаллы до нескольких сантиметров в длину; цвет целестина белый, серовато-белый, нередко встречаются бесцветные кристаллы. На фото в натуральную величину представлены некоторые формы срастания кристаллов целестина: радиально-лучистые агрегаты (вверху, слева), звездчатые (вверху, справа) и шестоватые (внизу, слева). В середине — образец с полостью выщелачивания в известняках, в которой кристаллы целестина нарастают от периферии к центру, постепенно заполняя пустоты. Внизу — продольный скол целестинового «ежика»; кристаллы нарастают здесь от центра к периферии.

Фото Н. М. Великого.

пород. Однако, несмотря на полное замещение известняка целестином, в массе последнего сохраняются мелкие (до 20—40 мкм) кристаллики кальцита. Они содержатся и в агрегатах крупных кристаллов целестина.

Сарматский горизонт с целестиновой минерализацией в западной части Туранской плиты залегает практически горизонтально сравнительно на небольшой глубине. Он распространен на площади от десятков до сотни квадратных километров. Наиболее значительное по масштабу оруденение целестина связано с теми структурами, которые обнаруживают признаки нефтегазоносности. Таким образом, и отмеченный характер распространения сарматского горизонта с целестиновыми рудами, и существование здесь многочисленных рудоуправляющих (нефтегазоносных) структур, и уже известные в настоящее время крупные скопления целестина — все это говорит о большой перспективности данного района для промышленной разработки.

Н. М. Великий

Киев

Б. Е. Милецкий

Кандидат геолого-минералогических наук

А. Ф. Черноок

Актюбинск

## Оледенение на шельфе Баренцева моря в плиоцене

В 23-м рейсе научно-исследовательского судна «Академик Курчатов» получены уникальные колонки донного грунта длиной до 7,5 м. Колонки были взяты со дна Баренцева моря по профилю от Мурманского побережья до Земли Франца-Иосифа, где глубина колеблется от 65 до 350 м. Изучение состава колонок А. И. Блажчишиным и Т. И. Линьковой (Атлантическое отделение Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР, Калининград) показало, что осадки представлены в основном глинистыми, обломочно-глинистыми моренными и ледниково-морскими отложениями. По предварительным данным, они залегают на нижнемеловых породах (130—100 млн лет назад) и сходны с ними минералогически. Сверху слоем толщиной всего около 0,5 м на возвышенностях и до 5 м в желобах лежат поздние и послеледниковые глины и илы.

Палеомагнитное изучение образцов из колонок дало основание выделить в наиболее полных из них несколько горизонтов прямой и обратной полярности. Авторы считают возможным сопоставлять эти палеомагнитные горизонты между собой и с зонами мировой магнитохронологической шкалы (Брюнес, Матуяма, Гаусс и даже Гилберт — более 3,3 млн лет назад). Во всяком случае, нет сомнения, что оледенение шельфа Баренцева моря началось в верхнем плиоцене (3—1 млн лет назад); возможно даже, что возраст вскрытых ледниковых осадков древнее 2,4 млн лет. Расчет скорости образования осадков дает величины в пределах 1—3,5 мм/1000 лет.

Полученные материалы свидетельствуют, что оледенение в плиоцене развивалось в наземных условиях и Центральная возвышенность Баренцева моря всегда была областью экзарации, или ледни-

кового выпихивания (разрушение ледником горных пород и вынос продуктов разрушения на край или к концу ледника).

Таким образом, плиоценовое оледенение шельфа Баренцева моря, ранее предсказанное Д. Д. Квасовым<sup>1</sup>, теперь подтверждается фактическими данными.

«Доклады АН СССР», 1977, т. 236, № 3, с. 696—699.

## Геотектоника

## Тектоника Средиземноморского пояса

Средиземноморским поясом геологи называют очень протяженную систему современных горных хребтов и впадин, отделяющих Европу от Африки и Ближневосточной Азии и далее следующих на восток через север Ирана и Афганистана в Гиндукуш и Каракорум — до Гималаев. Его общая протяженность от Гибралтара до Гималаев около 8 тыс. км — пятая часть окружности земного шара. Специалисты, однако, привлекают не только и не столько грандиозные размеры самого пояса, сколько длительная и сложная история его геологического развития, насчитывающая не менее 1 млрд лет. Сведения о геологии этих районов долгое время оставались основой для создания и опровержения практически всех главных геологических гипотез.

Современный этап развития геологии, особенно геотектоники, связан с большими успехами в исследовании дна океанов и возрождением на этой основе идей о дрейфе континентов. Корреляция этих новых научных направлений с достижениями «классической» геологии Средиземноморского пояса представляет собой ныне важнейшую задачу. Ее анализу

<sup>1</sup> Квасов Д. Д. и др. О палеогеографии Восточной Европы в акчагыльско-апшеронское время. — «Вестн. ЛГУ», 1969, № 6.

было посвящено очередное ежегодное совещание Междуведомственного тектонического комитета, состоявшееся в январе — феврале 1978 г. в Москве<sup>1</sup>.

Выбор этой темы определялся, конечно, не только остротой проблемы, но и обилием новых материалов по геологии Югославии, Турции, Ирана, Афганистана, Средиземного, Черного и Каспийского морей, участием советских геологов в исследованиях почти всех районов Средиземноморского пояса, наконец, актуальностью оценки его перспектив в отношении полезных ископаемых.

Вводные доклады В. Е. Хаина и М. В. Муратова определили границы, главные этапы развития и наиболее дискуссионные проблемы геологии Средиземноморского пояса. Эта структура, по мнению В. Е. Хаина, впервые проявила себя около 1 млрд лет назад, когда раскололся прежде единый огромный континентальный массив, а в трещинах между его обломками раскрылись глубокие горизонты литосферы. В дальнейшем зоны раскола стали ареной проявления геосинклинальных процессов — сильных вертикальных и горизонтальных движений, подводного вулканизма, термальных воздействий и др. Этап активного развития продолжался до кембрия (570 млн лет назад), а в некоторых районах — до позднего карбона (300 млн лет); затем на протяжении около 150 млн лет здесь преобладали более спокойные, почти платформенные условия. Однако в среднеюрское время (160—170 млн лет) новые расколы континентальных блоков и активизация тектонических движений ознаменовали начало второго (альпийского) этапа геосинклинального развития Средиземноморского пояса. С этим этапом связано существование обширного морского бассейна Тетис, внедрение в верхние горизонты больших объемов магм, скупивание

огромных пластин земной коры и их надвигание друг на друга. Активность геосинклинальных процессов в Средиземноморском поясе не угасла и в наше время. Прямые свидетельства тому — современный вулканизм, рост горных хребтов и погружение впадин, в том числе Средиземного, Черного и Каспийского морей. Одно из следствий таких движений — разрушительные землетрясения во многих странах Средиземноморья. Предотвратить такие катастрофы человечество не в силах, объяснить и предсказать их — задача тектонистов.

Вопросы, затронутые в других докладах, можно сгруппировать в четыре крупные проблемы: доальпийская история развития пояса, тектоника альпийского этапа, тектоника дна современных морских бассейнов, формирование полезных ископаемых.

А. А. Белов, говоря о развитии Средиземноморского региона в позднепротерозойское и палеозойское время, отметил, что в этой части пояса активные преобразования завершились сравнительно быстро, к началу палеозоя (570 млн лет назад); в дальнейшем Средиземноморье присоединилось к платформенной массе Африки и до пермского времени (около 280 млн лет назад) было краем обширного континента Гондваны со спокойным тектоническим режимом. В пермском периоде здесь возникли первые расколы, относящиеся к следующему, альпийскому этапу развития. На этом этапе эволюцию глубинных (тепловых) условий всего региона, определивших проявление тех или иных геосинклинальных процессов в верхней части земной коры и на поверхности, охарактеризовал В. В. Белоусов. Детально раскрыл кинематику тектонических движений пояса на заключительной стадии альпийского этапа Е. Е. Милановский. Был проведен анализ альпийской тектоники Большого Кавказа (В. Н. Шолло) и Карпат (М. А. Безр, С. Л. Бызова), рассмотрена тектоническая обстановка в бассейне Тетиса (М. Г. Ломизе с соавторами; А. Л. Книппер; В. И. Славин; В. Р. Веселов с соавторами и

др.). Существенное внимание в большинстве сообщений уделялось горизонтальным движениям блоков земной коры, реконструкция, которых связана с серьезными трудностями. Значительный интерес вызвала проблема происхождения и эволюции современных морских впадин Средиземноморья. Геофизические исследования выявили в некоторых из них земную кору океанического типа. Что это — остатки бывшего океана Тетис или новые образования, связанные с раздвижением или переработкой блоков коры континентального типа? По мнению Е. В. Артюшкова, А. Е. Шлезингера и А. Л. Яншина, эти впадины — следствие погружения блоков земной коры. Я. П. Маловицкий и Ш. А. Адамия считают, что здесь проявились также горизонтальные движения и, хотя остаются неясными масштабы таких перемещений, подобная точка зрения сейчас преобладает.

В решении совещания отмечен большой прогресс в изучении тектоники Средиземноморского пояса, в значительной мере достигнутый благодаря усилиям советских геологов. Новые задачи сводятся к детальным реконструкциям тектонических движений на всех этапах развития пояса, дальнейшему анализу перспектив в отношении полезных ископаемых и изучению современных тектонических процессов. Тема следующего совещания — «Строение и развитие океанических впадин».

**К. Б. Сеславинский**  
Кандидат геолого-минералогических наук  
Москва

Гляциология

## Арктический ледник 20 тысяч лет назад

Т. А. Бурашникова, И. А. Суетова (Московский государственный университет) и М. Г. Гросвальд (Институт географии АН СССР), обобщив данные о последнем оледенении Арктики (т. е. данные о

<sup>1</sup> Тектоника Средиземноморского пояса. Тезисы докладов. М., 1978.

контурах конечноморенных поясов и гляциальных шельфов), пришли к выводу, что общая площадь арктического ледникового покрова 20 тыс. лет назад составляла 36 млн км<sup>2</sup>. Из них 1/4 часть приходилась на плавучие ледники-шельфы, 1/4 — на покровные ледники континентальных шельфов, а из 17,9 млн км<sup>2</sup> льда, лежавшего на суше, более 7 млн км<sup>2</sup> были расположены на низменностях, которые под действием ледниковой нагрузки прогибались ниже уровня моря.

Арктический покров состоял из бесчисленных пологих ледниковых куполов высотой до 3,5 км, объединявшихся в ледяные хребты длиной до 6000 км. Общий объем арктического ледяного покрова составлял 50 млн км<sup>3</sup>, а вместе с плавучими частями ледников-шельфов — 60 млн км<sup>3</sup>. По сравнению с современным уровнем океана был ниже на 125 м.

«Доклады АН СССР», 1978, т. 238, с. 1169—1172.

рыве извержения, с помощью самолетов-лабораторий проводилось зондирование атмосферы на расстоянии 100 км, а в отдельных случаях 50 км от вулкана, на высотах от 100 м до 6,5 км. Измерения дали следующие интересные результаты.

Нижняя и верхняя границы шлейфа сернистого газа в 100 км от вулкана располагались на высотах 2,5 и 6 км (иногда 13 км), его максимальная ширина составляла 20—30 км. Наибольшая концентрация сернистого газа в 50 и 100 км от вулкана была отмечена на высоте 4 км и равнялась 5 и 2 мг/м<sup>3</sup> соответственно. Концентрации сероводорода и окислов азота, измеренные в шлейфе, не превышали существенно их фоновых значений, зато концентрация радона, составлявшая 4·10<sup>-9</sup> кюри/м<sup>3</sup>, превысила фоновую концентра-

цию этого газа в 400 раз. В радиусе 300—500 км от места извержения наблюдалось повышение концентрации фона сернистого газа до 0,005 мг/м<sup>3</sup>, пыли — до 1 мг/м<sup>3</sup> и радона — примерно до 10<sup>-9</sup> кюри/м<sup>3</sup>.

Суточный выброс отдельных химических элементов представлен в таблице. Ртуть и сернистого газа Толбачик выбрасывал за сутки, соответственно, 5 и 10% их глобального суточного поступления в атмосферу от всех естественных источников. Приблизительно такую же долю это составляет и по отношению к антропогенным выбросам. Объем извергавшейся за сутки пыли составлял около 30% от суточного антропогенного выброса.

Оценено суммарное количество газов и пепла, изверженных Толбачиком за период с 6 июля по 14 сентября 1975 г. За это время в атмосферу поступило 20 млн т аэрозолей, 1,6 млн т сернистого газа и 80 т ртути.

«Доклады АН СССР», 1977, т. 237, № 6, с. 1479—1482

**Химический состав пепла (по данным спектрального анализа) и суточный выброс отдельных элементов вулканом Толбачик**

ЭЛЕМЕНТ	Средняя концентрация, мг/м <sup>3</sup>	Суточный выброс, тыс. т
Si	0,49	49,0
Al	0,49	49,0
Mg	0,49	49,0
Ca	0,49	49,0
Na	0,49	49,0
Fe	0,48	48,0
Ti	0,14	14,0
Mn	0,07	7,0
P	0,05	5,0
Cu	0,02	2,0
Cr	0,01	1,0
Sr	0,01	1,0
Ba	7·10 <sup>-3</sup>	0,7
V	7·10 <sup>-3</sup>	0,7
Zn	5·10 <sup>-3</sup>	0,5
Ni	4·10 <sup>-3</sup>	0,4
Co	2·10 <sup>-3</sup>	0,2
Ca	6·10 <sup>-4</sup>	6·10 <sup>-2</sup>
Zr	3·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-2</sup>
Pb	3·10 <sup>-4</sup>	3·10 <sup>-2</sup>
Ag	1·10 <sup>-4</sup>	1·10 <sup>-2</sup>
Ce	2·10 <sup>-4</sup>	2·10 <sup>-2</sup>
Be	6·10 <sup>-5</sup>	6·10 <sup>-3</sup>
Y	3·10 <sup>-5</sup>	3·10 <sup>-2</sup>
Yb	2·10 <sup>-5</sup>	2·10 <sup>-3</sup>

Геохимия

**Продукты извержения вулкана Толбачик**

Сотрудники Института прикладной геофизики Гидрометеослужбы СССР и Института вулканологии ДВНЦ АН СССР Б. П. Абрамовский, В. Н. Алимов, В. А. Ионов, И. М. Назаров, С. И. Патракеев, С. А. Федоров и В. П. Чирков исследовали газовые и аэрозольные продукты извержения вулкана Толбачик на Камчатке, происходившего в июле — сентябре 1975 г. Эта фаза извержения вулкана относится к числу самых крупных за последнее столетие<sup>1</sup>.

3, 4 и 6 сентября 1975 г., в период наиболее интенсивной деятельности вулкана, сосредоточенной в северном про-

<sup>1</sup> Подробнее см.: Чирков в А. М. Толбачинское извержение. — «Природа», 1976, № 7.

Комплексные исследования

**Метеорологические и океанологические исследования в тропиках**

Американские океанологи в период с ноября 1977 по январь 1978 г. проводили комплексный Экваториальный челночный эксперимент (Equatorial Shuttle Experiment), в ходе которого изучались физические свойства морской и воздушной среды в западной части Тихого океана.

Эксперимент получил название челночного, поскольку наблюдения проводились попеременно то севернее, то южнее экватора вдоль 150° з. д.; охваченная исследованиями область по широте составляет 40°.

В соответствии с программой экспериментальной самолет-лаборатория Национального управления по изучению океана и атмосферы США через каждые два дня совершал

перелет из Гонулулу (штат Гавайи) в Папэте (о-в Таити, Французская Полинезия). На этом маршруте протяженностью 3400 км через каждые 15 мин полета производилось сбрасывание в море батитермографов, которые регистрировали температуру воды на различных глубинах; одновременно по маршруту собирались пробы воздуха и выполнялись другие измерения.

Параллельно в районе исследований сотрудники Скриппсовского океанологического института (Ла-Холья, штат Калифорния) вели наблюдения с помощью 20 свободно плавающих и 10 фиксированных буев с метеорологической и океанологической аппаратурой. Большая часть буев позволяет выполнять измерения на 20 глубинных уровнях.

Группа сотрудников Университета штата Гавайи установила на дне океана в изучаемой области усовершенствованные приборы для регистрации течений и давления. Принадлежащее этому же университету научно-исследовательское судно «Кана-Кеоки» прошло вдоль 150 меридиана з. д. с целью сбора калибровочных данных для сопоставления их с информацией, полученной с помощью буев.

Этот проект, выполнявшийся специалистами США, служит дополнением к осуществляемому в 1974 г. международному Атлантическому эксперименту (АТЭ). Несмотря на всю масштабность собранных тогда данных (в АТЭ принимали участие 4 тыс. ученых из 60 стран), было очевидно, что делать окончательные выводы о влиянии тропиков на мировую систему погоды лишь на основе материалов, полученных в Атлантике, невозможно. Информация, собранная в ходе Экваториального челночного эксперимента, должна дополнить эти материалы. Кроме того, разработанные в этом эксперименте критерии будут использоваться в международных метеорологических и океанологических исследованиях по плану ПИГАП (Программа иссле-

дования глобальных атмосферных процессов).

«Science News», 1978, v. 113, № 2, p. 23 (США).

#### Океанология

### Кольцеобразные течения в океане

За короткое время, прошедшее с момента открытия крупных кольцеобразных океанических течений, число таких известных науке систем в северо-восточной части Атлантики превысило 10. Они образуются в основном благодаря Гольфстриму, который, миновав мыс Хаттерас (штат Северная Каролина, США), отходит от побережья Северной Америки, образуя затем петлеобразные изгибы. Некоторые из таких «петель» отрываются от основного русла Гольфстрима и становятся самостоятельными кольцеобразными течениями. Скорость движения воды в них весьма велика: в отдельных случаях достигает 4 км/ч. Диаметр таких колец 150—300 км, причем они захватывают слой водных масс на глубину почти до ложа океана (2500—3500 м).

Ныне установлено, что кольца, обособляющиеся от Гольфстрима с его южной стороны, имеют в центре «ядро» с относительно низкой температурой по сравнению с окружающими его теплыми водами Саргассова моря. Те же кольца, которые отделяются с северной стороны Гольфстрима, наоборот, имеют в центре теплые «ядра». Кольцеобразное течение с теплым ядром, как правило, смещается в запад-юго-западном направлении со скоростью до 5 км/сут. Каждое такое кольцо существует несколько менее года; по истечении этого срока водная масса, достигнув снова м. Хаттерас, вливается в Гольфстрим. Направление кольцеобразных течений с холодным центром в основном юго-западное, а скорость не превышает 3 км/сут. Место их исчезновения — у восточного побережья п-ова

Флорида, а срок существования — в два-три раза больше.

В самое последнее время такого рода системы обнаружены и в других акваториях. Океанологи Японии исследуют их в районе течения Куросяо, полагая, что они должны воздействовать на биологические процессы, важные для рыболовства. Отмечено, что биологические сообщества в кольцеобразных течениях весьма своеобразны по сравнению с сообществами в остальных областях океана.

Циркумпольярное течение, движущееся вокруг Антарктиды, также, как оказалось, порождает кольцеобразные независимые холодные системы. Однако их размеры и скорости, по-видимому, уступают тем, что наблюдаются вблизи Гольфстрима. Кольцеобразное течение, открытое, например, южнее мыса Горн, имеет поперечник немногим более 100 км, а скорость вращательного движения — около 1,1 км/ч. Специалисты полагают, что это связано с меньшей скоростью самого Циркумпольярного течения по сравнению с Гольфстримом.

Очевидно, кольцеобразные течения свойственны всем районам Мирового океана, где присутствуют мощные потоки водных масс; их изучение имеет большое теоретическое и прикладное значение.

«Science», 1977, v. 198, № 4315, p. 387—430 (США).

#### Метеорология

### Радиотелескопы исследуют состав мезосферы

Группа сотрудников Гарвардско-Смитсоновского астрофизического центра (Кембридж, штат Массачусетс, США), возглавляемая Х. Радфордом и М. Литваком, разработала новую методику определения химического состава, степени и характера загрязнения мезосферы — высоких слоев атмосферы, расположенных

на высоте 50—80 км от земной поверхности. В метеорологических целях используются радиотелескопы, первоначально предназначенные для астрономических наблюдений водяных паров в удаленных областях Млечного пути.

С помощью радиотелескопа, диаметр антенны которого составляет 36 м (Хайстекская обсерватория, Уэстфорд, штат Массачусетс), были проведены первые наблюдения. Установлено, что содержание водяных паров на высоте 50—80 км достигает величины  $1,5 \cdot 10^{-5}$ . Это примерно на 50% превышает величину, полученную ранее из теоретических моделей верхних слоев атмосферы. Правда, не исключено, что эта величина изменится со временем. В дальнейшем такими исследованиями предполагается охватить возможно более широкий спектр химического состава мезосферы.

«Smithsonian Institution Research Reports», 1977, № 17, p. 5 (США).

Археология

## Почему погибла цивилизация мочика?

Последние исследования американских археологов<sup>1</sup>, изучавших памятники древней архитектуры и оросительные сооружения, построенные на северном побережье Перу до прихода испанцев, по-новому освещают проблему гибели цивилизации мочика — одной

<sup>1</sup> Shimada I. Economy of prehistoric urban context: commodity and labor flow at Moche V Pampa Grande, Peru. University of Arizona, 1977; Cultural interaction and emerging complexity during the Middle Horizon on the North coast of Peru.— «Research proposed submitted to the Nat. Sci. Foundation», Washington, D. C. University of Oregon, Eugene, 1977.



Божество и мифологический герой индейцы мочика Аи-Апек. В руках у него землекопалка; рядом с ним мальчик-сеятель, разбрасывающий зерна. На божестве богатый костюм вождя-жреца, одного из местных правителей, под началом которых находились отдельные части долины. Это изображение Аи-Апека помещено на резком навершии землекопалки с медным лезвием, найденной в могиле местного правителя-жреца.



Бог-олень в образе воина с палицей в руках. Олень — один из самых популярных зооморфных божеств мочика.

из наиболее выдающихся культур древней Америки.

Зарождение культуры мочика относится к первым векам до н. э. Примерно к III—IV в. н. э. можно отнести сложение у мочика государства. Центром культуры были долины Моче и Чикама, расположенные в 500 км к северу от Лимы. На левом берегу р. Моче, неподалеку от устья, находилась мочикская столица. До сих пор здесь возвышаются две огромные ступенчатые пирамиды, условно называемые пирамидами Луны и Солнца. Пирамида Солнца (высота более 40 м) — самое грандиозное сооружение среди созданных в Южном полушарии до появления европейцев.

В течение нескольких веков индейцы мочика вели успешные войны с соседями. Они частично вытеснили местное население, частично покорили его. Но внезапно в развитии мочикской культуры наступил кризис. Сперва были потеряны новоприобретенные долины к югу от Моче, а затем и на основной территории памятники других культур сменили мочикские. При этом лет за 100 до своей окончательной гибели мочика проникли в большие долины Пакасмайо и Ламбайеке, расположенные к северу от Чикамы. Вблизи головных сооружений нескольких магистральных оросительных каналов в Ламбайеке возник огромный по тем временам город, Пампа-Гранде, площадью 5—6 км<sup>2</sup>. По-видимому, сюда была перенесена столица мочика. Другой крупный центр (возможно, независимый от Пампа-Гранде) возник в это время на правобережье Моче — в Галиндо, выше по течению. В начале VIII в. Пампа-Гранде была оставлена жителями; как обстояло дело в Галиндо, пока неясно. Так или иначе, мочикская цивилизация и в Моче, и в Ламбайеке прекратила существование.

Долгое время для объяснения причин гибели культуры мочика выдвигалась в различных вариантах одна гипотеза: вражеское нашествие, возможно, спутствуемое восстанием покоренных племен. Это предположение возникло не на пустом месте: примерно

временем, следующим за гибелью мочика (VIII в.), датируются найденные на северном побережье Перу сосуды, прототипы которых изготовляли ремесленники культур Лима-Пачакамак и Уари, жившие на побережье в районе нынешней перуанской столицы и в горах к югу от нее. Аналогично, по отдельным находкам характерных сосудов, распознается археологами и позднейшее инское завоевание, которое также далеко не везде оставило после себя более явные следы в виде храмов и крепостей.

И. Шимада, М. Мосли и другие американские ученые, работающие сейчас в Перу, пришли, однако, к выводу, что вражеское нашествие с юга, если оно и впрямь имело место, было не причиной ослабления мочика, а его следствием. Кризис цивилизации северного побережья Перу они гипотетически связывают с нарушением хрупкого экологического равновесия в этом районе в результате изменения климата (которое само по себе могло быть и незначительным) и хозяйственной деятельности человека.

Как известно, на перуанском побережье дожди почти не выпадают. Со склонов Западной Кордильеры в Тихий океан стекает много рек, но все они маловодны и слабо орошают прибрежные долины. Источником влаги служат здесь также зимние туманы. Благодаря им в североперуанской пустыне произрастает скудная растительность, достаточная, однако, для закрепления песков. Без нее дюны готовы прийти в движение и засыпать оазисы.

Один из наиболее правдоподобных вариантов гипотезы американских ученых заключается в следующем. Согласно последним исследованиям, в эпоху расцвета мочика, в V в., количество осадков в горах возросло, что привело к повышению уровня воды в реках побережья. Открылась возможность строительства новых каналов и орошения дополнительных площадей. Можно не сомневаться, что подобный хозяйственный прогресс сопровождался ростом населения.

В дальнейшем, однако, дожди в горах стали вновь выпадать реже, уровень воды в реках упал и вода перестала самодельно поступать на новые поля, а возможно, и на часть старых. Одновременно в результате роста населения и приближения границ освоенной территории к границе холмов ускорилось уничтожение древесно-кустарниковых пород, служащих и кормом для лам, и топливом. Это привело в движение дюны на левобережье Моче, и примерно в то время, когда мочика, потеряв южные долины, проникли в долины к северу от Чикамы, их столица в низовьях Моче оказалась под песком. Этот слой песка до сих пор мешает ее археологическому изучению.

Таким образом, к VII в. численность населения на северном побережье значительно возросла в результате предшествующего благоприятного развития, а площадь пригодных для обработки земель и, очевидно, объем сельскохозяйственной продукции внезапно сократились. Это привело сперва к неоправданно высокой концентрации населения в городах Пампа-Гранде и Галиндо, занимавших стратегически важное положение у головных сооружений каналов, к попыткам овладения новыми землями к северу от Чикамы, а затем — к общему ослаблению культуры под действием внешнего давления.

Нам представляется, что заключительный удар мочикской цивилизации был нанесен все же не природой, а людьми. Об этом говорят неоднократно встреченные следы пожаров на городище Пампа-Гранде. В некоторых складских помещениях там было найдено большое количество обугленных бобов и початков маиса; в других же складах, где предположительно хранились ткани и иные ценные вещи, не найдено ничего. Значит ли это, что все разграбили завоеватели? Или ценности унесли с собой сами мочика? Если так, то куда направились они, покинув столицу?

Археологические работы, которые планируются на

полевой сезон 1978 г., возможно, помогут это выяснить.

**Ю. Е. Березкин**

Кандидат исторических наук  
Ленинград

Организация науки

## Премия за научный обзор

Учреждена еще одна премия Национальной академии наук США — премия имени Дж. М. Лака за успехи в создании научных обзоров. Учрежденная совместно Институтом научной информации и журналом «Эннуал Ривьюз» в размере 5000 долл., она будет присуждаться ежегодно, начиная с 1979 г., автору лучшего научного обзора.

Хотя всем прекрасно известно, что научные обзоры крайне необходимы, побудить специалистов к их написанию не так-то легко. Те, кто лучше всего разбирается в проблеме, как правило, заняты оригинальными исследованиями. Для написания обзора они должны отложить в сторону свою текущую работу и потратить значительное время и усилия на синтезирование и оценку информации в определенной ограниченной области знаний. Новая премия призвана не только компенсировать автору наилучшего обзора его затраты, но также и принести ему известность, которую он заслуживает. Более того, эта премия есть символ того долга, в котором весь научный мир находится перед авторами обзоров.

Учредители премии надеются, что она побудит квалифицированных ученых на создание хороших обзоров. В этом их убеждает пример с премией Дж. Грэди (2000 долл.) за популяризацию химии, которая была присуждена, например, А. Азимову в 1965 г. и У. Салливану в 1969 г. и в значительной мере способствовала повышению общественного интереса к этой дисциплине.

«Current Contents», 1978,  
v. 18, No 15, p. 5—8 (США).

## Биографические словари у нас есть

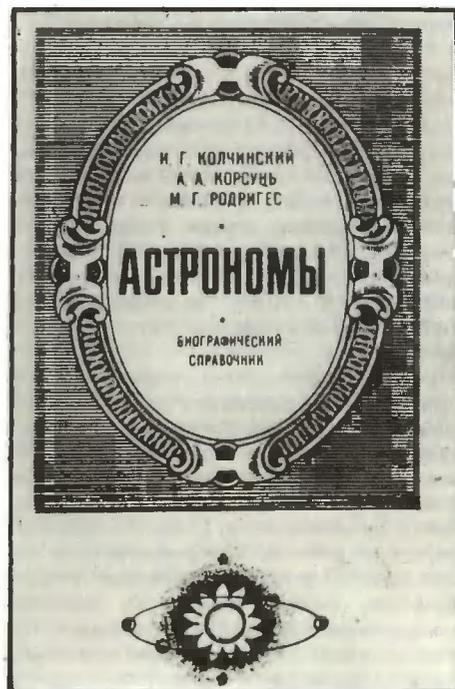
С. А. Кордюкова Н. Б. Лаврова

Москва



Ю. А. Храмов. ФИЗИКИ. Биографический справочник. Киев. «Наукова думка», 1977, 508 с.

В печати неоднократно звучали сетования на то, что наша справочная литература бедна биографическими словарями, в частности посвященными ученым<sup>1</sup>. За 20 лет, прошедшие со времени выхода «Биографического словаря деятелей естествознания и техники» (т. 1—2, М., 1958—



И. Г. Колчинский, А. А. Корсунь, М. Г. Родригес. АСТРОНОМЫ. Биографический справочник. Киев, «Наукова думка», 1977, 414 с.

1959), читатели получили только справочник «Академия наук СССР. Персональный состав» (т. 1—2, М., 1974). Книга была прекрасно подготовлена и издана, но это не биографический словарь. Казалось бы, настало время издательству «Советская энциклопедия» заняться выпуском такого рода изданий. Но на призыв общестественности откликнулось издательство Академии наук Украины «Наукова думка». В 1977 г. появились первые две книги

<sup>1</sup> См., например: Величко Ф. К. Нам нужен биографический словарь.— «Природа», 1970, № 11.

(на русском языке) из задуманной этим издательством серии биографических словарей деятелей естествознания — «Физики» и «Астрономы». Книги не залежались в магазинах и пользуются большим спросом в библиотеках.

В «Физиках» помещено около 1000, а в «Астрономах» свыше 450 биографий отечественных и зарубежных ученых разных времен — от древности до наших дней. К большинству статей даны портреты. В «Астрономах» помещены также фотографии планет, карты Луны и Марса, схемы телескопов и т. п. В «Физиках» такого рода иллюстраций, к сожалению, нет.

Советские ученые представлены академиками и членами-корреспондентами АН СССР и академиками АН союзных республик. Отмечен ряд ученых, внесших большой вклад в науку, но не ставших членами академий. Даны биографии русских ученых, начиная с М. В. Ломоносова. Включены статьи о лауреатах Нобелевской премии (до 1976 г.), иностранных членах АН СССР, членах академий социалистических стран. Некоторые биографии публикуются в нашей справочной литературе впервые.

В каждой статье указаны даты жизни, говорится, где человек получил образование и какое, где работал, упомянуто членство в академиях и т. п. Но основное содержание статей — рассказ о научной деятельности ученого. В некоторых случаях дано лишь перечисление областей науки, в которых он работал или работает, но чаще — это краткий очерк о сделанных ученым открытиях, установленных им законах, обнаруженных явлениях. Говорится о научных школах, созданных тем или иным ученым о присужденных ему премиях, о премиях и медалях, учрежденных в его честь.

Оба справочника снабжены солидным списком литературы и несколькими приложениями. Главное из них — хронология важнейших открытий. В «Физиках» это приложение содержит около 2000 фактов и занимает свыше 80 страниц; в «Астрономах» — около 300 фактов и 15 страниц. В «Физиках» даны также списки всех лауреатов Нобелевской премии по физике (до 1976 г.) и некоторых лауреатов Нобелевской премии по химии. В «Астрономах» приложений больше. Здесь приводятся также даты основания крупнейших астрономических учреждений и ввода уникальных астрономических инструментов, рассказано об именах астрономов на картах Марса и Луны, приведена справка о Международном астрономическом союзе. За-

канчиваются обе книги алфавитным перечнем персоналий.

Как уже говорилось, «Физики» и «Астрономы» — первые выпуски из подготавливаемого издательством серии биографических словарей. Хотелось бы, чтобы следующие книги были лучше. Поэтому мы позволим себе высказать ряд замечаний и пожеланий.

Начнем с библиографии. Статьи об ученых в рассматриваемых книгах достаточно кратки, и, как правило, читатель может получить из них только первоначальные сведения. Поэтому большое значение имеет рекомендуемая литература. В «Физиках» и «Астрономах» она дается не при каждой статье, а единым списком в конце книг: 304 названия — в «Астрономах» и не многим более 200 — в «Физиках». В «Астрономах» литература пронумерована, и в конце каждой биографической статьи есть ссылки на соответствующие номера списка. В «Физиках» этого, к сожалению, не сделано (хотя в украинском издании этого справочника, вышедшем раньше, в 1974 г., номера и ссылки на них были).

В обоих списках в алфавитном порядке приведены подряд и сочинения самих ученых, и литература о них. Это не совсем удачно. Фундаментальные труды ученого следует упоминать в самой статье. Там же должно сообщаться об изданиях собраний его сочинений. Сейчас это делается бессистемно. Так, в «Физиках» в статье об И. Кеплере названы четыре его труда, в статье о Р. Декарте — только один (хотя в приложении упоминаются еще два), в статье об О. Ж. Френеле — ни одного. Читатель не узнает о существовании «Основ теории электричества» И. Е. Тамма, выдержавших с 1929 по 1966 гг. 8 изданий, об известной книге Э. Шредингера «Что такое жизнь? С точки зрения физика» и т. д.

В библиографии не приведены многие доступные широкому читателю и чрезвычайно полезные работы. Очень скупо представлены персоналии, помещенные в журналах и сборниках.

Наконец, библиография в данном случае могла бы играть и более самостоятельную роль, если ее разделить на несколько отдельных рубрик. Например: 1. Книги по общей истории естествознания; 2. Биографические словари; 3. Библиографические указатели; 4. Книги по истории астрономии, физики и отдельных их разделов; 5. Труды об отдельных ученых — научно-художественные и научные биографии, некрологи, статьи в журналах и сборниках.

Следует обратить внимание и на русскую транскрипцию иностранных фамилий и имен.

Как известно, в алфавитном справочнике место статьи определяется только алфавитом. Если фамилия написана в неизвестной читателю транскрипции, он не сможет найти нужную ему биографию. Например, и в «Физиках» и в «Астрономах» есть биография Нобелевского лауреата Альфвена. В то же время в списке литературы в обеих книгах он назван Альвеном, и совсем не очевидно, что это — один и тот же человек.

В нашей литературе встречаются написания: Айткен и Эйкин, Силард и Сцилард, Парселл и Перселл, Херцберг и Герцберг, Зигбан и Сигбан и т. д. Поэтому нужны специальные меры для помощи читателю. Обязательно использование традиционного способа энциклопедий — ссылок: Бос. Ш.— см. Бозе Ш., Джайвер А.— см. Живер А. и т. д. Кроме того, в основной статье должны перечисляться все употребляющиеся в нашей литературе транскрипции. Бесспорно также, что оригинальное написание фамилий должно приводиться в самих статьях, а не во вспомогательном списке (как это сделано в обеих книгах). Очень желательно было бы дать дополнительный алфавитный именной указатель иностранных ученых в оригинальном написании с соответствующей русской транскрипцией.

Особо следует остановиться на написании имен арабских ученых средневековья. И в «Физиках» и в «Астрономах» они представлены в латинизированных формах, между тем как в советской историко-научной литературе существует уже многолетняя традиция передачи арабских имен в их подлинном звучании. Поэтому следовало бы писать ас-Суфи, а не Азофи; Ибн-аль-Хайсам, а не Альхазен; Фергани, а не Альфраган, аз-Заркали, а не Арзахель и т. д. Латинизированные же формы привести с отсылками (Альхазен — см. Ибн-аль-Хайсам).

Очень желательно ставить ударения в фамилиях. Не всегда правильно произносятся даже имя Ньютона и Ферми, не говоря уже об именах менее известных.

Полезная часть обеих книг — хронология, тем более что она доведена до 1974 и 1976 гг. Но, к сожалению, в ней встречаются расхождения с биографическими статьями. Так, справочник «Физики» в статьях о М. Даныше и Е. Пневском говорит, что они открыли гипер-ядра в 1952 г., а в хронологии это событие отнесено к

1953 г. В статье о Э. В. Шпольском дата открытия эффекта, названного его именем, — 1959 г., а в хронологии — 1952 г.

Имена ученых, статьи о которых помещены в словаре, отобраны по определенным критериям. Главный из них — вклад ученого в науку. Тот же подход естествен и в отборе фактов для хронологии: каждый приведенный в ней факт — ступень научного познания. Таким образом, попавший в хронологию должен попасть и в биографическую часть книги. Тем не менее в «Физиках» почему-то часто нет статей об ученых, упоминаемых в хронологии. Это относится к деятелям всех времен, начиная с Пифагора и Эратосфена и кончая ныне работающими Э. Блумом, Дж. Бьёркеном, Г. Венециано, Л. Пфайфером, Дж. Уитли и др.

В словарях отсутствует около 20 советских ученых-физиков — академиков и членов-корреспондентов АН СССР, как покойных, так и ныне здравствующих. Включены не все академики АН союзных республик. Нет биографий ряда русских ученых — первого академика Петербургской Академии наук по физике Г. Б. Бюльфингера, основателя Главной физической обсерватории академика Петербургской Академии наук А. Я. Купфера, вице-президента Русского физико-химического общества Н. Г. Егорова, академика Петербургской Академии наук астронома Н. И. Попова, одного из первых русских астрофизиков М. М. Гусева и др. Нет статей о лауреатах Нобелевской премии Ф. Ленарде и И. Штарке. Семья Бернулли представлена одним Даниилом, хотя в хронологии упоминается и Иоганн.

Кстати говоря, в биографическом словаре существенно указание родственных связей ученых, но этому не всегда уделено достаточно внимания. Так, в статье о П. Кюри не сказано, что М. Склодовская-Кюри его жена. Не упоминается, что Е. М. и И. М. Лифшицы и А. В. и Л. В. Шубниковы — братья. Остаются неясным, в каком родстве находятся М. и Дж. Бербиджи. Можно было бы сообщить читателю и то, что физик С. И. Вавилов — брат биолога Н. И. Вавилова и т. д.

Нигде не оговорено, что все даты в словарях даются только по новому стилю. Стоило бы даты рождения и смерти русских ученых приводить двойные — и по старому и по новому стилям.

Не говорится, где умер ученый — это нужно бы включить по возможности во все персоналии, а иногда указывать и место захоронения. То, что И. Ньютон и

М. Фарадей похоронены в Вестминстерском аббатстве, а И. В. Курчатов на Красной площади у Кремлевской стены, — весьма значительные факты.

Спорна необходимость эпитетов, приведенных в «Физиках»: Коперник, Галилей, Ньютон, Эйнштейн, Бор, Ферми определены как выдающиеся, Аристотель и Архимед — как известные. В то же время Ломоносов, Менделеев, Фарадей, Максвелл названы русскими и английскими. Вряд ли какое бы то ни было ранжирование (всегда очень условное) нужно читателю. Приятно, что в «Астрономах» оно отсутствует.

Один из показателей места ученого в науке своего времени — членство в академиях и научных обществах. К сожалению, для иностранных ученых указывается, как правило, только членство в национальных академиях и в АН СССР, а для советских — членство в АН СССР и АН союзных республик. Об остальных учреждениях говорится общая фраза: член ряда (или многих) академий наук и научных обществ. Желательно перечислять их все, включая тот или иной университет, почетным доктором которого избран ученый.

В статьях о Нобелевских лауреатах часто не указано, что Нобелевская премия получена совместно с другими учеными. Это неправильно.

Хотелось бы обратить внимание и на отсутствие в ряде статей некоторых значительных биографических сведений. Так, в статье о Б. Франклине не говорится, что он посвятил около 25 лет дипломатической деятельности. Ни слова не сказано о деятельности П. Ланжевена в годы немецко-фашистской оккупации и не отмечено, что в 1944 г. он вступил в Коммунистическую партию Франции. Не упоминается о пребывании Н. Бора в США во время второй мировой войны, об участии в работе над атомной бомбой и борьбе с атомной угрозой. Нет социальной оценки в статье об Э. Теллере. В статьях о некоторых современных немецких ученых, например Р. Л. Мессбауэре, Р. Ромпе, Г. Ю. Тредере и др., не указано, где они работают — в ГДР или ФРГ.

Хотелось бы обратить внимание и на название учреждений, которые упоминаются в статьях. Так, академия наук в Берлине иногда называется Немецкой, иногда — Германской (официальное название с 1972 г. — Академия наук ГДР). Университет в Берлине назван именем А. Гумбольдта, хотя он носит имя В. Гумбольдта, осно-

вателя университета. В статье о Л. В. Нордгейме упоминаются места его работы — Пердью университет и Дики. Правильнее было бы написать: Пердью университет (г. Лафайетт, Индиана) и университет Дьюка (г. Дарем, Сев. Каролина). Ценность справочников возросла бы необычайно, если бы можно было дополнить книги еще одним приложением, где в алфавитном порядке были бы названы все упоминаемые в биографиях научные учреждения, высшие учебные заведения, фирмы и т. п. с краткой аннотацией: название на языке оригинала, место нахождения и дата основания (или даты существования).

И, наконец, последнее пожелание. В рассматриваемых книгах практически не используются общепринятые в биографических справочниках сокращения, за счет которых может быть сэкономлено много места.

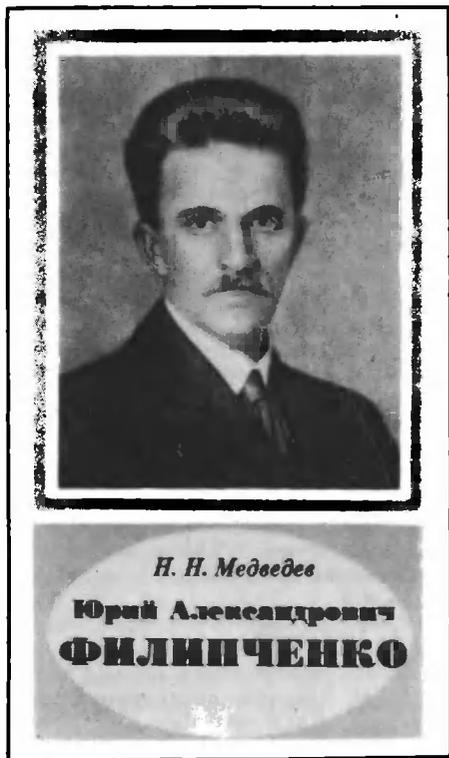
Недостатки книг «Физики» и «Астрономы» легко объяснимы. Издательство «Наукова думка» взяло на себя трудное дело: выпуск биографических справочников требует хорошо налаженной справочно-информационной службы, системы профессионально составленных карточек, специально подготовленных людей для подбора библиографии, проверки и сопоставления фактов и т. п. Тем не менее задача оказалась в принципе выполненной, а недочеты в дальнейшем поправимыми. Главное же то, что сдвинут с места тяжелый камень — ведь биографических словарей, посвященных физикам и астрономам, у нас до сих пор не было.

Пожелаем же «Науковой думке» скорейшего переиздания «Астрономов» и «Физиков» и выпуска книг об ученых других областей естествознания.

## «Кладезь генетической премудрости»

Д. В. Лебедев

Ленинград



Н. Н. Медведев. ЮРИЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ ФИЛИПЧЕНКО. 1882—1930. Науч.-биограф. сер., М., «Наука», 1978, 103 с.

Юрий Александрович Филипченко оказал огромное влияние на развитие в нашей стране ряда биологических дисциплин. Особенно велика была его роль в развитии генетики — и как исследователя, и как организатора, и как педагога, и как популяризатора. «Благодарные потомки, — говорил о нем Н. И. Вавилов, — будут помнить в его лице то редкое сочетание мужества, таланта и личного примера без-

заветного служения науке и Родине, которое оставило глубокий след в развитии отечественной биологии». Автор этих проникновенных слов был глубоко прав; но, к сожалению, до сих пор Филипченко не было посвящено ни одного монографического исследования, и вся его «персоналия» ограничивалась тремя некрологами (А. А. Заварзина, М. А. Розановой и А. А. Филипченко), опубликованными в 1930—1932 гг. Первой попыткой воссоздать облик Филипченко и целостно охарактеризовать его вклад в науку является книга одного из его учеников — известного нашего генетика Н. Н. Медведева.

Восемь лет теснейшего общения автора книги с его учителем придали написанному им биографическому очерку особую ценность, позволили передать ту атмосферу служения науке, которая окружала Юрия Александровича и о которой говорил Н. И. Вавилов, помогли найти нужные краски для портрета.

Жизненный путь Филипченко при желании может быть описан очень кратко, в немногих словах. Одно из них неоднократно будет повторяться. Это слово «первый». Родился Юрий Александрович в 1882 г., в 1905 г. окончил естественное отделение Петербургского университета и был оставлен при нем для подготовки к профессуре. В 1913 г. начал читать первый в России университетский курс генетики, в 1917 г. защитил первую в нашей стране докторскую диссертацию по генетике и в том же году издал первый университетский учебник генетики на русском языке. В 1918 г. Филипченко создал первую университетскую генетическую лабораторию, а в 1919 г. на ее основе — первую кафедру генетики. В 1921 г. по его инициативе в Российской академии наук была организована первая генетическая ячейка, им же возглавленная, в 1923 г. вышел написанный им первый у нас учебник, посвященный проблеме изменчивости и ме-

тодам ее изучения, и в том же году — первое в нашей литературе критическое исследование истории эволюционной идеи в биологии. В 1927 г. Юрий Александрович издал первый курс частной генетики растений, а на следующий год — первый курс частной генетики животных. Перед самой смертью, в 1930 г. Филипченко сдал в печать первый советский учебник экспериментальной зоологии.

Начав свою научную деятельность исследованиями по эмбриологии и сравнительной анатомии низших насекомых (этим вопросам была посвящена и его магистерская диссертация, защищенная в 1913 г.), Юрий Александрович очень скоро заинтересовался генетическими проблемами. Как генетик-исследователь он отличался исключительной — даже для того времени — широтой. Он одинаково свободно и одинаково плодотворно обращался к изучению генетики растений, генетики животных и генетики человека, внося существенный вклад во все эти области. Центральное место в книге Н. Н. Медведева, естественно, занимает обстоятельный обзор и критический анализ генетических работ Филипченко.

Особенный интерес представляет разбор исследований, посвященных наследственности у человека. Они связаны с деятельностью основанного Юрием Александровичем Бюро по евгенике (1921), преобразованного затем в Бюро по генетике и евгенике (1925), впоследствии — в Лабораторию генетики (1930) и, наконец, — в Институт генетики АН СССР (1933). Эти исследования вызвали большой общественный резонанс и одновременно явились поводом для критики Филипченко, зачастую несправедливой. Сейчас можно дать вполне объективную оценку этой стороны его деятельности, установив и то положительное, что было в его работах, и его ошибки.

Заслугами Филипченко были: понимание того, что явления изменчивости и наследственности у человека подчиняются общим законам, действующим в мире живого; убедительная критика в связи с этим широко распространенных в то время представлений о наследовании приобретенных признаков, в частности применительно к человеку; глубокая убежденность в общественной значимости изучения генетики человека, осознанной в нашей стране лишь совсем недавно; решительное неприятие усиленно пропагандировавшихся тогда за рубежом мер отрицательной евгеники (принудительная стерили-

зация и др.) и расистских извращений генетики человека. Обстоятельно документированное цитатами из работ Филипченко изложение его взглядов показывает, что многие его идеи нашли свое развитие в теории и практике медицинской генетики наших дней. Но столь же несомненно, что он не смог в достаточной степени оценить значение новых социальных условий для осуществления возможностей, заложенных в биологической природе человека, и несколько переоценивал современное ему состояние генетики человека.

В 1923 г. Филипченко начал в Петроградском естественнонаучном институте Петроградского университета свои классические экспериментальные исследования по генетике количественных признаков у мягких пшениц, в том числе и тех, которые имеют важное хозяйственное значение (длина колоса, число колосков в колосе, его ширина и толщина, длина и ширина чешуи и зерна). Была установлена большая сложность генетической обусловленности указанных признаков и выявлено участие в их определении не менее 22 пар генов. Методическими особенностями этих работ были: тщательный индивидуальный анализ потомства всех интересных гибридных растений второго поколения и использование системы циклических (сравнительных) скрещиваний, впервые примененных Н. И. Вавиловым. Итоги данных исследований были подведены в монографии «Генетика мягких пшениц», подготовленной к печати Т. К. Лепиным — одним из ближайших сотрудников Филипченко — и изданной в 1934 г.

В 1930 г., незадолго до своей кончины, Юрий Александрович решил покинуть Ленинградский университет и принял предложение Н. И. Вавилова возглавить Отдел животноводства ВАСХНИЛ. Таким образом, он собирался сосредоточиться на тех объектах, с которых начинал свои генетические работы (его докторская диссертация 1917 г. была посвящена изменчивости и наследственности особенностей строения черепа у млекопитающих). Надо сказать, что интерес к генетике животных сохранялся у Филипченко все время. В 1927 г. по его инициативе было создано совещание по учету животноводческих ресурсов страны, а еще раньше — в 1926 г. — в Казахстан выехала первая экспедиция, имевшая целью изучить породный состав скота, которым владело кочевое население, и выяснить возможности использования его как исходного материала для селекции. В 1927—1932 гг. экспедиционными исследованиями кроме

Казахстана были охвачены Киргизия, Туркмения и Монголия. Экспедиции эти дали большой и ценный материал и для науки и для практики. Они способствовали развитию селекционно-генетических работ в указанных республиках, а осуществленная сотрудниками Юрия Александровича гибридизация казахстанских меринских овец с диким высокогорным бараном — архаром завершилась созданием новой ценной породы — архаромериносов. Впоследствии эта работа была удостоена Государственной премии СССР.

К генетическим работам Филипченко непосредственно примыкают его труды, посвященные проблемам эволюции. Среди них главное место занимает книга «Эволюционная идея в биологии». Можно не соглашаться с некоторыми положениями автора, с его оценками тех или иных эволюционистов, особенно в свете современного состояния теории эволюции, но и теперь, через 50 с лишним лет, нельзя не поражаться его умению вычленить в каждой из многочисленных эволюционных теорий самое главное, дать читателю максимально ясное представление о порой весьма запутанных и противоречивых взглядах биологов прошлого. Поэтому монография Филипченко и сейчас сохраняет большое познавательное значение.

Исключительно велика заслуга Филипченко как создателя ленинградской генетической школы. Но влияние Юрия Александровича как педагога выходило далеко за пределы круга его непосредственных учеников и учеников последних. П. М. Жукковский в предисловии к сборнику «Классики советской генетики» (Л., «Наука», 1968) писал, что Филипченко был «кладезем генетической премудрости и всесоюзным учителем молодежи». Действительно, на его книгах училось несколько поколений советских биологов. «Наследственность» вышла в четырех изданиях (последнее под заглавием «Генетика»), «Изменчивость и методы ее изучения» — также в четырех, «Эволюционная идея в биологии» — в двух. А к этим университетским курсам надо добавить еще «Общедоступную биологию», выдержавшую целых 12 изданий, и научно-популярные книги «Происхождение домашних животных» (два издания), «Как наследуются различные особенности человека», «Пути улучшения человеческого рода», «Изменчивость и ее значение для эволюции», «Гальтон и Мендель», «Беседы о живых существах», «Генетика и ее значение для животноводства СССР». Кроме того, Филипченко был

автором многочисленных научно-популярных статей, 11 из которых опубликованы на страницах «Природы» (в том числе такие важные, как «Статистический метод в биологии», «Гибриды домашних животных», «Хромозомы и наследственность», «Закон Менделя и Моргана»). Кстати сказать, первое издание «Наследственности» (1917) явилось последним выпуском серии «Естественноисторическая библиотека — «Природа», публикуемой издательством «Природа». Невозможно переоценить роль этих книг и статей, стоявших по своему содержанию на самом высоком научном уровне и написанных блестящим литературным языком — простым и точным.

Сейчас, когда переиздаются основные труды Филипченко (в 1977 г. вышла «Эволюционная идея в биологии», готовятся к печати «Генетика мягких пшениц» и «Изменчивость и методы ее изучения»), биографический очерк Н. Н. Медведева явится как бы введением к ним. Он позволит новому читателю лучше понять значение переиздаваемых книг, уяснить их место в мировой и отечественной генетической литературе. Жаль только, что очерк этот вышел таким мизерным тиражом — 2100 экземпляров. Но здесь мы касаемся большого вопроса нашего издательского дела — тиражирования научных книг вообще.

И еще одно замечание. Сам Н. Н. Медведев справедливо рассматривает свою книгу лишь как первую попытку обрисовать молодому поколению биологов незаслуженно преданный забвению образ своего учителя. Эта попытка несомненно очень удачная, и советские биологи принесут автору свою искреннюю благодарность. Но книга Н. Н. Медведева должна стимулировать дальнейшее изучение научного наследия Филипченко и его роли в становлении современной биологии в нашей стране. При этом обязательно следует обратиться к личному архиву ученого, хранящемуся в Государственной публичной библиотеке им. М. Е. Салтыкова-Щедрина и до сих пор фактически не использованному.

Будем надеяться, что этого второго этапа в изучении творчества замечательного советского биолога не придется ждать слишком долго.

## Астрономия

**Дж. Хей.** РАДИОВСЕЛЕННАЯ. Пер. с англ. Б. Н. Пановкина. М., «Мир», 1978, 284 с., ц. 1 р. 70 к.

Современные сверхчувствительные радиоастрономические методы значительно расширили возможности комплексного изучения космических объектов. Несравненно большая емкость радиодиапазона по сравнению с оптическим обеспечивает огромную информативность радиоканала и позволяет получать ценнейшие сведения о многих недоступных или малодоступных для оптических методов особенностях астрофизических процессов. Дж. Хей принадлежит к числу ученых, стоявших у истоков современной радиоастрономии. Он популярно рассказывает об истории, методах, инструментах, достижениях и нерешенных проблемах современной радиоастрономии. Основное внимание автор уделяет описанию мощных радиотелескопов, методам изучения радиоизлучения Солнца и становлению радиолокационной астрономии, знакомству с Галактикой и ее основными радиоисточниками. В приложениях приведены системы единиц измерения и некоторые полезные сведения о радиоприемных устройствах.

## Физика

**А. С. Компанец.** СИММЕТРИЯ В МИКРО- И МАКРОМИРЕ. М., «Наука», 1978, 208 с., ц. 40 к.

Вопросы симметрии играют центральную роль в современной физике, являясь направляющим началом в постижении структуры мира. Покойный автор этой книги, известный физик-теоретик и опытный популяризатор нау-

ки, в трех центральных главах — «Симметрия законов механики», «Мир теории относительности», «О симметрии в микромире» — популярно изложил идеи квантовой механики и теории относительности, прочно вошедшие в современную науку и выдержавшие испытание временем. Вместо заключения редакция поместила полемическую статью А. С. Компанейца «Может ли кончиться физическая наука», которая вызвала в свое время много споров. Чтение этой статьи заставляет взглянуть на ряд привычных явлений с непривычной точки зрения, помогая понять суть сравнительно недавних открытий в физике.

## Биология

**Р. Левонти.** ГЕНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЭВОЛЮЦИИ. Пер. с англ. В. Г. Митрофанова. Под ред. А. В. Яблокова. М., «Мир», 1978, 351 с., ц. 2 р.

Труд Р. Левонтина — видного представителя американской школы генетиков-эволюционистов — содержит критический анализ достижений современной популяционной генетики. Книга состоит из трех частей: «Проблема», «Факты» и «Теория». Автор делает попытку преодолеть существующий в настоящее время разрыв между генетическим и другими направлениями в популяционной биологии и подводит читателя к выводу о недостаточности одних популяционно-генетических исследований для решения проблем микроэволюции. Последние, по его мнению, должны решаться генетиками в тесном сотрудничестве с экологами, морфо-физиологами и эмбриологами. Книга должна привлечь внимание биологов и всех тех, кого серьезно интересуют современные проблемы науки и жизни.

## Геология

**Н. А. Флоренсов.** ОЧЕРКИ СТРУКТУРНОЙ ГЕОМОРФОЛОГИИ. Отв. ред. Д. А. Тимофеев. М., «Наука», 1978, 238 с., ц. 2 р. 30 к.

Понятие «структурная геоморфология» возникло сравнительно недавно (в 1952 г.), но за прошедшее время новое научное направление, изучающее проявление геологической структуры как в современном рельефе, так и в прошлом значительно расширилось и окрепло. В книге обсуждаются теоретические и методологические основы структурной и отчасти общей геоморфологии. Освещено современное состояние большого круга проблем структурной геоморфологии, в частности морфологической интеграции и дезинтеграции, симметрии и дисимметрии в геоморфологии, горообразования (на примере Монголо-Сибирской горной системы) и др.

## Минералогия

**В. П. Петров.** РАССКАЗЫ О ТРЕХ НЕОБЫЧНЫХ МИНЕРАЛАХ. М., «Недра», 1978, 176 с., ц. 30 к.

Обычных камней не бывает. Каждый минерал — индивидуальность, и именно своей индивидуальностью он интересен людям. Известный геолог и популяризатор профессор В. П. Петров написал книгу о трех необычных минералах. Один из них — «горный лен», асбест, из которого еще в Древнем Риме делали несгораемые сафетки для императоров. Ныне этот минерал в огромном количестве добывается во всем мире. Электро- и теплоизоляционные шнуры, картон, бумага, ткань, вата, асбоцемент — во всех этих материалах используется необычное свойство асбеста расщепляться на

тончайшие нити. Эти нити состоят из спирально закрученных трубчатых пустотелых кристалликов.

Если у асбеста кристаллическая структура — микроскопический рулончик, то у другого удивительного минерала, слюды, основой структуры является тончайший лист. Прозрачные пластины слюды использовались еще в Средние века, когда в Европу везли из Московии добытые в Карелии кристаллы для слюдяных окошек. С тех пор по имени нашей страны стали называть белую слюду — мусковит, ценнейшее сырье электротехнической промышленности.

Третий рассказ в книге посвящен «кипящим камням» — цеолитам. При нагревании они вскипают и теряют воду, а затем вновь поглощают ее. К цеолитам относится обширная группа минералов, и все они очень интересны: один — как сорбент для нефти и газодобывающей промышленности, другой — как прибавка к лучшим сортам цемента, а третий — как украшение минералогических музеев и коллекций любителей камня. В книге много внимания уделяется рассказу о месторождениях и условиях образования этих минералов, что делает ее интересной не только для любителей камня, но и для студентов различных геологических вузов и техникумов, а также и для специалистов-геологов.

#### География

**С. Картер. КОРОЛЕВСТВО ПРИЛИВОВ.** Пер. с англ. Е. Л. Валихан. Под ред. Ж. К. Золотовой, Б. А. Кагана. Л., Гидрометеоиздат, 1977, 112 с., ц. 40 к.

«Хотя большинство из нас принимает приливы как нечто само собой разумеющееся, это одна из наиболее удивительных загадок нашего мира, одна из тех природных сил, которые оказывают наибольшее влияние на нашу жизнь... Только в последние годы мы начали серьезно изучать дина-

мику океана. По сути дела, мы знаем больше о движении планет, чем о любопытнейшем поведении приливов. Мы посылаем космические ракеты на сотни километров ввысь, но едва знакомы с пяти-восьмидесятиметровыми глубинами океана, куда приливы проникают каждый день». Так начинает свою книгу американский ученый и писатель С. Картер.

Он рассказывает о том, как от древних легенд и суеверий, возникших вокруг приливов, люди перешли к изучению этого интересного явления природы, показывает, какую роль сыграли приливы в истории человечества, как их используют в современной жизни, какое будущее их ожидает. С. Картер сумел в предельно ясной форме, доступной для непосвященных, объяснить механизм действия приливов. Автор настойчиво говорит о том, что, изучая космические дали, человек не должен забывать о своем родном доме — Земле, в частности и об океане, который вознаградит нас сторицей, когда мы узнаем его лучше.

#### География

**А. Ф. Трешников. ИХ ИМЕНАМИ НАЗВАНЫ КОРАБЛИ НАУКИ.** Л., Гидрометеоиздат, 1978, 192 с., ц. 75 к.

Автор книги, видный полярный изыскатель, член-корреспондент АН СССР, директор Арктического и Антарктического научно-исследовательского института, рассказывает о своих друзьях и коллегах, трех выдающихся советских ученых и полярниках — В. Ю. Визе, Н. Н. Зубове, М. М. Сомове, знакомит с основными этапами их жизни, с их научной и общественной деятельностью и вкладом в исследование полярных стран. Вместе с тем в яркой и занимательной форме описываются открытия в Заполярье, сделанные экспедициями других советских ученых-энтузиастов. Интересны и описания трех научно-исследовательских кораблей, названных именами трех героев.

В книге много иллюстраций, большинство которых приводится впервые.

#### География

**А. Г. Чикишев. КАРСТ РУССКОЙ РАВНИНЫ.** Под ред. Н. А. Геродецкого. М., «Наука», сер. «Планета Земля и Вселенная», 1978, 191 с., ц. 75 к.

Карст — это образование пустот, происходящее в известняках за счет их выщелачивания. Изучение этого явления имеет большое научное и народнохозяйственное значение. Разработка залежей полезных ископаемых, строительство различных объектов — все это требует предварительных карстологических исследований, которые ведутся с учетом того, что активизация хозяйственной деятельности человека в значительной мере изменяет развитие карстовых процессов. Автор рассматривает происхождение карста и дает подробные характеристики поверхностных, подземных и прибрежных карстовых форм.

В книге содержится краткий обзор основных этапов изучения карста Русской равнины в дореволюционный и советский периоды.

#### География

**И. М. Забелин. ФИЗИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ В СОВРЕМЕННОМ ЕСТЕСТВОЗНАНИИ.** (Вопросы истории и теории.) М., «Наука», 1977, 335 с., ц. 2 р. 60 к.

Автор прослеживает взаимосвязи географии с широким кругом других научных дисциплин как в прошлом, так и в настоящем, рассматривает особенности и логику развития географии, показывает, как формировались представления о биосфере и ее новой, высшей стадии — ноосфере. В книге освещаются вопросы ландшафтоведения, анализируются системы географических зон. Особое внимание уделено обсуждению роли географической среды в развитии человеческого общества.

## Археология

**В. Е. Ларичев.** ПОИСКИ ПРЕДКОВ АДАМА. (Рассказы археолога.) М., Политиздат, сер. «Беседы о мире и человеке», 1978, 127 с., ц. 20 к.

Уже давно высказывались предположения о существовании в прошлом особых, еще не обнаруженных промежуточных форм, связывающих в единую эволюционную цепь человека и предшествовавших ему животных. О поисках этого «недостающего звена» рассказывает археолог В. Е. Ларичев. Читатель узнает, как в результате открытий последних десятилетий постепенно меняется вид эволюционной цепи, ведущей к человеку. «Герои-предки,— пишет автор,— более не выстраиваются в строгую линейку, сменяя друг друга в отсчете тысячелетий. К финишу, черте, за которой открывается мир относительно совершенного разума и труда, они устремляются теперь, не вытянувшись в цепочку согласно субординации, а нестройной толпой, обгоняя друг друга и выталкивая с дорожки замешкавшихся и нерасторопных. Судьи — археологи и антропологи,— оценивая достоинства конкурентов, теряются в догадках, кто окажется победителем... Кольцо поисков неумолимо сжимается, и, пожалуй, теперь, как никогда ранее, видится день, когда загадочное, вечно ускользающее звено окажется, наконец, в человеческих руках».

## Археология

**М. Стингл.** ТАЙНЫ ИНДЕЙСКИХ ПИРАМИД. Пер. с чешск. О. М. Малевича. Под ред. и с послесл. Р. В. Кинжалова. М., «Прогресс», 1978, 280 с., ц. 1 р. 30 к.

До сих пор о городах доколумбовой Америки мы знаем очень мало, и, чтобы написать эту книгу, ее автор, известный чешский исследователь народов Америки, совершил путешествие в необыкновенный мир древних индейских цивилизаций. В книге попу-

лярно рассказывается об истории изучения культур ольмеков и майя, замечательных древних городах этих когда-то могущественных племен, многочисленных памятниках монументальной архитектуры индейцев, а также об исследователях-археологах и их нелегкой работе.

## История науки

**Н. А. Григорян.** НИКОЛАЙ ОСИПОВИЧ КОВАЛЕВСКИЙ (1840—1891). Отв. ред. Л. Я. Бляхер. М., «Наука», 1978, 160 с., ц. 50 к.

Русская физиология богата именами выдающихся ученых. Заметное место среди них принадлежит Николаю Осиповичу Ковалевскому, профессору Казанского университета, основателю всемирно известной Казанской школы физиологов. Физиологическая лаборатория и Физиологический институт Казанского университета, основанные Ф. В. Овсянниковым и Н. О. Ковалевским, стали центром развития экспериментально-физиологических и медицинских наук — гистологии, фармакологии, экспериментальной патологии и др. Однако к настоящему времени имя Н. О. Ковалевского оказалось полузабытым. В данной книге, рассказывающей о жизни Н. О. Ковалевского, показано, что он был не только талантливым ученым-физиологом, чьи научные заслуги высоко оценивали И. П. Павлов, Н. Е. Введенский, И. И. Мечников, В. М. Бехтерев, но и крупным общественным деятелем, глубоко заинтересованным в просвещении народа, в образовании и воспитании научной молодежи.

## Философия естествознания

**В. А. Лось.** ЧЕЛОВЕК И ПРИРОДА. СОЦИАЛЬНО-ФИЛОСОФСКИЕ АСПЕКТЫ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ. М., Политиздат, сер. «Над чем работают, о чем спорят философы», 1978, 224 с., ц. 35 к.

Книга дает критический анализ различных точек зрения на экологические перспективы. Особое внимание автор уделяет освещению историко-философских и теоретико-методологических аспектов отношения «человек — природа», изучению специфики экологической ситуации в современных исторических условиях и связи экологического кризиса с углублением общего кризиса капитализма. Прослеживается роль политики мирного сосуществования в деле охраны биосферы. Намечаются методы прогнозирования будущего биосферы.

## Философия естествознания

**М. Т. Кочарян.** ПОЛЬ ГОЛЬБАХ. М., «Мысль», сер. «Мыслители прошлого», 1978, 190 с., ц. 25 к.

Поль Анри Дитрих Гольбах (1723—1789) — один из выдающихся материалистов XVIII в., обладатель острого иронического ума и блестящего литературного таланта. В своих наиболее известных произведениях («Система природы», «Естественная политика», «Социальная система», «Универсальная мораль» и др.) он систематизировал и обобщил философские, атеистические, социально-политические и этические взгляды всей школы французского материализма XVIII в. Наряду с Вольтером, Дидро и Д'Аламбером Гольбах принимал активное участие в создании знаменитой «Энциклопедии наук, искусств и ремесел», отстаивал материалистические взгляды на природу и выступал с резкой критикой идеализма и религии.

В книге описана жизнь Гольбаха, изложены его естественно-научные, философские взгляды, политическая программа. В приложении помещены впервые переведенные на русский язык три фрагмента из его знаменитой «Социальной системы»: «О войнах», «Размышления о британском правительстве» и «Пороки общества».

## К истории не... оптики

**В. В. Канер,  
В. А. Миляев,**  
кандидат физико-математических  
наук

Рисунки В. В. Михайлина, кандидата физико-математических наук

В мае 1976 г. в Тбилиси проходила очередная VIII Всесоюзная конференция по когерентной и нелинейной оптике. Аббревиатура из первых букв названия конференции (КиНО) подсказала идею проведения шуточного «Вечера КиНО». Вечер должен был открываться чтением стихотворного «эссе» под названием «К истории не... оптики», написанного двумя участниками конференции. Были уже подго-

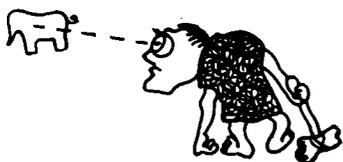
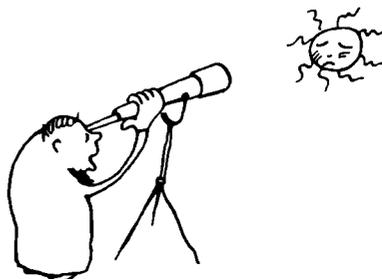
товлены макеты пригласительных билетов, расписана программа, но по ряду причин вечер не состоялся. Полгода спустя, на одном из вечеров Клуба физиков Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, где среди многих известных ученых находился Рем Викторович Хохлов (см. фото), «эссе» все же было зачитано и понравилось присутствующим. Предлагаем его вниманию наших читателей.



Рем Викторович Хохлов и его жена Елена Михайловна на вечере в Институте атомной энергии им. И. В. Курчатова в октябре 1976 г.

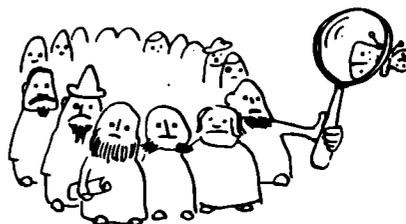
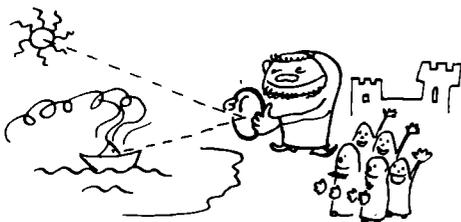
Фото С. В. Рылова

Солнце. Звезды. Гладь морская.  
Троглодит, с утра икая.  
Джунгли. Каменный топор.  
Глаз — оптический прибор.  
Мамонт — трепетная масса.  
Меткий камень. Груда мяса.  
Племя сыто. Сутки сна.  
Польза оптики ясна!



Пользы новые примеры —  
Третий век до нашей эры.  
Сиракузы. Архимед.  
Штурм. Война. Спасенья нет.  
Корабли. Атака с моря.  
Архимед: «Беда — не горе!»  
Солнце. Фокус. Зеркала.  
И кораблики — до тла!  
В честь героя — пляски, пенье...  
В быт — научное явление!

Дальше в рощу — больше дров.  
Коллективчик — будь здоров!  
Кеплер. Снеллиус-философ.  
Леонардо. Ломоносов.  
Бартолин, Гримальди, Гук.  
Гюйгенс (что Френеля друг).  
Как алмазы в этой груде —  
Максвелл, Эйлер, Пауль Друде,  
Юнг, Гельмгольц и Фарадей —  
Залп оптических идей!  
Сразу куча применений  
Без особых объяснений.



Дале — средние века.  
Польза света велика,  
Но костры все злее, злее.  
А в руках у Галилея  
Первый в мире телескоп.  
Бог ты мой! Глаза на лоб —  
Вот те на! Невероятно!  
И на Солнце тоже пятна!  
От прямого — первый крен:  
Нелинейный феномен!

Что такое? Мове тон!  
Где же Исаак Ньютон?!  
Тот, что всюду первым признан!  
Где же кольца, где же призмы?  
Как один из трех китов —  
Где теория цветов?  
Где вон то, и где вот это?  
Где корпускулярность света?!  
В разрешенье этих споров —  
Краткий перечень приборов:  
Лупы, призмочки, очки,  
Диафрагмы и зрачки,  
Маяки, монокли, фары,

Объективы, окуляры,  
Перископ и микроскоп,  
Спектроскоп, калейдоскоп,  
Рампа, светопартитура,  
Также камера Обскура,  
Слайд-проектор, синема —  
Ну довольно! Сил нема!

Ну, а как с судьбой корпускул?  
Их — к Эйнштейну на закуску,  
И теперь они в меню  
Под названием  $h\nu$ .  
А к чему про кванты речи?  
Ведь до лазеров далече!  
Недалече — шаг, другой...  
Свет — неоновой дугой.  
Нобель. Оптиков плеяды.  
Труд. Открытия. Награды.  
Но КГ<sup>1</sup> — не их удел.  
В чем же все-таки пробел?  
Вот — открытий перманентность,  
Вот — понятие когерентность...  
До смешного (в наши дни)  
Недогадливы они!  
Сила вся и мощь науки —  
Не в кристально чистом звуке,  
Не в прямой, не в белизне,  
Сила вся — в приставке не!

Вот пример: глагол **вертите**,  
А с приставкой — **Нефертити**.  
Существительное **он**,  
А с приставкой — газ **неон**.  
Шум. Угар. Скандальчик **винный**,  
Но с приставкою — **невинный**,  
А свидетель твой и **мой**  
С той приставкою — **немой**.  
Или: «**Ту**» по белу свету.  
Что-то **не** в винтах — и **нету**.  
Если часто носом в **розы** —  
Как итог, увы, **неврозы**...  
Бесконечна цепь примеров!  
**Не** — дорога пионеров.  
Вот и в оптике **оне**  
Нынче в моде эти **не**.  
От **келейной** — к **некелейной**,  
От **линейной** — к **нелинейной**...  
Путь науки — он **не** прям.  
Мазер. Лазер. Тарарам!

<sup>1</sup> КГ — квантовые генераторы (лазеры).

Сила — в мощном коллективе,  
Сила — в творческом активе!  
Из-за леса, из-за гор —  
Поначалу единицы  
В когерентной колеснице,  
Позже — сотни. Нынче — хор!  
Увертюра: от снобизма.  
До условий синхронизма.  
Нелинейный гранд-оркестр  
(Незаконченный реестр).

Среди первых контрабасов —  
Таунс, Прохоров и Басов,  
Ник Бломберген, Рем Хохлов,  
Созидатели основ...<sup>2</sup>  
Нежны звуки баритонов  
Сквозь туманы экситонов.  
Тема: мощный интеллект —  
В новый лазерный эффект...  
Дале — целый ряд гармоник,  
Параметрик, чистых тоник.  
Скерцо: «ВРГВГ»  
В ОКГ на АИГ...<sup>3</sup>  
Хор чудесный. Тон корректный,  
Нелинейно-когерентный.  
Все проблемы — в пух и прах  
На пучках и на парах!  
Нота чья же там так ловко?  
«Ля» — самофокусировка.  
А за нею — на-ни-на! —  
Когерентная длина...



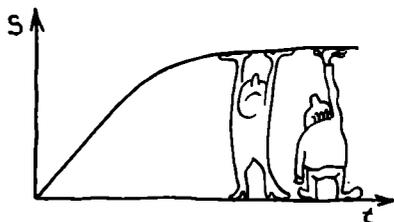
<sup>2</sup> Дальнейшее перечисление инструментов и исполнителей здесь опущено из-за громоздкости списка.

<sup>3</sup> ВРГ — внутрирезонаторная генерация; ВГ — вторая гармоника; ОКГ — оптический квантовый генератор; АИГ — алюмо-иттриевый гранат. В целом — название одного из докладов на конференции.

Жанр доклада — без глагола.  
 Догматизм — плохая школа.  
 Вот и жанр в тупик завел,  
 И до здравствует глагол!  
 Мы бежим, бежим, бежим...  
 Одномодовый режим,  
 Многомодовый режим...<sup>4</sup>  
 Эй, неоптики, по коням!  
 На неоне, на аргоне,  
 На бензине, керосине,  
 На спирту, на древесине,  
 Все, что тлеет и горит, —  
 Пусть вразнос загенерит!

<sup>4</sup> Мода (здесь) — собственное колебание резонатора, тип колебания.

Всех история рассудит.  
 Потому — без громких слов —  
 Пусть всегда в науке будет  
 Генерация умов  
 Выше уровня шумов!  
 Чтоб в талантливом проснулся  
 И развился интеллект,  
 Ход кривой чтоб не загнулся,  
 Чтоб науки не коснулся  
 насыщения эффект!



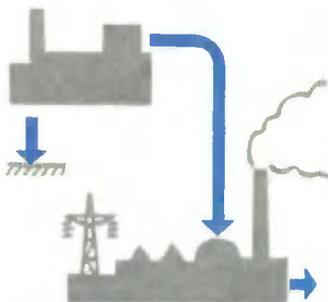
Художник П. Г. АБЕЛИН  
 Художественные редакторы:  
 Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:  
 Т. М. АФОНИНА, Т. Д. МИРЛИС

Адрес редакции 117049  
 Москва, В-49, Маро́новский пер.,  
 26.  
 Тел. 237-50-30, 237-22-97.

Сдано в набор 3/VII-1978 г.  
 Подписано к печати 14/VIII-1978 г.  
 Т — 15023  
 Формат бумаги 70×100 1/16  
 Офсет  
 Усл.-печ. л. 13,0 Уч.-изд. л. 17,3  
 Бум. л. 5  
 Тираж 85 000 экз. Зак. 1568

Чеховский полиграфический  
 комбинат Союзполиграфпрома  
 при Государственном комитете  
 СССР  
 по делам издательств,  
 полиграфии и книжной торговли.  
 г. Чехов, Московской области.



## В следующем номере

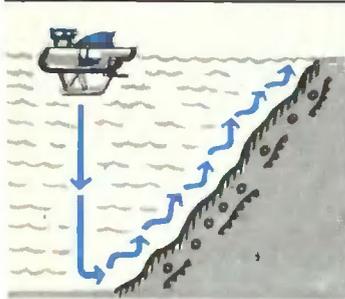
Вопрос о том, «выстоит» ли атомная энергетика или будет «отвергнута», зависит от ее безопасности для окружающей среды по сравнению с другими источниками энергии.

**Н. С. Бабаев, В. Ф. Демин, И. И. Кузьмин, В. И. Степанчиков.** Экологические проблемы атомной энергетики.



Советским ученым впервые удалось проследить за возникновением и развитием в течение шести лет биоценоза кораллового рифа от самых ранних стадий до почти полного восстановления.

**Д. В. Наумов.** Возникновение и развитие кораллового рифа.



Летом 1977 г. на Байкале проведены геологические исследования с помощью подводных обитаемых аппаратов. Они дали материал для проверки глобальных тектонических гипотез.

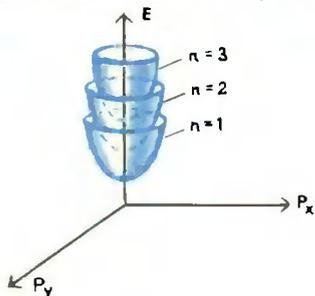
**А. С. Моини, Е. Г. Мирлин.** Изучение дна Байкала с помощью подводных аппаратов.



Более 70 лет географы и историки пытаются разобраться в причинах гибели полярного отряда экспедиции Р. Скотта. В их числе называют плохую организацию экспедиции, тяжелые климатические условия, моральное состояние участников...

**Причина гибели экспедиции Р. Скотта.**

**В. С. Корякин.** Несоответствие средств и цели.  
**З. М. Каиевский.** «Ужасное разочарование».



Открытие квантового размерного эффекта в пленках твердых тел не только дало новые методы исследования в физике твердого тела, но и привело к возможности создания нового класса электронных приборов.

**В. Н. Луцкий.** Квантовый размерный эффект в пленках твердых тел.

Цена 50 коп.  
Индекс 70707

