

ISSN 0013-788X

8 ПРИРОДА

1981



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Доктор биологических наук
А. Г. БАННИКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Доктор биологических наук
А. Л. БЫЗОВ

Заместитель главного редактора
В. А. ГОНЧАРОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Л. КРЕТОВИЧ

Доктор философских наук
Н. Ф. ОВЧИННИКОВ

Заместитель главного редактора
В. М. ПОЛЫНИН

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

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

Доктор биологических наук
А. В. ЯБЛОКОВ



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

На первой странице обложки. Глобусные часы Г. Ролля и Й. Рейнгольда (1586). См. в номере: Шеллингер К., Греч. Х. Дрезденский Государственный математико-физический салон.

На третьей странице обложки. Поверхности Ферми молибдена. См. в номере: Каганов М. И. Электроны на поверхности Ферми.

На четвертой странице обложки. Рисунок аборигена (северная Австралия) на коре эвкалиптового дерева на сюжет мифа о сестрах Ваувелак, проглоченных и затем возвращенных к новой жизни Змеей-Радугой. Изображена появляющаяся из воды и свертывающаяся вокруг хижины, в которой спят сестры и двое их детей, Змея-Радуга. Белые пятна на черном фоне представляют ночной ливень. Изображены также следы ног сестер, их обрядовые музыкальные палочки и три другие змеи, упоминаемые в мифе. Иллюстрация из книги: Robinson R. The Feathered Serpent. Sydney, 1956. См. в номере: Кабо В. Р. Природа и первобытное сознание.

В НОМЕРЕ

Пейве А. В., Трифонов В. Г. Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы	2
Денисюк Ю. Н. Голография — что мы знаем о ней сегодня	10
Каганов М. И. Электроны на поверхности Ферми	20
Шеллингер К., Греч Х. Дрезденский Государственный математико-физический салон	32
Федоров К. Н. Многоликое сосуществование соленых и пресных вод	46
Багдасаров Ю. А. Галактическая цикличность геологических процессов	57
Агапова Г. В., Удинцев Г. Б. Новое издание «Международной батиметрической карты океанов»	60
Несис К. Н. «Морской снег»	62
Янушевич З. В. Палеозтноботанические исследования в древнейших земледельческих центрах	65
Невский В. А. Структуры «конского хвоста» и руда	74
Шашкина Т. Б., Кондрашина В. А. «Секреты» колокольного ремесла	78
Кабо В. Р. Природа и первобытное сознание	88
Рей Дж. К., Доббин Дж. А., Салм Р. В. Стратегия защиты мест обитания морских млекопитающих	96

НОВОСТИ НАУКИ 102

КНИГИ, ЖУРНАЛЫ 122

Алексеев В. П. «Будьте героями» (122)

Коган В. И. О природе шаровой молнии (124)

НОВЫЕ КНИГИ 126

Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы

А. В. Пейве, В. Г. Трифонов



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



Владимир Георгиевич Трифонов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий кабинетом неотектоники и дешифрирования космических снимков Земли того же института. Занимается изучением неотектоники, современной геодинамики и применением аэрокосмической информации в геологии.

В течение последних десятилетий в геотектонике окончательно утвердились представления о блоковом строении литосферы и о преобладании в ней горизонтальных перемещений горных масс. Тектонические концепции, основанные на этом принципе, получили название мобилистских. Среди них наибольшей популярностью пользуется «теория тектоники плит», согласно которой отдельные плиты литосферы раздвигаются от рифтовых поясов и, сближаясь в противоположных частях, пододвигаются одна под другую в так называемых зонах субдукции. В рифтовых поясах, выраженных на поверхности грабенами и вулканическими структурами, за счет притока дифференциатов мантий-

ного материала происходит образование тонкой океанической коры основного (т. е. сравнительно бедного SiO_2) состава, а в зонах субдукции в результате структурных и химических изменений океаническая кора преобразуется в континентальную, более мощную, более метаморфизованную и обогащенную SiO_2 , щелочными и другими элементами.

В основе «теории тектоники плит» лежат представления о жесткости движущихся плит, охватывающих всю толщу литосферы. Ниже, на глубинах от нескольких десятков до полутора сотен километров начинается астеносферный слой, отличающийся от смежных частей литосферы пониженной скоростью прохождения сейсми-

ческих волн и, вероятно, пониженными вязкостью и прочностью. В современном варианте «теории тектоники плит» предполагается, что плиты литосферы движутся по астеносферному слою или, скорее, вместе с ним, подобно льдинам на воде. Однако новые геологические и геофизические факты дают основание полагать, что гигантских цельных и жестких литосферных плит не существует. Литосфера пронизана горизонтальными, наклонными и вертикальными подвижными зонами, так что отдельные ее пластины, названные литопластинами, перемещаются дифференцированно, будучи разделены слоями пониженной вязкости и прочности — астенослоями. Эти новые структурно-кинематические представления получили название концепции тектонической расслоенности литосферы¹.

Напомним, что в составе литосферы различаются земная кора (океанического, континентального и промежуточного типов) и подстилающая ее верхняя мантия, разделенные поверхностью Мохоровичича. В океанической коре под чехлом рыхлых осадочных пород залегают базальты, а под ними — интрузивные и метаморфические породы основного состава. В континентальной коре под осадочным или вулканогенно-осадочным чехлом обычно находятся в той или иной мере метаморфизованные породы гранито-гнейсового слоя. Ниже залегают более метаморфизованные и, как правило, более основные породы. В основании разреза земной коры местами выделяется так называемый полосчатый комплекс, представленный чередованием габброидов и метабазитов, характерных для нижних горизонтов коры, с дунит-гарцбургитовыми породами, характерными для верхней мантии. Вывод о тектонической расслоенности литосферы, т. е. структурной автономности и дифференцированности перемещений литопластин, сложенных перечисленными комплексами пород, основан на разнообразных геологических и геофизических данных.

Важнейшая группа доказательств связана с обнаружением в складчатых областях современных континентов сорванных покровов — обширных пластин горных пород, перемещенных по наклонным, иногда почти горизонтальным поверхностям на значительные расстояния от мест их первоначаль-

ного залегания. Систематизировавший сорванные покровы С. В. Руженцев² различает срывы внутри осадочного чехла, по границе между чехлом и кристаллическим основанием и внутри основания. О глубине отслоения и срыва можно судить по характеру пород, слагающих сорванную пластину — аллохтон. Сорванные покровы чехла были впервые описаны в начале столетия в Альпах. В дальнейшем геологи обнаружили подобные образования во многих складчатых сооружениях Альпийско-Азиатского горного пояса, Урала, Западной Европы, Аппалачей и др. Характерны многократные наслоения ряда сорванных пластин, редко выдержанные на большом протяжении. Величина известных геологам горизонтальных смещений горных масс переменна и обычно не превышает нескольких десятков километров.

Аллохтоны, включающие те или иные комплексы пород кристаллического основания, по мнению С. В. Руженцева, более протяженны и, вероятно, больше смещены, чем покровы чехла. Гранито-гнейсовые аллохтоны, возникшие в результате срыва верхней части континентальной коры, известны в Восточных Альпах, Карпатах, Гималаях. Более глубинные срывы, описанные, например, в Родобах и на Юго-Западном Памире, возникли, по-видимому, вблизи поверхности Мохоровичича. Они вывели на земную поверхность породы не только верхней, но и нижней части континентальной коры: плагиогнейсы, гранулиты, высокометаморфизованные габброиды, иногда ультрабазиты.

В последние десятилетия объектом пристального внимания геологов стали офиолитовые зоны и пояса. В них вскрываются морские осадочные породы, вулканические (обычно базальтовые) серии и породы древнего фундамента мафического, т. е. основного и ультраосновного состава. Эти образования обычно в той или иной мере метаморфизованы, но сходство их первичного состава и залегания с разрезами современной океанической коры позволяет видеть в них реликты древних океанов, исчезнувших в результате тектонической и химической переработки океанической коры и сближения перемещавшихся в горизонтальном направлении континентальных литопластин побережий³.

¹ Приоритет в разработке этого нового направления в тектонике принадлежит советским геологам. См.: Пейве А. В. Геотектоника, 1967, № 5, с. 8.

² Тектоническая расслоенность литосферы. М.: Наука, 1980.

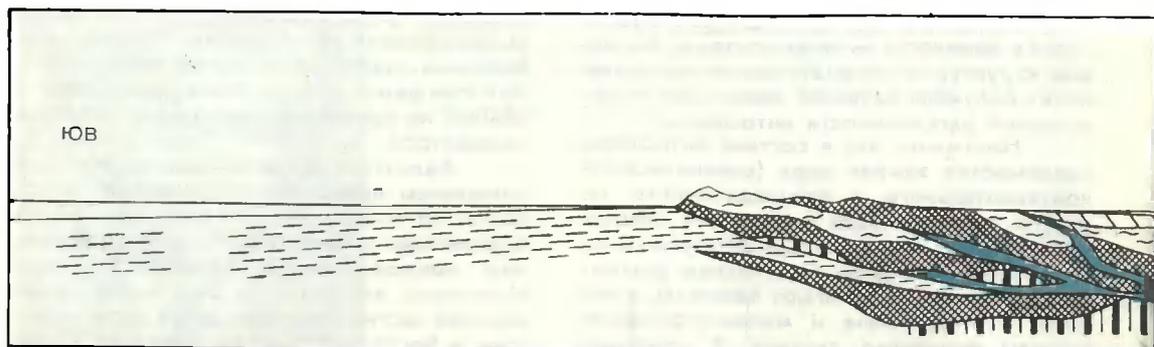
³ Пейве А. В. Офиолиты и земная кора. — Природа, 1974, № 2, с. 18.

Не удивительно поэтому, что офиолитовые серии часто имеют аллохтонное залегание и содержат в своем составе такие глубинные образования, как полосчатый комплекс, верхнемантийные дуниты и гарцбургиты. Можно полагать, что в этих зонах срыв происходил на уровне древней подошвы земной коры и внутри верхней мантии. Сорванные покровы такого типа детально изучены на Урале, в Северо-Американских Кордильерах, Альпах, на северо-востоке Азии и в других офиолитовых поясах.

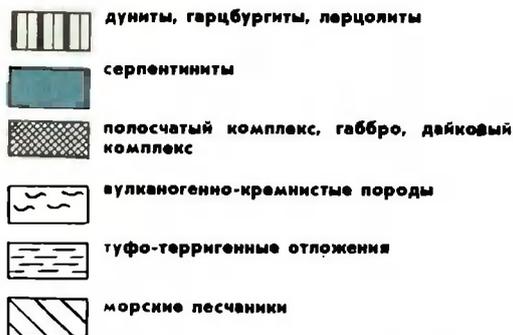
Большинство сорванных покровов

рения глубинного материала базальтового состава. Этот материал внедрялся по многочисленным трещинам, образуя дайковые серии и раздвигая тем самым окружающие породы.

На примере древних океанических образований Урала, Западных Саян и Монголии А. С. Перфильев и Н. Н. Херасков показали, что дайки, а иногда и сопровождающие или замещающие их магматические брекчии, насыщают нижнюю, габброидно-ультрабазитовую часть древней коры, но количество их резко уменьшается в под-



Глубинный сорванный покров, охватывающий земную кору и часть верхней мантии (реконструкция строения Корякского нагорья для кампанского века верхнемеловой эпохи; по С. В. Ружайцеву и С. Д. Соколову). Покров сложен породами верхней мантии и океанической коры, перекрытой морскими осадками. Вдоль зоны срыва сосредоточены породы пониженной вязкости — серпентиниты.



сформировалось в ходе преобразования океанической коры в континентальную и последующих деформаций континентальной коры. Можно полагать, однако, что выразившееся в этих срывах тектоническое расслоение литосферы унаследовано от более ранней, океанической стадии формирования и развития земной коры, когда происходило ее наращивание за счет внед-

стилающем дунит-гарцбургитовом слое верхней мантии, испытавшем интенсивную и сложную складчатость. Следовательно, раздвигание древней океанической коры происходило автономно от верхней мантии. Любопытно, что в основании серии даек и магматических брекчий нередко присутствуют силлы — послойные магматические тела, перемещавшиеся вдоль поверхностей срыва и скольжения раздвигавшейся коры, а, возможно, и сформировавшиеся в результате разогрева, вызванного таким скольжением.

Приведенные примеры характеризуют древние складчатые пояса. Здесь глубинные зоны срыва и дифференцированного горизонтального перемещения горных масс — астенослои в результате последующих геологических процессов оказались на земной поверхности и стали доступны непосредственному наблюдению.

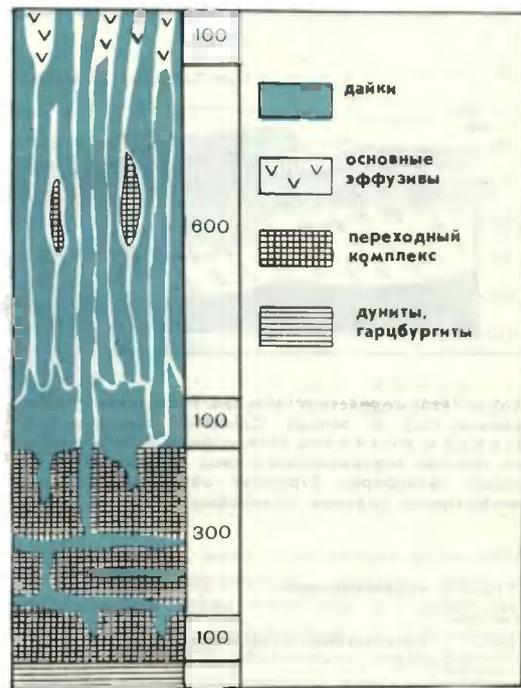
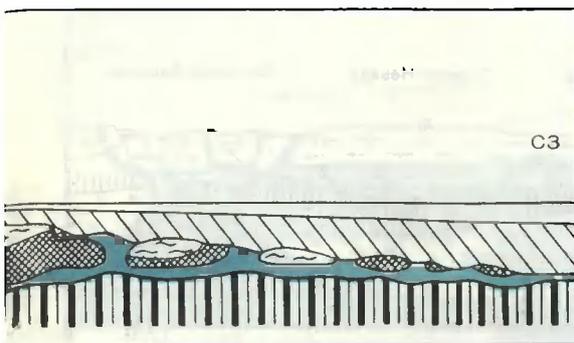
Иначе обнаруживаются признаки расслоенности в новейших (последние миллионы лет) и совсем молодых (последние десятки тысяч лет) структурах. Они повсеместно отражены в деформациях земной поверхности, и именно их характеризуют явления современной сейсмичности, повышение теплового потока и изменение некоторых других параметров среды, измеряемых геофизическими методами. Одна-

ко, в отличие от древних астенослоев, зоны новейших срывов и дифференцированных перемещений, как правило, скрыты на глубине, и задача сводится к поиску их проявлений в деформациях поверхности, сейсмичности и современных геофизических полях.

Способ решения этой задачи был предложен В. И. Макаровым, Ю. К. Щукиным и авторами⁴. Он основан на том, чтобы по комплексу признаков (степени и форме отражения в деформациях поверхности, вулканическим и гидрохимическим прояв-

ма левых (против часовой стрелки) сдвигов, надвигов и сжатых складок Поперечных хребтов восток-северо-восточного простирания и связанная с ней система субмеридиональных сбросов, горстов и грабенов Провинции бассейнов и хребтов.

Эти три системы развиваются, как показал А. В. Лукьянов, в динамическом единстве и образуют типичную для континентов ассоциацию структур. Судя по их сейсмическим характеристикам, а также структурно-геологическим, гравиметрическим, геотермальным и гидрохимическим



Принципиальная схема строения дайковых комплексов в разрезе древней океанической коры [по А. С. Перфильеву и Н. Н. Хараскову]. Дайки пронизывают нижние слои коры и частично переходный комплекс, но отсутствуют в верхней мантии. Справа указаны мощности выходов в метрах.

лениям, геофизическим полям и сейсмичности) определить, на каких глубинах те или иные новейшие структуры развиваются наиболее активно. На основе такого анализа проводится сопоставление структур, одновременно развивающихся в данной области на разных уровнях литосферы. Оказалось, что на разных глубинах нередко различаются как активность новейших зон нарушений, деформаций и магматической проницаемости, так и общий рисунок их расположения. В частности, были обнаружены глубинные подвижные зоны, весьма слабо и опосредованно отраженные в деформациях поверхности. Все это указывает на дисгармонию, автономность неотектонического развития разных слоев литосферы.

Так, на западе США среди новейших структур земной поверхности наиболее активна система разломов Сан-Андреас, которая протягивается с юго-востока на северо-запад более чем на 1000 км и характеризуется правыми сдвиговыми перемещениями (т. е. по часовой стрелке) со средней скоростью около 3 см в год. С системой Сан-Андреас сочетается систе-

данным, системы разломов нарушают верхний слой коры мощностью до 15—20 км, но глубже не продолжают. Под Сан-Андреасом, например, верхнемантийная зона высоких скоростей прохождения сейсмических волн протягивается с запада на восток, не испытывая смещения, а соотношения концентрации изотопов гелия и значения теплового потока указывают на отсутствие прямой связи разлома Сан-Андреас с верхней мантией.

⁴ Макаров В. И., Трифионов В. Г., Щукин Ю. К. Геотектоника, 1974, № 3, с. 114; Макаров В. И., Щукин Ю. К. Геотектоника, 1979, № 1, с. 96.

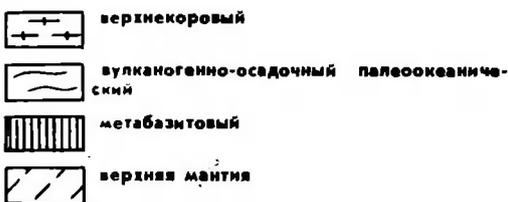
О новейшем тектоническом развитии (последние миллионы лет) более глубоких слоев литосферы свидетельствуют лишь косвенные признаки: аномалии в новейшем структурном рисунке поверхности, распределение вулканических образований и теплового потока. По ним реконструируется, например, главная система глубинных деформаций⁵. Она отстоит от Сан-Андреаса на 300–400 км к востоку и образована сочленяющимися почти под прямыми углами зонами относительного растяжения и сдвига, т. е. сходна с рифтово-трансформ-

турах разных слоев литосферы, обнаружены на Кавказе. В земной коре его юго-восточной части, например, различаются: новейшие структуры осадочного чехла (продольные к Кавказу складки и разрывы); структуры верхней части кристаллического основания (зоны диагональных и поперечных к Кавказу нарушений и деформаций); структуры более глубоких слоев коры (взбросовая зона «южного склона» Большого Кавказа). Направления смещений в этих трех структурных этапах отражают единый процесс сжатия земной



Схема взаимодействия литопластин восточного Тихого океана [А] и запада Северной Америки [Б]. Цветом показаны астеносфера и зоны срывов на границе верхнекорового слоя и более глубоких слоев литосферы. Стрелкой обозначена область наибольшего подъема астеносферы.

Слой:



ными системами срединно-океанических хребтов. Таким образом, главные элементы новейшей структуры верхней части континентальной коры и более глубоких слоев литосферы не только разобщены пространственно, но и различаются по существу, поскольку образуют в первом случае континентальную, а во втором — океаническую структурные ассоциации.

Признаки более многослойной дисгармонии, т. е. различий в новейших струк-

туры в результате сближения Аравии и Евразии, но реализуется оно в каждом структурном этапе по-своему. Различия более крупного масштаба намечаются на Кавказе между структурными этапами коры, которые охарактеризованы выше, и верхней мантией, где развивается крупная меридиональная система структур растяжения и магматической проницаемости. Эта система отражена на земной поверхности Транскавказским вулканическим поясом и, по мнению Е. Е. Милановского, продолжает Африкано-Аравийскую рифтовую систему.

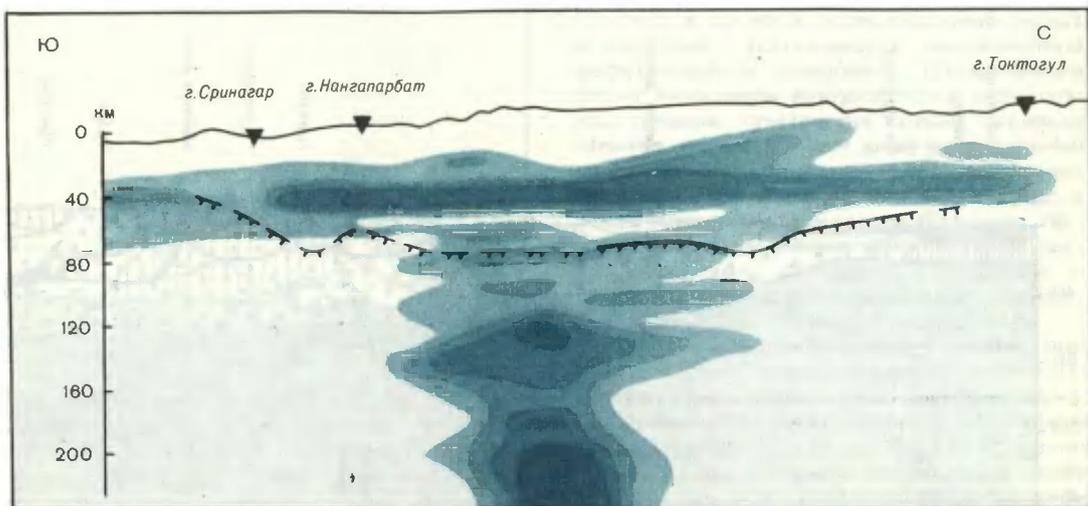
Еще более интенсивное сжатие, с которым связано грандиозное воздымание гор юга Средней Азии, Гиндукуша, Каракорума и Гималаев, было результатом сближения Индостана и Евразии. В процессе движения Индостанского клина к северу тектонические зоны, располагавшиеся севернее его, вовлекались в деформации, приводившие к срыву осадочного чехла и части кристаллического основания. Сорванные зоны сливались с Индостанским клином и двигались вместе с ним, вовлекая в деформации следующий участок. В результате зона наиболее активных верхнекоровых деформаций и смещений, отвечающая северному фронту движущегося клина, в течение последних 30 млн лет не-

однократно мигрировала к северу от верховий р. Инда до предгорий Памира.

Данные Ю. К. Щукина, проанализировавшего распределение очагов землетрясений, показывают, что надвиги и комбинированные надвиго-сдвиги современного северного фронта Индостанского клина, выходящие на земную поверхность в хребтах Петра Первого, Заалайском и их северных предгорьях, полого наклонены на юг и прослеживаются до глубины 30—40 км. А на глубине 60—250 км северный фронт Индостанского клина оказывается гораздо

ского горного пояса, на обрамлениях Тихого океана, в меньшей степени в континентальных и океанических рифтовых системах. Они отражают автономность развития отдельных слоев литосферы и возможность их дифференцированных горизонтальных перемещений.

На границах тектонически различно развивающихся слоев нередко регистрируются волноводы — горизонты понижения скорости и аномального поглощения сейсмических волн, вероятно, отражающие понижение эффективной вязкости и про-



Сейсмичность литосферы Тянь-Шаня и Памиро-Гималайского региона (по Ю. К. Щукину). Интенсивность окраски обозначает плотность гипоцентров землетрясений. На глубине около 40 км выделяется субгоризонтальная сейсмофокальная зона. Зубчатая линия соответствует положению поверхности Мезоровнича.

южнее (примерно на широте г. Хорога) и представлен почти вертикальной сейсмофокальной зоной. С различиями между активными зонами нарушений: разных структурных этажей связан и разный механизм реализации сжатия. Если в верхнем слое развиваются сорванные покровы, надвиги и складки, то глубже происходит утолщение литосферы и как бы отток горных масс в стороны от «острия» клина. На такой отток косвенно указывают сдвиговые смещения по субширотным коровым разломам Таджикской депрессии, Афганистана, Западного Китая и Монголии.

Те или иные признаки дисгармонии между новейшими тектоническими структурами разных слоев литосферы обнаружены и в других областях Альпийско-Азиат-

ности горных масс. Локальные волноводы в основании сорванных новейших структур осадочного чехла известны в Таджикской депрессии, Сулеймановых и Киртарских горах, Загросе и Восточном Тавре, где они приурочены к глинистым или соленосным толщам.

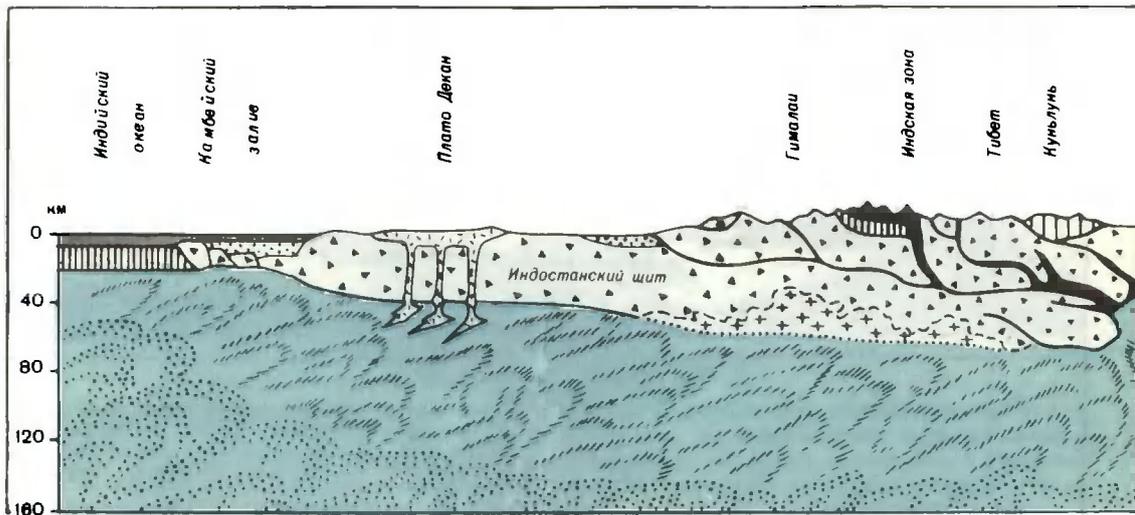
Для изучения более глубинных дифференцированных горизонтальных перемещений, по мнению Ю. К. Щукина, важны горизонтальные сейсмофокальные зоны, либо совпадающие с волноводами, либо расположенные непосредственно в их кровле или подошве. Такая зона выделена, например, под Памиром на глубине 35—40 км. В западной части Алеутской островной дуги, где глубина подобной зоны около 20 км, механизмы очагов землетрясений указывают на подвижки по горизонтальным поверхностям. Можно полагать, что по меньшей мере часть коровых волноводов сейсмоактивных областей образуется в результате дислокационного нарушения прочности среды или восстановления ее динамического равновесия, нарушенного

сильными землетрясениями. Дальнейшие подвижки по такой ослабленной зоне, проявляющиеся в виде более слабых сейсмических толчков, закрепляют изменения свойств среды. Со временем эти изменения могут усугубляться частичным плавлением горных масс за счет преобразования части механической энергии перемещения в тепловую.

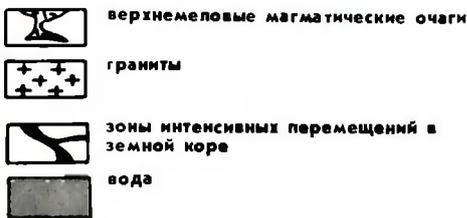
Во всяком случае, волноводы нередко служат границами вертикальных и наклонных сейсмоактивных разломов и зон. К волноводам и смежным с ними частям

литопластин зачастую приурочены близкие к горизонтальным сейсмогенные разрывы и зоны. Эти факты подтверждают наш вывод о том, что именно вдоль волноводов происходят наиболее интенсивные дифференцированные перемещения литопластин.

Волноводы внутри и в основании земной коры выявлены, главным образом, в современных подвижных поясах, но не ограничиваются ими. Они обнаружены и под океанической платформой востока Тихого океана, и под палеозойскими склад-



Схематический разрез литосферы Индостано-Тянь-шаньского региона (по А. А. Савельеву). Хорошо виден предполагаемый характер течения верхнемантийного материала литосферы, а также дисгармоничное перемещение земной коры относительно верхней мантии. Отдельные литопластины земной коры также смещены друг относительно друга и различно деформированы, на что указывают субгоризонтальные зоны интенсивных перемещений между коровыми литопластинами.



чатыми областями Западной Европы и Урала, и под древними платформами и щитами континентов (например, под Канадским, Балтийским и Украинским). Это дает основание предполагать, что тектоническое расслоение охватывает не только подвижные пояса, но и стабильные области литосферы. Возможно, оно имеет планетарное распространение.

В пользу такого предположения говорит и сопоставление скорости относительных движений крупных областей, охватывающих литопластины разной мощности и строения. Так, средняя скорость сближения Индостана и Евразии, рассчитанная для

континентальных блоков области их взаимодействия, составляет 3-5 см в год, тогда как скорость сближения Индостанской и Евразийской литосферных плит (т. е., по существу, скорость относительного движения смежных с Индостаном и Евразией литопластин с тонкой океанической корой) достигает 5-6 см в год⁶. Скорость относительного движения Тихого океана и Северной Америки, рассчитанная для континентальных литопластин запада США, оказывается в 1,5 раза меньше, чем для их океанического продолжения в Калифорнийском

Представление о структурно-кинематической неоднородности литосферы, состоящей из разделенных астенослоями литопластин, является новой концепцией мобилизма. Относительное движение литопластин представляется нам следствием течения горных масс в астенослоях. Оно неравномерно и по-разному распределено в разрезах литосферы разных областей, поскольку различны физические свойства литопластин, а астенослои имеют хотя иногда и значительную, но не планетарную протяженность. Неравномерность течения горных масс в астенослоях приводит к деформации и частичному разрушению литопластин, а также к возникновению новых астенослоев, усиливающих дисгармонию деформаций и смещений. Отторженные блоки литосферы вовлекаются в интенсивное течение, причем не только горизонтальное, но и с той или иной вертикальной компонентой. В результате происходит тектоническое перемешивание корового и мантийного материала на большую глубину, сопровождаемое химическими преобразованиями, частичным плавлением и гравитационной дифференциацией перемещающихся масс.

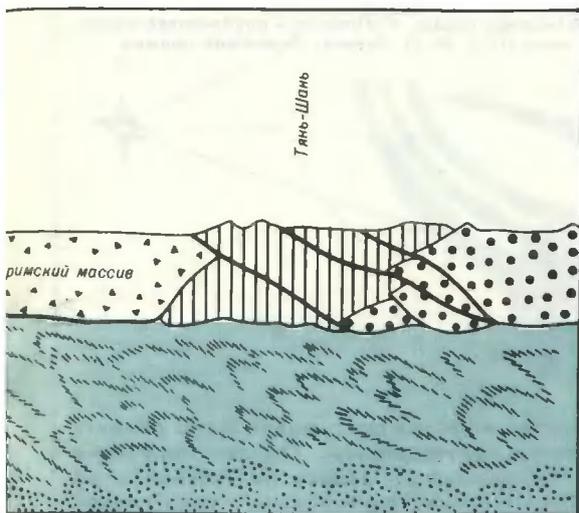
Можно полагать, что в целом под континентами перемешивание осуществляется интенсивнее, чем под океанами, но особенно значительно оно в подвижных поясах. В рифтовых подвижных поясах имеют место деструкция и раздвигание ранее сформированной коры с внедрением дифференциатов глубинного вещества. Во внутриконтинентальных и особенно окраинно-океанических подвижных поясах в результате столкновения и сжатия литопластин происходит аккреция коры и нарастание мощности литосферы как за счет скучивания коровых и мантийных масс, так и за счет физических и химических преобразований. Для таких областей гипотеза об общем пододвигании одной литосферной плиты под другую представляется сомнительной. Вероятно, тектонические процессы здесь более дифференцированы по глубине.

Возможность частичного плавления горных масс и транспортировки магматических продуктов вдоль зон интенсивных латеральных перемещений объясняет, на наш взгляд, многие особенности интрузивного магматизма и вулканизма континентов. С представлениями о тектонической расслоенности литосферы связаны и новые направления прогноза и поисков полезных ископаемых.

заливе. А скорость раздвигания верхнего слоя мощной океанической коры Исландии в 2 раза уступает скорости раздвигания литопластин с нормальной океанической корой в более южных районах Срединно-Атлантической рифтовой системы.

Во всех упомянутых случаях речь идет о различиях в скорости новейших относительных перемещений верхних литопластин областей с мощной земной корой и смежных с ними литопластин с тонкой океанической корой в пределах единого пояса нарушений и деформаций. Можно допустить, что эти различия отражают обособленность верхнекоровых образований, которые перемещаются медленнее подстилающих их литопластин и медленнее их океанических продолжений.

⁶ Средняя скорость сближения Индостана и Евразии рассчитана непосредственно по разрывным смещениям и складчатым деформациям континентальных блоков, а скорость сближения Индостанской и Евразийской литосферных плит — по полосовым магнитным аномалиям.



Голография — что мы знаем о ней сегодня

Ю. Н. Денисюк



Юрий Николаевич Денисюк, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией голографии Государственного оптического института им. С. И. Вавилова (Ленинград). Научные исследования посвящены физической оптике, в основном — голографии. Разработал метод записи голограмм в трехмерных средах. В «Природе» опубликовал статью: *Образы внешнего мира* (1971, № 2). Лауреат Ленинской премии.

Основы голографии — фотографического метода записи и воспроизведения волновых полей (световых, звуковых, радио-, электронных и т. д.) — были заложены в 1949 г. в работах английского физика Д. Габора. Фактически он показал, что двумерная фотографическая запись интерференционной картины, возникающей при взаимодействии сложной волны, рассеянной объектом, с волной, имеющей простую конфигурацию (обычно она называется опорной или референтной волной), обладает свойством восстанавливать волну объекта, если на такую запись — голограмму — снова направить референтную волну. В отличие от обычной фотографии, которая позволяет записать информацию только об интенсивности объектной волны, голограмма воспроизводит также и информацию об ее фазе. Отсюда, собственно, и произошел термин «голограмма», означающий: полная, всесторонняя запись.

Голография широко известна как метод, позволяющий получать эффектные объемные изображения тех или иных объектов. Действительно, если записать и воспроизвести со всеми подробностями поле излучения, рассеянного объектом, то глаз не отличит такое восстановленное поле от реальной объектной волны, и воз-

никнет иллюзия присутствия этого объекта перед наблюдателем. Однако получение изображений — далеко не главное и не единственное применение голографии. Фактически без нее не обходится теперь ни одна из областей науки и техники, где возникает необходимость получать наиболее полную информацию об объекте исследования. Это, например, физика плазмы, биология, медицина, машиностроение, электроника, прикладная математика и т. д.

В первые годы своего развития голография казалась многим одним из рядовых ухищрений оптики, аналогичных, например, фазово-контрастному микроскопу. Однако постепенно стали выясняться весьма глубокие закономерности, свойственные процессам, связанным с записью и воспроизведением голограмм. В частности, в ходе дальнейших исследований было установлено, что еще более широким спектром отображающих свойств обладает фотография объемной картины интерференции: в этом случае кроме амплитуды и фазы воспроизводится также и спектральный состав объектной волны, так что наблюдатель будет видеть цветное изображение объекта.

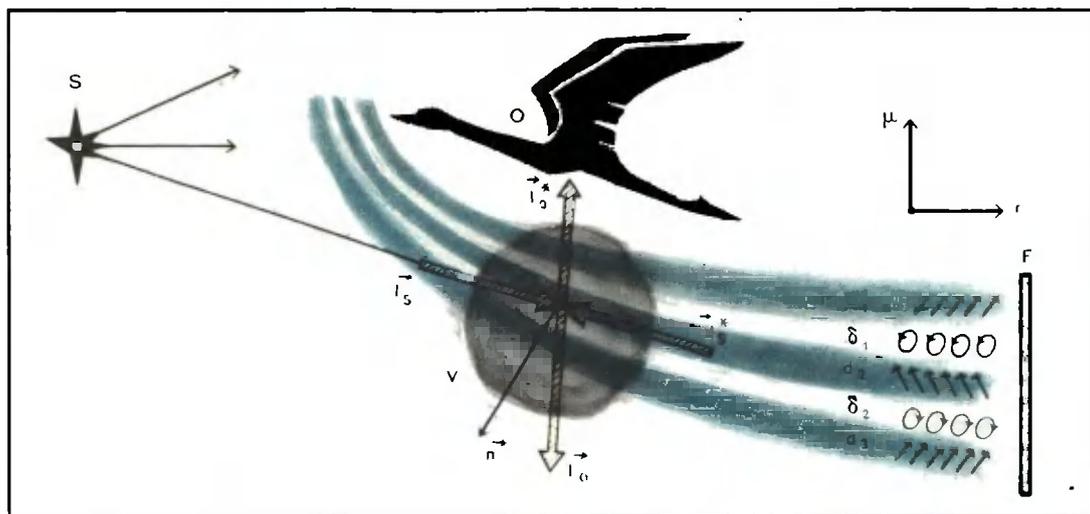
Записывая голограмму в средах со специальными свойствами, стало возможным воспроизводить также состояние поляризации объектной световой волны и даже ее изменение во времени. Была открыта способность голограмм генерировать идущую «вспять», так называемую обращенную волну. Ассоциативные свойства голограмм оказались чрезвычайно сходными с некоторыми сторонами процесса мышления.

Глубокое осмысление всех этих ис-

следований, выполненных в последние годы, приводит к представлению о голографии как о фундаментальном явлении, изучение которого обогащает не только оптику, но и другие разделы физики.

ОБЩАЯ СХЕМА ФУНДАМЕНТАЛЬНОГО ЯВЛЕНИЯ ГОЛОГРАФИИ

С позиций современной науки фундаментальное оптическое явление голографии в целом можно представить себе



Общая схема фундаментального явления голографии. На объект O , движущийся с произвольной скоростью, падает волна излучения источника S , заданная системой лучевых векторов \vec{I}_s . В результате интерференции этой волны с волнами, рассеянными объектом, вокруг него возникают бегущие волны интенсивности, характеризующиеся поверхностями («слоями») пучностей $d_1; d_2; d_3; \dots$ и узлов $\delta_1; \delta_2; \delta_3; \dots$. Оказывается, что если картину этих волн материализовать в некотором объеме V (например, в нелинейной среде), то такая модель приобретет свойство преобразовывать волну источника S в объектную волну, т. е. лучевой вектор \vec{I}_s в лучевой вектор \vec{I}_o . При этом воспроизводится также и соответствующий скорости объекта доплеровский сдвиг частот. Если восстановить голограмму не с помощью сферически расходящегося излучения источника S , а излучением сферической волны, сходящейся в точку, где расположен источник (такой волне соответствует лучевой вектор \vec{I}_s , то образуется волна, обращенная по отношению к объектной (ей соответствует лучевой вектор \vec{I}_o').

Отражающие свойства волн интенсивности сохраняются и в том случае, когда эти волны регистрируются не в объеме, а на двумерной поверхности F .

Волны интенсивности обладают также способностью воспроизводить состояние поляризации, если поляризация интерферирующих волн μ и r различна. Для этого необходимо записать голограмму в среде F ,

которая под действием поляризованного излучения становится анизотропной. В этом случае «слои» пучностей и узлов образуют две периодические структуры, поляризующие волну источника S во взаимно ортогональных направлениях (постоянно поляризации интерференционной картины показано стрелками и овалами).

следующим образом. Движущийся с неограниченной произвольной скоростью объект (например, показанная на рисунке птица) рассеивает излучение точечного когерентного источника S . Рассеянное излучение, сдвинутое по частоте вследствие эффекта Доплера, складывается в окружающем объект пространстве с излучением источника S , в результате чего образуется система бегущих волн интенсивности — последовательности поверхностей пучностей («слоев» пространства с максимальной плотностью энергии светового поля), чередующихся с поверхностями узлов («слоями», где плотность энергии минимальна).

Предположим, что некоторая часть пространства, окружающего объект, заполнена нелинейной средой, т. е. таким веществом, которое изменяет свои свойства под влиянием света непосредственно в момент его воздействия. В качестве одного из примеров можно привести среду, способную к вынужденному комбинационному рассеянию с частотой собственных колебаний молекул, близкой к разности частот интерферирующих волн.

Если нелинейность среды такова, что ее диэлектрическая проницаемость меняется пропорционально интенсивности электромагнитного поля, то в объеме, заполненном такой средой, возникнет система бегущих зеркальных поверхностей. Оказывается, что форма этих зеркал, повторяющая конфигурацию поверхностей узлов и пучностей, такова, что волна источника S , отражаясь от каждого из них, преобразуется в объектную волну. Расстояние между этими зеркалами обеспечивает такое сложение отраженных волн, что при этом усиливается излучение только той длины волны, которая экспонировала голограмму. Таким образом, голограмма записывает и воспроизводит спектральный состав образовавшего ее излучения. Наконец, скорость движения зеркал оказывается именно такой, что падающая на голограмму референтная волна претерпевает доплеровский сдвиг, точно преобразующий ее по частоте в волну объекта.

ОТРАЖАЮЩИЕ СВОЙСТВА СТАТИЧЕСКИХ ГОЛОГРАММ

Статической голограмме соответствует случай, когда объект неподвижен. Бег волн интенсивности при этом прекращается, и возникает так называемая стоячая волна, которую, в отличие от бегущей, можно записывать не только в нелинейной среде, но и в обычном фотоматериале.

Наиболее полным комплексом отображающих свойств обладает трехмерная статическая голограмма, возникающая при регистрации стоячей волны в фотоматериале, заполняющем некоторый объем V . После проявления в объеме такой голограммы на месте поверхностей пучностей образуется фотографический осадок, например металлическое серебро, и в результате каждая такая поверхность превращается в своеобразное кривое зеркало сложной формы.

Реконструкция полученной голограммы, т. е. восстановление записанного на

ней светового поля осуществляется точечным источником, располагающимся в том месте, которое занимал при съемке когерентный источник S . Существенно, что в случае трехмерной голограммы восстанавливающий источник может быть некогерентным, т. е. может испускать свет в достаточно широком спектральном интервале (как, например, обычная лампа накаливания). При реконструкции такая голограмма «выбирает» из спектра падающего на нее излучения и отражает именно ту монохроматическую составляющую, которая экспонировала ее при съемке. При этом, как было показано, форма волнового фронта этой составляющей трансформируется таким образом, что он переходит в волновой фронт излучения, рассеянного объектом. Для рассматриваемого голограмму наблюдателя идентичность восстановленной и объектной волн подтверждается появлением единственного объемного цветного изображения объекта, совершенно неотличимого от оригинала.

Механизм, посредством которого трехмерная голограмма восстанавливает волновое поле объекта, достаточно прост. Поскольку в силу условий интерференции поверхность пучностей проходит именно через те точки пространства, где фазы объектной и референтной волн одинаковы, то восстанавливающая волна, достигая поверхности какого-либо из металлических зеркал, образовавшегося на месте соответствующей поверхности пучностей, приобретет на ней распределение фаз, в точности равное тому, которое имела на этой поверхности объектная волна. В результате оказывается, что на поверхности каждого из составляющих голограмму зеркал восстанавливающая волна отличается от объектной только направлением распространения: восстанавливающая волна движется, например, слева направо, а объектная — справа налево. Металлическое зеркало, отражая восстанавливающую волну, меняет направление ее распространения на противоположное именно там, где ее фаза совпадает с фазой объектной волны. После этого восстанавливающая волна полностью трансформируется в объектную.

Таким образом, уже каждая зафиксированная на голограмме поверхность пучностей трансформирует восстанавливающую волну в волну излучения, рассеянного объектом. Что касается всей системы следующих друг за другом зеркальных поверхностей, то ее роль, как уже отме-

чалось, сводится к воспроизведению спектрального состава излучения.

Одно из замечательных свойств голограммы — это ее способность делиться без ущерба для целостности восстановленного изображения. Действительно, уже из проведенного выше рассмотрения неясно следовало, что изображение формируется не только фотографией безграничной в пространстве системы стоячих волн, но и ее ограниченным объемным фрагментом. Изображение несет не только объемный фрагмент; его восстанавливает и фотография плоского сечения стоячей волны, т. е. фотография обычной двумерной картины интерференции. Однако при каждом ограничении объема, в котором осуществляется запись, отображающие свойства голограммы обедняются. В частности, двумерная голограмма сама не воспроизводит спектрального состава записанного на ней излучения, и поэтому ее необходимо реконструировать когерентным источником. Кроме того, в этом случае фаза объектной волны восстанавливается не вполне однозначно, в результате чего появляется так называемое ложное изображение.

Двумерная голограмма — наиболее простой случай голографической записи, и поэтому на ее примере весьма удобно рассматривать некоторые сложные эффекты. Именно применительно к двумерной записи советский физик Ш. Д. Какичавили в 1972 г. показал, что голограмма способна регистрировать и воспроизводить состояние поляризации объектной волны. Для этого ее следует записать на таком фотоматериале, который реагирует на состояние поляризации падающего излучения анизотропией коэффициента поглощения проявленного изображения (так называемый эффект Вейгерта).

При записи поляризационной голограммы поляризация объектной и референтной волн может быть различной. В предельном случае они могут быть даже взаимно ортогональны. Тогда, как известно, никакой видимой для глаза интерференционной картины не возникает. Тем не менее оказывается, что если на такую голограмму снова направить референтную волну с такой же поляризацией, как и при съемке, то голограмма точно восстановит все параметры объектной волны, включая ее поляризацию.

Картина интерференции, соответствующей случаю, когда объектная и референтная волны поляризованы взаимно ортогонально, характеризуется не изменениями интенсивности поля, а модуляцией

состояния поляризации: «слои» с линейной поляризацией соседствуют со «слоями», в которых поляризация циркулярна, а те, в свою очередь, со «слоями», где она снова линейна, но теперь уже в ортогональном направлении. Глаз не различает эти состояния, и наблюдателю кажется, что поле интерференции освещено равномерно. Однако если такую картину интерференции зарегистрировать на фотоматериале, способном к эффекту Вейгерта, то образуется голограмма, на которой одновременно записаны две сдвинутые на половину периода интерференционной картины периодические структуры, соответствующие взаимно ортогональным линейным состояниям поляризации. Это как бы две голограммы, записанные на одной пластинке. Соответственно при реконструкции восстановятся две объектные волны, которые будут сдвинуты по фазе на половину периода и поляризованы под прямым углом друг к другу и под углом 45° по отношению к референтной волне. Анализ показывает, что при сложении таких сдвинутых по фазе компонент плоскость поляризации поворачивается на 90° относительно восстанавливающей волны, и таким образом точно восстанавливается состояние поляризации объектной волны.

ОБРАЩЕНИЕ ВОЛН ДИНАМИЧЕСКИМИ ТРЕХМЕРНЫМИ ГОЛОГРАММАМИ

Способность голограммы образовать обращенную волну, приблизительно равноценная по важности ее способности восстанавливать прямую объектную волну, была обнаружена в 1963 г. на трехмерных голограммах, записанных во встречных пучках. Сущность этого явления заключается в следующем. Как было показано, если на трехмерную голограмму направить излучение того же самого источника S , который использовался при записи, то будет восстановлена объектная волна. Оказывается, однако, что трехмерную голограмму можно восстановить также излучением сферической волны, которая сходится в точку, где расположен источник S , или, если говорить языком теории, волной, комплексно сопряженной по отношению к волне источника. При такой реконструкции голограмма восстанавливает волну, которая, в отличие от прямой объектной волны, не расходится от объекта, а сходится к нему.

Классической оптике операция обращения волны была неизвестна. Свойства

таких волн весьма необычны. В частности, например, наблюдатель, воспринимающий изображение, образуемое отраженной волной, увидит птицу как бы «изнутри», как нечто, напоминающее внутренность сосуда.

Обращение волн нашло широкое применение на практике — для компенсации искажений волнового фронта, возникающих при распространении излучения через оптически неоднородные среды. В 1965 г. американский исследователь Х. Когельник показал, что отраженная волна, проходя через среду в обратном направлении, приобретает искажения, которые точно компенсируют те, что были приобретены при прямом ходе соответствующей объектной волны. Влияние оптических неоднородностей среды на восстановленную волну при этом полностью исключается и в результате восстанавливается неискаженное изображение объекта.

На первых этапах развития голографии обращенную волну получали с помощью обычных статических голограмм. В этом случае было необходимо сначала зарегистрировать голограмму, затем проявить ее, поставить на прежнее место и только после можно было получить обращенную волну. Очевидно, однако, что такой способ можно применять только в тех случаях, когда оптические неоднородности стабильны во времени; для исключения влияния быстро меняющихся неоднородностей он непригоден. Проблема генерации обращенной волны непосредственно в тот момент, когда существует объектная волна, была решена с помощью динамических голограмм, для записи которых используются так называемые нелинейные среды, реагирующие на свет непосредственно в момент его воздействия.

Первой динамической схемой обращения волновых фронтов была так называемая четырехволновая схема, предложенная в 1970 г. одновременно советскими физиками Б. И. Степановым, Е. В. Ивакиным, А. С. Рубановым и американцем И. Р. Вордманом. По сути дела, она повторяла в динамическом варианте рассмотренный выше способ обращения объектной волны с помощью оптической голограммы.

Принцип действия схемы удобно рассмотреть на следующем конкретном примере. В лазерной технике актуальна задача усиления оптического сигнала, при котором исключалось бы влияние неоднородностей рабочего тела лазерного усилителя. Пусть, например, генерируемая лазером слабая плоская волна проходит

через тело усилителя, трансформируясь в результате воздействия его оптических неоднородностей в волну сложной формы, усиленную относительно исходной. Динамическая трехмерная голограмма образуется в нелинейной среде при интерференции этой волны с встречной по отношению к ней плоской референтной волной R . Считывание голограммы осуществляется волной R^* , которая получается в результате отражения референтной волны R от плоского зеркала. В результате

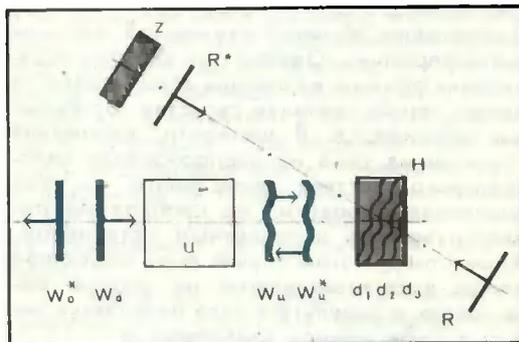


Схема обращения волнового фронта и компенсации искажений плоской волны с помощью четырехволновой динамической голограммы. Исходная плоская волна W_0 , деформированная неоднородной средой U в волну W_u , записывается в динамической голограмме H с помощью референтной волны R . Эта голограмма одновременно считывается волной R^* , полученной за счет отражения волны R от зеркала Z . В результате восстанавливается обращенная волна W_0^* , которая, пройдя через неоднородную среду U в обратном направлении и приобретя искажения противоположного знака, снова трансформируется в плоскую волну W_0^* сопряженную по отношению к исходной волне W_0 .

считывания формируется волна, обращенная по отношению к волне, записанной на голограмме. Такая волна совпадает по конфигурации с объектной, однако распространяется в противоположном направлении. Пройдя строго по обратному пути через усилитель, такая обращенная волна приобретает искажения противоположного знака и в результате трансформируется в плоскую волну, усиленную по отношению к исходной волне.

Другой еще более естественный способ получения обращенных волн был обнаружен учеными Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР (ФИАН)

Б. Я. Зельдовичем, В. И. Поповичевым, В. В. Рагульским, Ф. С. Файзулловым. Оказалось, что если на кювету, заполненную веществом, способным к так называемому вынужденному рассеянию Мандельштама — Бриллюэна (например, сероуглеродом), направить волну с достаточно неоднородным волновым фронтом, то кювета немедленно отразит ее в виде обращенной волны. Устройство с такими свойствами получило название «бриллюэновского зеркала»¹.

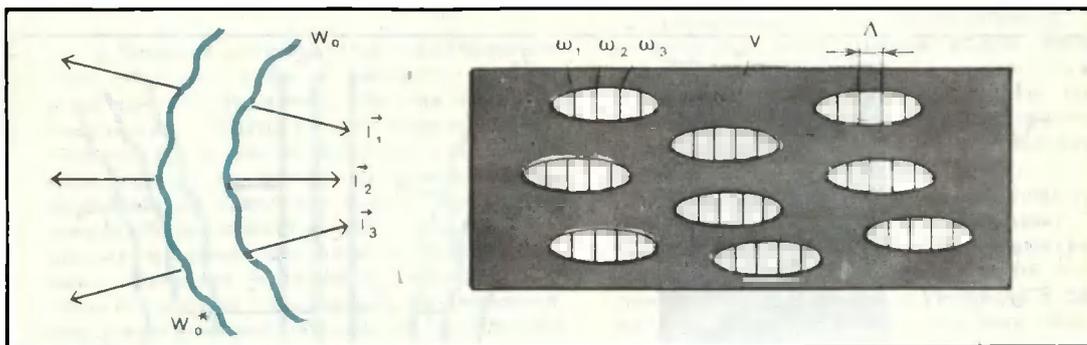


Схема обращения волнового фронта бриллюэновским зеркалом. Волна сложной формы W_0 , представляемая в виде суммы плоских волн, характеризующихся лучевыми векторами $I_1; I_2; I_3; \dots$ создает в объеме V картину интерференции, максимумы которой обозначены в виде вертикально заштрихованных овалов. Если объем заполнен средой, способной к вынужденному рассеянию света на звуке, то области максимальной интенсивности излучения заполняются звуковыми волнами $\omega_1; \omega_2; \omega_3; \dots$ следующими друг за другом с пространственным периодом Λ . Такая голограмма, сильно отражая свет в обратном направлении, трансформирует волну W_0 в сопряженную ей волну W_0^* .

По существу, в данном случае в кювете регистрируется так называемая безопорная трехмерная голограмма. Голограммы такого типа можно получать в том случае, если объектная волна неоднородна. При этом необходимость в опорной волне отпадает, так как картина интерференции — сложная система микрооптических «сгустков» интенсивности света — образуется бла-

годаря сложению множества плоских волн, в виде суммы которых можно представить неоднородную объектную волну. Отличие бриллюэновского зеркала от обычной безопорной голограммы заключается только в реакции среды: в случае обычной голографической записи светочувствительная среда меняет свой показатель преломления пропорционально интенсивности воздействующего излучения. В соответствии с этим «сгустки» света, образовавшиеся в результате интерференции падающего на голог-

раammu излучения, регистрируются средой в виде равномерно заполненных «сгустков» показателя преломления.

В случае бриллюэновского зеркала, благодаря специфическим свойствам среды, в области каждого такого «сгустка» развивается процесс вынужденного рассеяния света на звуке. В результате каждая из этих областей заполняется звуковой волной, бегущей попутно с падающим на кювету излучением. Следующие друг за другом «ребры» звуковой волны сильно отражают в обратном направлении падающий на них свет, совершенно аналогично тому, как это делает система следующих друг за другом металлических зеркал трехмерной голограммы.

Изменение характера отклика светочувствительной среды естественно приводит к изменению результата взаимодействия восстанавливающего излучения со структурой голограммы. Если на рассмотренных выше как бы равномерных «сгустках» показателя преломления излучение только преломлялось и восстановленная волна распространялась вследствие этого в том же направлении, что и падающая, то в случае бриллюэновского зеркала те же «сгустки», модулированные звуковыми волнами, сильно отражают свет в обратном направлении. Изменению нап-

¹ Подробнее об этом см.: Басов Н. Г., Зубарев И. Г. Эффект обращения волнового фронта лазерного излучения. — Природа, 1980, № 8, с. 8.

равления волны на противоположное при неизменной общей конфигурации картины ее интерференции (конфигурация «сгустков» в обоих случаях одинакова, изменяется только их «наполнение») соответствует переход к сопряженной волне.

Явление обращения волнового фронта при записи безпорных динамических голограмм в средах, способных к вынужденному рассеянию света, носит весьма общий характер. В частности, обращенную волну в экспериментах со средами, спо-

Фактически резонансная голография появилась в результате развития идей светового эха, эффекта, обнаруженного американскими исследователями И. Д. Абеллом, И. А. Курнитом и С. Р. Хартманом. Сам эффект состоит в том, что, если на резонансную среду послать последовательно два импульса света, разделенных некоторым интервалом времени, то через следующий, точно такой же интервал времени после второго импульса появится «эхо» — среда испустит добавоч-

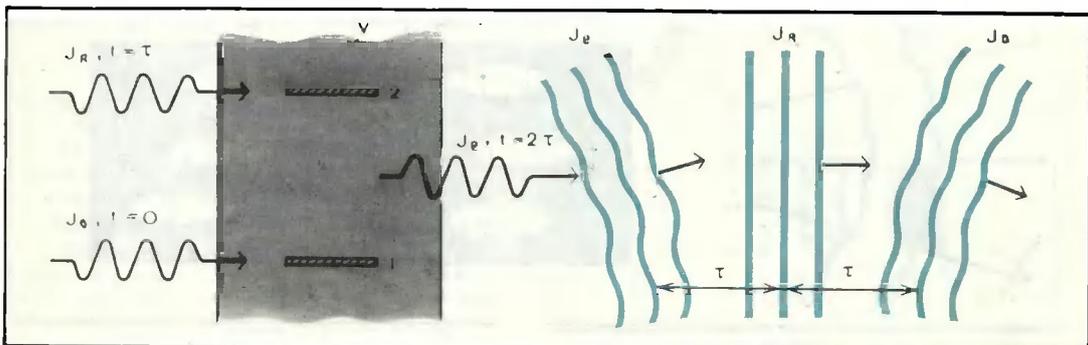


Схема записи и считывания эхо-голограммы. В момент времени $t=0$ на резонансную среду V подается импульс объектной волны J_0 , который переводит атомы среды с основного энергетического уровня 1 на возбужденный 2. В момент времени $t=\tau$ подается импульс считывающей волны J_R . Импульс эха J_e волновой фронт которого обращен по отношению к фронту объектной волны, появляется в момент времени 2τ . Волновые фронты всех трех импульсов J_0 , J_R , J_e изображены в правой части рисунка в момент, когда последний из них, J_e , покинул среду.

способными к вынужденному комбинационному рассеянию, наблюдали А. И. Соколовская и др. в ФИАНе. Однако в этом случае обращенная волна претерпевает существенные трансформации, обусловленные тем, что данному виду вынужденного рассеяния присущ сильный частотный сдвиг, т. е. длина волны обращенного излучения значительно отличается от длины волны падающего.

В самое последнее время появилась новая крайне интересная область голографии, изучающая эффекты, возникающие при записи голограмм в резонансной среде (молекулы такой среды поглощают и излучают свет точно такой же длины волны, что и у экспонирующего голограмму излучения).

ный третий импульс. Советские физики Е. И. Штырьков и В. В. Самарцев предложили записывать резонансные динамические голограммы импульсами объектного и референтного излучения, не перекрывающимися во времени. В соответствии с этим предложением в исходный момент времени $t=0$ на резонансную среду направляется импульс объектной волны, который возбуждает часть атомов среды. Согласно теории светового эха, фаза колебаний атомов среды в возбужденном состоянии остается такой же, как и фаза объектной волны, в течение некоторого промежутка времени, называемого временем поперечной релаксации.

Запись голограммы, совпадающая с ее считыванием, осуществляется плоской референтной волной, которая в виде импульса подается на среду в момент времени $t=\tau$ после воздействия объектной волны. Этот импульс изменяет на 180° фазы колебаний всех атомов среды; после этого колебания в среде начинают развиваться в обратном направлении во времени. В результате, по прошествии следующего интервала времени, равного τ , в момент $t=2\tau$ среда испустит импульс «эха». Волновой фронт этого импульса будет обращен по отношению к волновому

фронту зарегистрированной на голограмме объектной волны.

Записывая голограммы в резонансных средах, когда пространственная память голограммы органически объединена с временной памятью светового эха, мы получаем принципиально новую возможность запоминать, а затем воспроизводить процессы, связанные с изменением состояния объектов во времени и пространстве.

НЕКОТОРЫЕ «ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ» СВОЙСТВА ТРЕХМЕРНОЙ ГОЛОГРАММЫ

Понятия «отобразить», «изобразить» уже сами по себе в какой-то степени родственны понятиям «почувствовать», «осознать». Поэтому нет ничего удивительного в том, что голограмма — наиболее объективный из известных нам способов отображения внешнего мира — одновременно обнаруживает и целый ряд свойств, весьма полезных для вычислительной техники. Оставляя в стороне такие относительно простые технические приложения, как распознавание образов и оптическую память на основе двумерных голограмм, остановимся на специфических свойствах трехмерной голограммы — сверхплотной записи информации и ассоциативной памяти, которые роднят ее с наиболее совершенным вычислительным устройством — мозгом.

Идею создания сверхплотной оптической памяти на основе трехмерной голограммы выдвинул в 1963 г. американский исследователь П. И. ван Хирден. Непосредственным стимулом его работы являлась гипотеза английского физиолога Р. И. Берля о том, что мозг хранит каждый бит информации не в одиночной пространственно-локализованной ячейке, а в виде одиночной пространственной волны (гармоники) возбуждения, заполняющей весь его объем. Такой способ хранения информации обладает рядом достоинств. Например, повреждение одного или нескольких участков мозга не вызывает в этом случае полного исчезновения какой-либо части записанной в нем информации.

Вход в такую «нелокализованную» память весьма удобен: в отличие от памяти на пространственных ячейках, где каждая расположенная внутри объема ячейка должна быть соединена с входным устройством специальным нервным волокном, в данном случае каждый элемент соединен только с ближайшими соседями.

Потенциальная емкость такого рода памяти грандиозна. Ван Хирден показал, что число независимых гармоник, с помощью которых может быть записана информация, равно объему голограммы, деленному на кубик с линейными размерами, равными длине волны света, использованного при ее записи. Для видимого света эта величина составляет порядка 10^{10} ячеек/см³.

Практически уплотнение записи при использовании трехмерной голограммы достигается за счет того, что на один и тот же участок фотоматериала впечатывается одновременно много голограмм, отличающихся либо длиной волны записи, либо направлением референтного луча. Благодаря селективным свойствам трехмерной голограммы каждая из записанных голограмм может быть считана затем независимо.

Аналогия трехмерной голограммы с мозгом простирается, по-видимому, гораздо дальше возможности создания сверхплотной памяти, не чувствительной к повреждению ее отдельных участков. В работе ван Хирдена было показано, что на основе так называемой безопорной трехмерной голограммы можно осуществить ассоциативную память, свойства которой весьма родственны процессам нашего мышления. Схема получения и реконструкции трехмерной безопорной голограммы, т. е. такой, при записи которой не используется референтная (опорная) волна, такова. Предположим, что при записи на голограмме было зарегистрировано излучение некоторого объекта (например, стрелки); референтная волна при этом отсутствовала. Понятно, что излучение каждой точки объекта, interfерируя с излучением всех остальных его точек, запишет в объеме голограммы множество пространственных гармоник, отличающихся значением пространственного периода и ориентацией в пространстве.

Пусть при реконструкции на такую голограмму направляется излучение только одной части записанного на ней объекта, например излучение точек острия стрелки. В силу селективных свойств объемных пространственных гармоник излучение каждой такой точки будет взаимодействовать только с теми гармониками, в формировании которых это излучение участвовало во время записи². Соответственно

² Двумерные пространственные гармоники селективными свойствами не обладают; таким образом, двумерная голограмма не может быть безопорной.

восстановятся все волны, которые интерферировали с излучением данной точки в процессе записи. Поскольку излучение любой из точек стрелки взаимодействовало с излучением всех остальных точек стрелки, то каждая из точек острия восстановит изображение всей стрелки в целом. Эти изображения, складываясь, усилят друг друга, и в результате появится единое яркое изображение стрелки. Таким образом, по небольшой части записанной на голограмме ситуации — острию стрелки —

голограмма «вспомнила» всю ситуацию — изображение стрелки в целом.

Замечательной чертой этой, на первый взгляд, простой операции является то, что она весьма напоминает процессы ассоциативной памяти, которые так свойственны нашему мышлению. По существу, каждый из нас встречается с этим фундаментальным свойством мозга буквально каждую минуту своей сознательной жизни: коснулся нашего слуха небольшой отрывок полузабытой мелодии — и вот уже вся

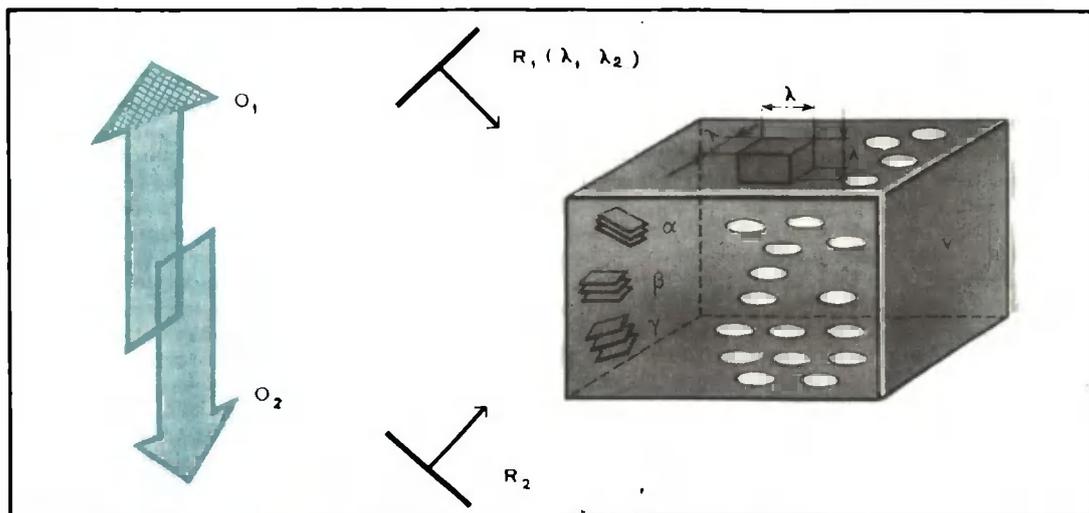


Схема записи информации в глубокой трехмерной голограмме. В этом случае на один участок фотоматериала можно впечатать множество голограмм, отличающихся либо длиной записываемой волны $\{\lambda_1; \lambda_2; \dots\}$, либо направлением референтной волны $\{R_1; R_2; \dots\}$. O_1 и O_2 — объекты, запечатленные любым из этих способов на одном и том же участке голограммы.

Запись глубокой голограммы может быть осуществлена и без участия референтной волны, а излучением только самих точек объекта, например точек, образующих стрелку O_1 . Память такой беспорядочной голограммы обладает ассоциативными свойствами — при реконструкции голограммы излучением только лишь части точек записанного на ней объекта (например, излучением точек острия стрелки O_1) голограмма восстанавливает изображение объекта в целом [всю стрелку O_1]. $\alpha, \beta, \gamma, \dots$ — пространственные структуры голограммы [гармоники], отличающиеся периодом и ориентацией. Они возникают при записи голограммы в результате интерференции волн, излучаемых каждой точкой объекта, с волнами, излучаемыми всеми другими его точками. Количество независимых гармоник, с помощью которых может быть записана информация в трехмерной голограмме, совпадает с количеством кубиков размером $\lambda \times \lambda \times \lambda$, которые можно разместить в ее объеме.

симфония зазвучала в нашей голове, принес ветер какой-то аромат — и в памяти возникает образ цветка.

Несмотря на достаточно продолжительные и интенсивные исследования, ни одно из упомянутых «интеллектуальных» свойств трехмерной голограммы использовать на практике до сих пор не удалось. Основной причиной, сдерживающей развитие этой области, явилось отсутствие светочувствительного материала, обладающего необходимыми качествами. До самого последнего времени объемные голограммы с глубокой записью (т. е. на глубину порядка миллиметров) регистрировали на щелочно-галогидных кристаллах и кристаллах ниобата лития. Однако в том и другом случае запись не фиксируется, и в результате при считывании информация, записанная на голограмме, достаточно быстро стирается под действием считывающего излучения.

В самое последнее время в этой области снова открылись некоторые перс-

пективы — появился новый светочувствительный материал «реоксан», который позволяет записывать голограммы на большую глубину и затем фиксировать запись. Этот материал представляет собою полимерную матрицу, в которую введено рабочее вещество — полиаценовое соединение, а также клоруд и сенсбилизатор. Механизм светочувствительности материала основан на принципе сенсбилизированной реакции фотоокисления.

Следует ожидать, что возможности, открывшиеся с появлением этого фотоматериала, будут использованы не только в вычислительной технике, но и для моделирования процессов, протекающих в нашем сознании, при исследованиях в области физиологии мозга.



В этой статье мы попытались обобщить сведения об отображающих свойствах двумерных, трехмерных и динамических голограмм, чтобы представить себе то единое явление природы, которое стоит за всеми этими разрозненными, на первый взгляд, частными случаями. Рассмотренные здесь фрагменты действительно складываются в нечто целое — способность материализованной объемной картины волн интенсивности (в общем случае бегущей) воспроизводить объектное волновое поле со всеми его параметрами — амплитудой, фазой, состоянием поляризации, спектральным составом и даже изменением поля во времени. Вместе с тем полная картина еще далека от завершения — мы не знаем, например, при каких условиях воспроизводит состояние поляризации объемная голограмма, не говоря уже о динамической и резонансной. И таких пробелов пока еще очень много.

Однако общая картина данного явления кажется незаконченной не только из-за недостаточной изученности его отдельных деталей. Опыт показал, что развитие наших представлений о голографии отнюдь не сводится к последовательному выяснению списка параметров поля, которые может воспроизвести голограмма. Явление оказалось гораздо более сложным и многосторонним. Способность генерировать обращенную в пространстве и, по-видимому, во времени волну, целый спектр «интеллектуальных» возможностей и, наконец, опущенная в нашем обзоре способность копировать элементы структуры объекта — все эти многочисленные

находки открыли совершенно новые точки зрения на явление голографии.

Вопрос о материальной среде, в которой записывается голограмма, также относится к центральным для данной области. Среда здесь отнюдь не выступает как некое формальное средство, позволяющее зафиксировать отображающие свойства, уже содержащиеся в картине волн интенсивности. В действительности среда участвует в отображении почти на равных правах с полем. Примером этого служит поляризационная и резонансная голография, где отображение соответствующих параметров поля стало возможным только благодаря специфическим свойствам среды.

Всестороннее изучение всех этих пока еще не очень ясных проблем, несомненно, приведет исследователей к ряду новых, неожиданных и полезных для науки и практики открытий.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Кольер Р., Бергхарт К., Лин Л. ОПТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ. М.: Мир, 1973.

Островский Ю. И. ГОЛОГРАФИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ. Л.: Наука, 1973.

Вьено Ж.-Ш., Смигильский П., Руайе А. ОПТИЧЕСКАЯ ГОЛОГРАФИЯ: развитие и применение. М.: Мир, 1973.

Электроны на поверхности Ферми

М. И. Каганов



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

Все электроны одинаковы. Электрон, прилетающий на Землю из глубин космического пространства, тождествен электрону, входящему в молекулу воды — одну из миллиардов в нашем организме.

Принцип неразличимости микрочастиц — один из фундаментальных принципов квантовой физики. Следствия из него многочисленны: от разделения частиц на бозоны и фермионы — основы квантовой статистики — до объяснения ферро- и антиферромагнетизма с помощью обменного взаимодействия. Неразличимость электронов не противоречит тому хорошо известному факту, что в разных условиях электроны ведут себя по-разному. Электрон, летящий со скоростью, близкой к скорости света, больше напоминает пулю, чем электрон, «размазанный» в виде облачка вокруг протона в атоме водорода.

В газе все частицы находятся в равных условиях. Газ электронов — не слишком привычное для непосвященного словосочетание. Привычнее: кислород, водород, азот, угарный газ — газы, состоящие из молекул. Но газ электронов, или, как принято говорить, электронный газ, встречается не реже, чем газы, входящие в состав воздуха. Любой кусок металла содержит электронный газ. Это поняли в начале нашего века, сразу после открытия элементарного электрического

заряда. П. Друде и Х. Лоренц, «населив» металл свободными электронами, объяснили способность металла пропускать электрический ток (закон Ома), универсальное соотношение между электро- и теплопроводностью (закон Видемана — Франца), металлический блеск и другие специфические свойства металлов.

Однако электронный газ в металле, в существовании которого не было возможности сомневаться (он был необходим для объяснения свойств металлов), не наблюдался непосредственно. Казалось бы, самое непосредственное наблюдение газа — измерение теплоемкости металла. Статистическая физика утверждала вполне определенно: вклад каждого атома кристаллической решетки в теплоемкость равен $3k_B$, а каждой частицы газа $\frac{3}{2} k_B$

($k_B = 1,4 \cdot 10^{-16} \frac{\text{эрг}}{\text{град}}$ — постоянная Больцмана). Заметим, что сорт частицы, в частности ее масса, не играет роли. Вклад свободного электрона и тяжелой (по атомным масштабам) молекулы в теплоемкость газа одинаковы. Для объяснения металлических свойств необходимо было считать, что электронов в металле много — не меньше, чем атомов (иначе они попросту не нужны). И, следовательно, теплоемкость металла должна быть существенно больше

теплоемкости диэлектриков (при расчете на 1 моль вещества, конечно). Именно этого не наблюдалось. Противоречие было столь фундаментальным, что получило титул парадокса — парадокса о теплоемкости. Разрешение его в 1927 г. А. Зоммерфельдом и Я. И. Френкелем было одним из первых применений идей квантовой механики для объяснения свойств макроскопических тел.

ВЫРОЖДЕНИЕ ЭЛЕКТРОННОГО ГАЗА РАЗРЕШАЕТ ПАРАДОКС О ТЕПЛОЕМКОСТИ

Какие законы, квантовые или классические, использовать при исследовании явления, зависит не от воли исследователя, а диктуется необходимостью. Оставаться на привычных классических позициях хотелось бы всегда — классическая механика проще, наглядней. Но если волновыми свойствами частиц, принимающих участие в явлении, невозможно пренебречь, то без квантовой механики не обойтись. Проиллюстрируем этот тезис на примере газа, к которому сначала подойдем с «классическими» мерками. Средняя энергия частицы газа¹ есть $\bar{e} \sim k_B T$, где T — его температура. Следовательно, ее средний импульс $\bar{p} \sim \sqrt{k_B T m}$ (m — масса частицы). Это — следствие классической статистической физики. Мы видим, что средняя энергия частицы газа и ее средний импульс стремятся к нулю с уменьшением температуры. Теперь установим границы классического подхода, для чего воспользуемся квантовым соотношением неопределенностей Гейзенберга:

$$\Delta p \Delta x \geq \hbar,$$

где Δp и Δx — неопределенности импульса и координаты, а \hbar — постоянная Планка, равная 10^{-27} эрг · с.

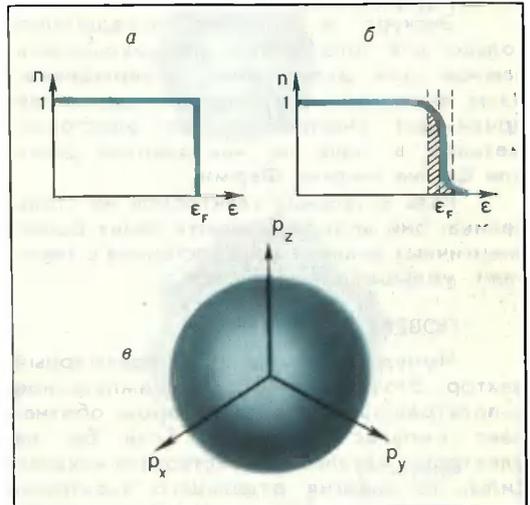
Если неопределенности физических величин значительно меньше их классических значений, квантовые законы можно не учитывать, если же нет, то забывать о них нельзя. Неопределенность координаты частицы в газе задана числом частиц в единице объема — плотностью газа n : $\Delta x \sim n^{-1/3}$; плотность от температуры не зависит. Неопределенность импульса Δp , согласно соотношению Гейзенберга, не меньше $\hbar n^{1/3}$. Сравнивая Δp

со средним значением импульса $\sqrt{k_B T m}$, убеждаемся, что законы классической статистической физики справедливы, пока температура достаточно велика — при

$$k_B T \gg \frac{\hbar^2 n^{2/3}}{m} = k_B T_{\text{кв}}.$$

Низкие температуры — область применения квантовых законов.

Применим выписанный критерий к электронному газу металла. Масса электрона $m \approx 10^{-27}$ г, а плотность электронов $n \approx a^{-3}$, где $a \approx 3 \cdot 10^{-8}$ см — размер ячейки



Распределение частиц вырожденного ферми-газа по энергиям при $T = 0$ (а) и при $T \neq 0, k_B T < e_F$ (б). Число электронов, участвующих в тепловом движении, определяется заштрихованной областью. В \vec{p} -пространстве фермионы при $T = 0$ заполняют объем, ограниченный сферой Ферми (а).

кристалла. Результат подстановки должен вызвать оправданное удивление: $T_{\text{кв}} = 10^5$ К. Это означает: в обычных условиях при комнатных температурах электронный газ для своего исследования требует применения квантовых законов.

Газы, к которым нельзя применять законы классической статистической физики, называют **вырожденными**, а отступление от законов классической статистической физики при $T \lesssim T_{\text{кв}}$ — **вырождением**. Есть два типа вырожденных газов: ферми-газы, состоящие из частиц с полужелым спином (фермионов), и бозе-газы, состоящие из частиц с целым или нулевым спином (бозонов).

Электроны — фермионы, так как спин электрона $S = 1/2$. Фермионы — индивидуа-

¹ Во всей статье мы опускаем численные множители порядка единицы.

листы: принцип Паули запрещает им собираться в одном состоянии. В частности, даже при $T=0$ они не могут все иметь импульс, равный нулю. Поэтому при абсолютном нуле температуры в ферми-газе не прекращается движение. Учет распределения электронов по энергиям снимает парадокс о теплоемкости: вклад в нее дают не все электроны, а только те, энергия которых близка к энергии Ферми ϵ_F — энергии, отделяющей занятые электронами энергетические состояния от свободных при $T=0$. Этих электронов очень мало: в единице объема их $N_{\text{эф}} \approx \approx n \cdot \tau / T_{\text{н}} \ll n$.

Экспурс в историю понадобился только для того, чтобы сформулировать важное для дальнейшего утверждение: из-за вырождения в тепловом движении принимают участие не все электроны металла, а лишь те, чья энергия равна или близка энергии Ферми.

Роль остальных электронов не столь велика: они «поддерживают» своих более энергичных коллег, заняв состояния с энергией, меньшей фермиевской.

ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ

Импульс электрона \vec{p} — трехмерный вектор. Это позволяет ввести импульсное \vec{p} -пространство, точка в котором обозначает импульс электрона. Если бы на электроны металла не действовали никакие силы, то энергия отдельного электрона равнялась бы $p^2/2m$, а все состояния с энергией, меньшей фермиевской, заполняли бы в импульсном пространстве шар радиуса $r_F = \sqrt{2m\epsilon_F}$. Границей между занятыми и свободными состояниями была бы сфера — фермиевская сфера.

Но электроны металла не полностью свободны, они движутся в поле сил, источник которых — ионы кристаллической решетки. Это очень сложное поле. Структура его известна весьма приблизительно, поиски точных моделей продолжаются до сих пор — трудные поиски, так как надо учесть не только роль малоподвижных тяжелых ионов, но и самих движущихся электронов. Одно известно точно и не зависит от выбранной модели: поле сил имеет симметрию кристаллической решетки, а значит периодически. Исследование квантового движения электронов в периодическом поле сил привело к удивительному результату: оно (это движение) очень напоминает свободное. Состояние электрона характеризуется вектором, похожим на импульс — квазиимпульсом \vec{p} , энергия электрона $\epsilon = \epsilon(\vec{p})$ — периодичес-

кая функция квазиимпульса (приставку «квази» в дальнейшем мы будем опускать). Зависимость $\epsilon(\vec{p})$ называют законом дисперсии. Скорость электрона $\vec{v} = d\epsilon/d\vec{p}$, конечно, не равна \vec{p}/m ; она, как и энергия — периодическая функция \vec{p} . Сходство электрона в кристалле с электроном в свободном пространстве подчеркивается тем, что уравнениям движения электрона под действием внешней силы F можно придать вид:

$$d\vec{p}/dt = \vec{F}, \quad d\vec{r}/dt = \vec{v}.$$

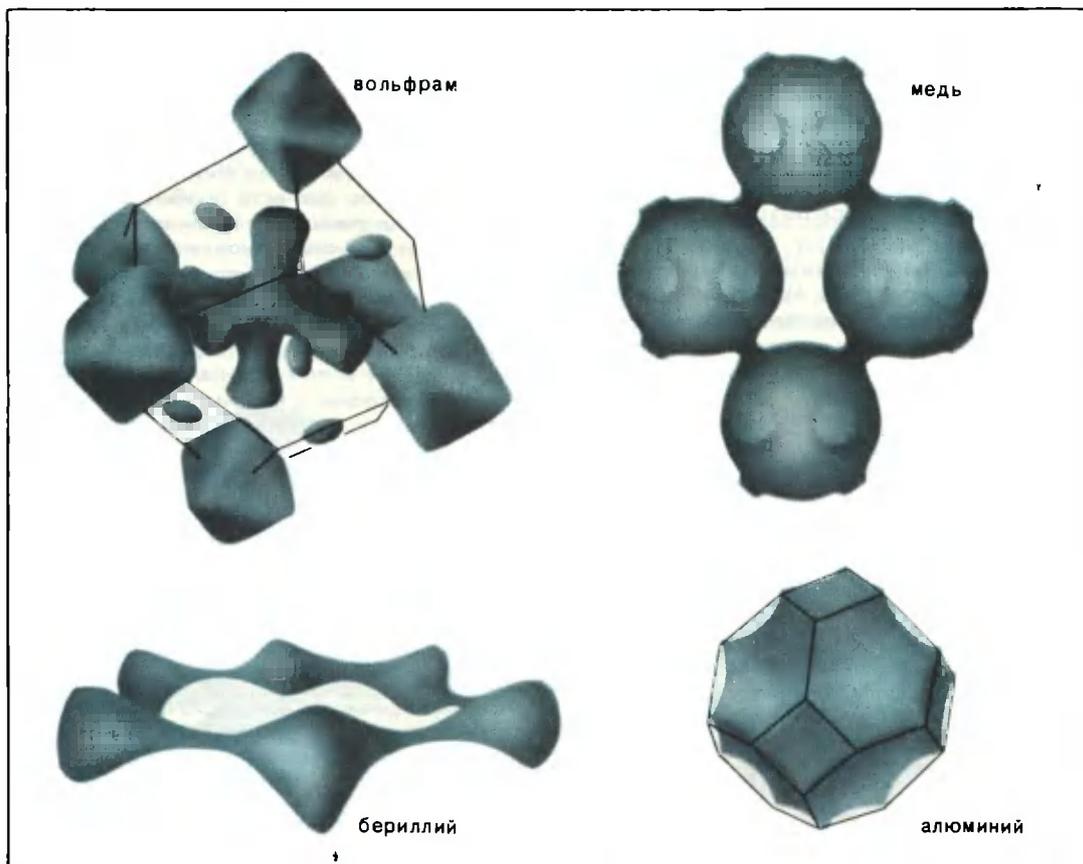
Периодические силы «выпали», сформировав закон дисперсии $\epsilon = \epsilon(\vec{p})$. Периодичность закона дисперсии и других величин, зависящих от \vec{p} , позволяет считать, что \vec{p} -пространство разбито на ячейки, состояния в которых физически неразличимы. Ячейка периодичности (ее форма и размеры) определяется геометрией кристаллической решетки металла.

Как и свободные электроны, электроны металла при абсолютном нуле температуры заполняют изоэнергетическую поверхность — поверхность Ферми $\epsilon(\vec{p}) = \epsilon_F$. Она мало похожа на сферу. За редкими исключениями (Na, Rb, Cs, ...) поверхности Ферми столь сложны, что их называют «монстрами».

Так как поверхность Ферми периодична, то она либо распадается на тождественные друг другу поверхности, каждая из которых находится внутри одной ячейки \vec{p} -пространства (такие поверхности считают закрытыми), либо непрерывно проходит через все \vec{p} -пространство — открытые поверхности. Поверхности Ферми большинства металлов в настоящее время известны. Это — результат кропотливого труда десятков лабораторий, в котором принимали участие и теоретики, и экспериментаторы, применяя самые изощренные методы.

Об электронах, имеющих энергию, равную ϵ_F , говорят, что они расположены на поверхности Ферми. Именно они (как ясно из предыдущего) определяют большинство свойств металлов? Если выписать формулы для характеристик металла (теплоемкости, электро- и теплопроводности, коэффициента поглощения звука, поверхностного сопротивления, акусто-

* Конечно, не все свойства металлов зависят только от электронов на поверхности Ферми. Например, поглощение рентгеновского кванта происходит благодаря переходу электрона из состояния с энергией, значительно меньшей фермиевской, в свободное состояние.



Поверхности Ферми различных металлов. Во всех случаях, кроме меди, изображены те части поверхностей, которые помещаются в ячейке периодичности β -пространства. Поверхность Ферми меди — пример открытой поверхности.

электрического тока и т. д.), то окажется, что все они имеют общую структуру в виде интеграла по поверхности Ферми. Надо подчеркнуть: в каждом эффекте роль различных участков поверхности Ферми различна. Это заставляет изучать поведение электронов не глобально, а дифференцированно, ставить вопрос о том, как ведут себя не вообще электроны данного металла и даже не электроны на поверхности Ферми, а как ведут себя электроны с определенной области поверхности Ферми.

Лет двадцать назад центр интересов в физике металла был в определении топологии и размеров поверхности Ферми. В настоящее время, когда поверхности Ферми большинства металлов достаточно

хорошо известны, происходит накопление сведений об электронах с разных участков на поверхности Ферми: их скорости, длине пробега, эффективной массе и т. п. Поверхность Ферми каждого металла постепенно становится похожей на карту местности, на которую наносятся высота гор, полезные ископаемые, плотность населения и другие сведения, известные о данной местности.

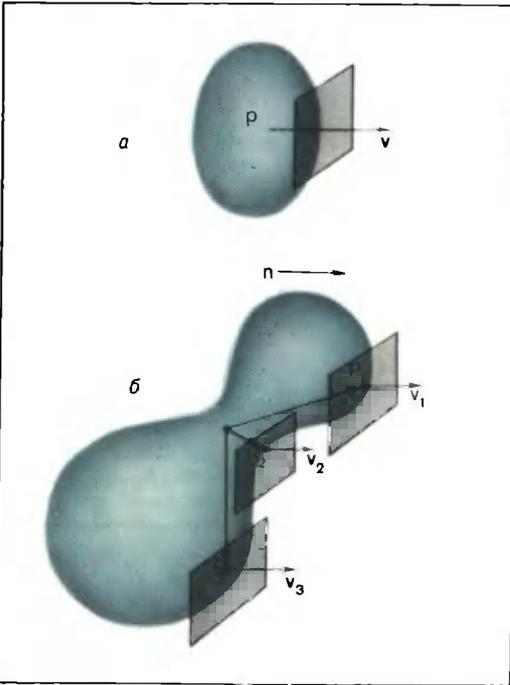
Мы постараемся пояснить, почему металлы с различными поверхностями Ферми обладают разными свойствами и чем электроны с разных участков одной и той же поверхности не похожи друг на друга.

Поверхность Ферми не вытаскишь из кристалла. Единственная возможность ее изучения — это исследование свойств металла. Невозможно было бы изучать электроны с отдельных участков на поверхности Ферми, если бы не существовало явлений, которые определяются не всеми электронами металла, а только избранными. Есть явления, в которых принимают

участие электроны, расположенные только на определенных линиях на поверхности Ферми и даже явления, за которые ответственны электроны, сосредоточенные вокруг точек на поверхности Ферми. Именно их описание будет главным содержанием этой статьи.

СКОРОСТЬ ЭЛЕКТРОНОВ

Скорость — одна из важнейших характеристик электрона. На геометрическом языке: скорость фермиевских электронов



Векторы импульсов и скоростей частиц, движущихся в одном направлении \vec{n} для выпуклой поверхности Ферми (а) и поверхности Ферми, имеющей перемычку (б). В первом случае каждому направлению скорости соответствует одно значение импульса, во втором — частицы с разными значениями импульса движутся в одном направлении.

есть вектор нормали к поверхности Ферми. В металлах с несферическими поверхностями Ферми скорости разных электронов отличаются не только направлением, но и величиной. Анализируя различные явления, можно сделать вывод о большей «важности» медленных электронов: их вклад тем больше, чем меньше их скорость.

Приведем один пример: электронная теплоемкость металла пропорциональна

величине $\oint dS_F/v$ (dS_F — элемент площади на поверхности Ферми; интегрирование ведется по всей поверхности). Видно, что основной вклад в теплоемкость дают те участки поверхности Ферми, где скорость мала. Большинство поверхностей Ферми не выпуклы, они содержат вмятины и перемычки. Это значит, на них есть особые линии (так называемые линии параболических точек), где кривизна поверхности меняет знак. Вблизи этих линий на поверхности Ферми обязательно есть участки, на которых скорости электронов направлены в одну сторону (параллельны). Но ведь это означает, что в одном и том же направлении³ движутся электроны с разными импульсами и одинаковыми энергиями. Это проявление сложной структуры поверхностей Ферми существенно влияет на рассеяние электронов⁴ и служит источником ряда эффектов, на которые обратили внимание в последнее время.

ЭЛЕКТРОНЫ ДВИЖУТСЯ ПО ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ

Пока металл находится в термодинамическом равновесном состоянии, все электроны однородно распределены внутри и по поверхности Ферми и, хотя это распределение динамическое, можно не думать о том, что электроны бесперывно обмениваются местами (ведь электроны неразличимы!). Но когда мы подвергаем металл внешнему воздействию (прикладываем к проводнику разность потенциалов, помещаем образец в магнитное поле, облучаем электромагнитными или звуковыми волнами), состояние электрона перестает быть стационарным: электрон изменяет свой импульс — движется в импульсном пространстве. Характер перемещений электрона определяет многие свойства металлов.

Важно понимать, что силовые поля (электрическое, магнитное, звуковое), используемые для исследования металлов и в практических целях, в подавляющем большинстве случаев квазиклассичны: их частоты малы по сравнению с ϵ_F/\hbar , а длины волн велики по сравнению с дебройлевской длиной волны электрона \hbar/p_F . Когда речь идет о статических однородных полях, то условие квазиклассичности имеет

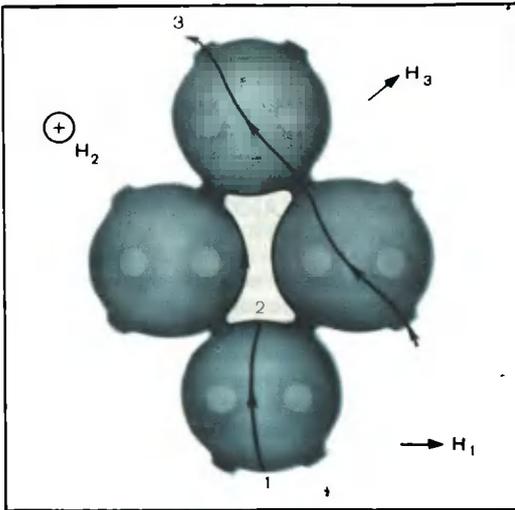
³ Направление движения частицы, естественно, определяется направлением ее скорости, а не импульса. Электроны в разных точках на поверхности Ферми, конечно, имеют разные импульсы.

⁴ Лифшиц И. М. ЖЭТФ, 1948, т. 18, с. 1135.

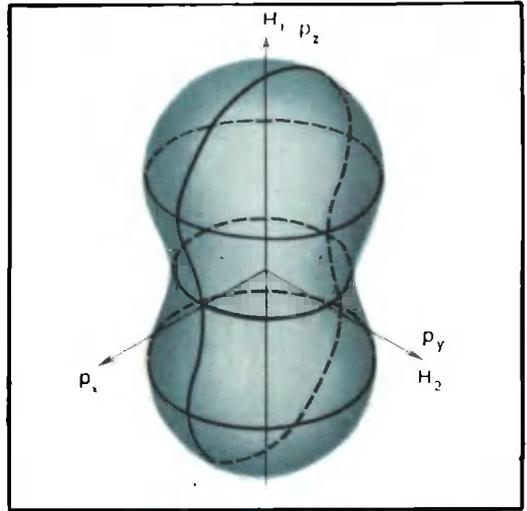
другой смысл: для магнитного поля это $\mu H \ll \epsilon_F$, а для электрического $eE \ll \epsilon_F$ (E — напряженность электрического поля, H — магнитного, e — заряд, μ — магнитный момент, l — длина свободного пробега электрона). Все эти неравенства сводятся к одному: внешние силовые поля должны быть малы по сравнению с атомными. В результате сравнительно малого воздействия фермиевский электрон не может удалиться далеко от поверхности Ферми; он либо движется по ней, либо, поглотив квант энергии, переходит в не-

сти Ферми с плоскостью, перпендикулярной магнитному полю. Важно, что траектории могут быть разными — замкнутыми (т. е. распадающимися на отдельные замкнутые кривые) и открытыми (уходящими на бесконечность). И важно, что, изменяя направление магнитного поля, можно изменить характер (топологию) траекторий. Конечно, открытые траектории электронов в магнитном поле возможны только в металлах с открытыми поверхностями Ферми.

Так как траектория электрона в обычном координатном пространстве определя-



Траектория фермиевских электронов в магнитном поле \vec{H} . Их характер существенно зависит от направления поля (направлению поля \vec{H} соответствует траектория 1, \vec{H}_2 — 2 и т. д.). Если поверхность открытая, то возможны открытые траектории (например, траектория 3).



Траектории электронов в магнитных полях \vec{H}_1 и \vec{H}_2 , ограничивающие экстремальные для данного направления \vec{H} площади сечений поверхности Ферми. При $\vec{H} = \vec{H}_1$ таких сечений три, при $\vec{H} = \vec{H}_2$ — одно.

посредственную окрестность поверхности Ферми.

Мы рассмотрим только один случай — движение по поверхности Ферми под действием силы Лоренца $e/c[\vec{v}\vec{H}]$. Она перпендикулярна скорости электрона \vec{v} (и потому не изменяет его энергии) и магнитному полю \vec{H} (и потому не изменяет проекции импульса электрона на \vec{H}). Траектория электрона в \vec{p} -пространстве, таким образом, определяется двумя равенствами:

$$e(p_x, p_y, p_z) = \epsilon_F, \quad p_z = \text{const}$$

(ось z направлена вдоль \vec{H}). У этих равенств простой геометрический смысл: они определяют линию пересечения поверхно-

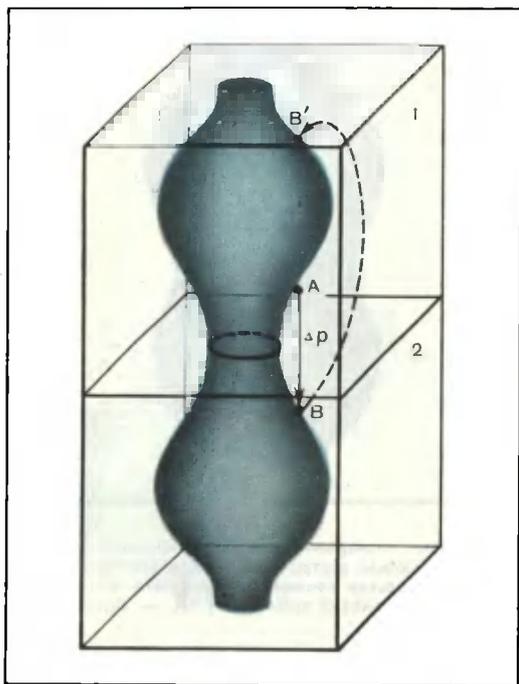
сти его траекторией в \vec{p} -пространстве, проводимость металла в сильном магнитном поле⁵ зависит от топологии траектории электрона в \vec{p} -пространстве — в конечном итоге от структуры поверхности Ферми⁶. Отметим: если при данном направлении сильного магнитного поля существует слой (по p_z) открытых траекторий, то главную роль в проводимости металла играют именно те электроны, которые движутся по открытым траекториям.

⁵ Поле — сильное, если электрон за время свободного пробега $\tau = l/v_F$ успевает много раз обойти траекторию, т. е. если $\omega_c \tau \gg 1$, $\omega_c = eH/m^*c$ — частота обращения электрона вокруг магнитного поля (циклотронная частота), m^* — эффективная масса.

⁶ Лифшиц И. М., Азбель М. Л., Каганов М. И. ЖЭТФ, 1956, т. 31, с. 63.

В последней фразе подчеркивается, что сильное магнитное поле из всех электронов на поверхности Ферми отбирает те, которые движутся по открытым траекториям, делая остальные неэффективными. Следовательно, исследование проводимости в сильном магнитном поле — метод изучения определенной группы фермиевских электронов.

Движение тех электронов, которые описывают замкнутые траектории, квантуется: из всех траекторий на поверхности Ферми выделяются те, площади внутри



Схематическое изображение процесса переброса. Электрон, находившийся на поверхности Ферми в точке A (ячейка 1 импульсного пространства), в результате изменения импульса на величину Δp попадает в соседнюю ячейку 2 (в точку B поверхности Ферми). Он должен быть переброшен в исходную ячейку 1 в эквивалентное состояние B'. Так как поверхность Ферми открытая, переход в соседнюю ячейку может произойти при сколь угодно малом изменении импульса Δp .

которых удовлетворяют простому условию (условию квантования Лифшица — Онсагера):

$$S(e_F, p_z) = \frac{2\pi |e| \hbar H}{c} (n + 1/2),$$

n — целое число.

Если перейти в координатное пространство, то оно приобретает большую наглядность: внутри траекторий электрона «помещается» полужелтое число квантов потока магнитного поля $\Phi_0 = \frac{2\pi \hbar c}{|e|}$. Среди всех «проквантованных» площадей $S(e_F, p_z)$ особую важность имеет та, которая экстремальна по p_z (обозначим ее S_{extr}). Дело в том, что анализ зависимости магнитного момента металла M от магнитного поля H показывает, что при низких температурах M периодически зависит от $1/H$, причем периоды $\Delta(1/H)$ обратно пропорциональны S_{extr} (поверхность Ферми может иметь несколько экстремальных площадей сечений). Все электроны, кроме тех, которые движутся по траекториям, описывающим экстремальные (по p_z) площади, в явлении участия не принимают — они неэффективны⁷.

ЭЛЕКТРОНЫ «ПРЫГАЮТ» ПО ПОВЕРХНОСТИ ФЕРМИ

Столкновения играют важную роль в «жизни» электронов. Без них нельзя объяснить природу сопротивления, установление равновесия в электронной системе и вообще большинство кинетических явлений, происходящих в металле. Сталкиваются электроны с нерегулярностями кристаллической решетки (с чужеродными атомами, дислокациями, границами кристаллитов и границей образца), а также друг с другом и с фононами⁸.

⁷ Периодическая зависимость $M = M(1/H)$ носит название эффекта де Гааза — ван Альфвена по имени открывших его в 1930 г. ученых. Эффект де Гааза — ван Альфвена наблюден и исследован практически на всех металлах. И в настоящее время он служит одним из основных методов исследования поверхностей Ферми: поворачивая образец металла в магнитном поле, можно определить разные S_{extr} и таким путем «прощупать» всю поверхность Ферми. Теория эффекта де Гааза — ван Альфвена для электронов с произвольным законом дисперсии построена И. М. Лифшицем и А. М. Косевичем в 1954 г.

⁸ Фононы — кванты колебаний атомов (ионов) в кристаллах. Это — квазичастицы-бозоны, они составляют главной тепловой резервуар твердого тела. Их число растет с ростом температуры и уменьшается до нуля при $T \rightarrow 0\text{K}$. Энергия отдельного фонона меняется в зависимости от его импульса $\hbar q$ (или от длины волны $\lambda = 2\pi\hbar/q$) от нуля (при $q \rightarrow 0$) до некоторой максимальной энергии (при $q \rightarrow \pi/a$). Максимальная энергия фонона, выраженная в градусах, есть температура Дебая тела θ_D ($\theta_D \approx 10^3\text{K}$, редко 10^2K). Энергия фонона обратно пропорциональна \sqrt{M} , где M — масса атома (иона), — следствие того факта, что фонон — квант колебания атома (иона). Как правило, $k_B \theta_D < e_F$.

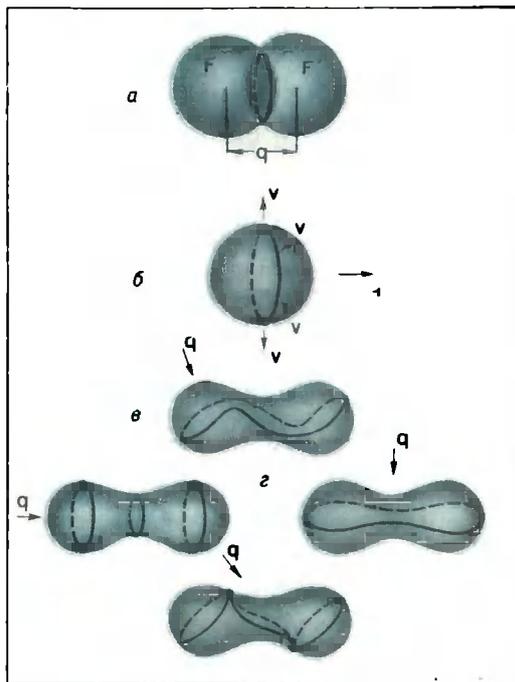
Хотя электронов, как мы говорили, много и, казалось бы, они должны были бы очень часто сталкиваться, важны столкновения только тех электронов, которые принимают участие в тепловом движении. Этих электронов, как мы знаем, мало. Поэтому их столкновения происходят редко и проявляются только в сверхчистых металлах при очень низких (ниже 1 К) температурах.

Столкновения с нерегулярностями решетки не изменяют энергию электрона (примесь, дислокация и т. п. слишком тяжелы, чтобы воспринять от электрона хоть немного энергии; столкновения электрона с ними похожи на отскакивание мячика от стенки). В результате таких столкновений электрон «перепрыгивает» из одной точки поверхности Ферми в другую. Вероятность таких процессов практически не зависит от температуры, и в чистых металлах столкновения с примесями важны (во всяком случае, при расчете сопротивления) только при низких температурах — они определяют так называемое остаточное сопротивление (сопротивление при $T=0\text{K}$).

Основная причина сопротивления металлов в широком интервале температур — столкновения с фононами. Взаимодействие электронов с фононами трудно назвать столкновением: электрон излучает и поглощает фононы. Если в результате этого взаимодействия устанавливается равновесие, то — немного больше излучает, чем поглощает. В каждом акте столкновения изменение энергии электрона не превышает максимальную энергию фонона, которая значительно меньше энергии Ферми⁹. Поэтому и столкновения с фононами не могут заставить электроны далеко удаляться от поверхности Ферми.

В результате мы видим: даже сталкиваясь, электрон не покидает поверхности Ферми или ее ближайшей окрестности — «прыгает» по поверхности Ферми. Форма и структура поверхности, конечно, дают о себе знать. Приведем один пример. Сопротивление существенно связано с такими столкновениями, которые сопровождаются необратимой потерей импульса: электрическое поле увеличивает импульс электронов, и, значит, для установления стационарного состояния необходим механизм, отбирающий импульс у электронной системы. Когда сопротивление определяет-

ся рассеянием на примесях, все просто: при каждом столкновении электрон теряет определенный импульс. Но если примесей нет, а за сопротивление ответственны фононы, положение усложняется. Если в каждом акте столкновения импульс сохраняется, то потерь нет вовсе, и стационарное состояние невозможно — фононный газ придет в движение и только. Но дело в том, что в кристаллах возможны своеобразные столкновения — Р. Пайерлс назвал их процессами переброса; в этих процессах импульс не сохраняется, а изменяется на



Геометрический метод определения эффективных электронов, т. е. электронов, принимающих участие во взаимодействии с фононом, имеющим импульс \vec{q} . В таком взаимодействии принимают участие лишь электроны с линии пересечения поверхности Ферми F со сдвинутым на \vec{q} ее аналогом F^q (а). При $\vec{q} \rightarrow 0$ линия пересечения трансформируется в «поясок» (б), на котором скорости электронов \vec{v} перпендикулярны \vec{q} . Если поверхность Ферми имеет сложную форму, то поясок очень причудлив (в). В зависимости от направления \vec{q} число поясков изменяется (г).

один из периодов \vec{p} -пространства. При низких температурах средний импульс фонона очень мал, он значительно меньше импульса электронов. В этих условиях вероятность процессов переброса определяется топологией и расположением поверхности Ферми — все зависит от того, можно или

⁹ При низких температурах ($T \ll \theta_D$) среднее изменение энергии электрона за счет его столкновения с фононами много меньше максимального — оно порядка $k_B T$.

нельзя «перепрыгнуть» электрону в соседнюю ячейку p -пространства при небольшом изменении импульса. А вероятность процессов переброса определяет температурный ход сопротивления чистых металлов вблизи абсолютного нуля температуры¹⁰. Если более детально рассмотреть процессы переброса, то можно убедиться, что только электроны с отдельных небольших участков поверхностей Ферми прыгают в соседние ячейки \vec{p} -пространства. Остальным приходится добираться до этих участков мелкими случайными «прыжками» по поверхности Ферми. Температурная зависимость сопротивления — еще один пример отбора эффективных электронов.

БЕССТОЛКОВИТЕЛЬНОЕ ПОГЛОЩЕНИЕ ЛАНДАУ: ПОИСКИ ЭФФЕКТИВНЫХ ЭЛЕКТРОНОВ

Когда длина волны звука λ значительно меньше длины свободного пробега электронов¹¹ l , основной механизм взаимодействия звука с металлом — непосредственное поглощение звуковых квантов электронами (бесстолкновительное поглощение Ландау, рассмотренное им в 1946 г. в связи с исследованием взаимодействия электромагнитных волн с плазмой). Законы сохранения энергии и импульса требуют выполнения довольно жестких условий, чтобы такой процесс мог произойти. Если пренебречь энергией кванта звука по сравнению с фермиевской энергией, то законам сохранения энергии и импульса можно придать следующий вид:

$$\varepsilon(\vec{p} + \vec{q}) = \varepsilon(\vec{p}) = \varepsilon_F.$$

Электрон с импульсом \vec{p} , поглотив фонон с импульсом \vec{q} , остается на поверхности Ферми. Поглотить такой фонон могут отнюдь не все электроны. Отыскать их можно, проделав следующее геометрическое построение: пересечем поверхность Ферми ее сдвинутым на величину — \vec{q} аналогом, тогда линия пересечения отметит те точки на поверхности Ферми, в которых расположены электроны, способные поглотить фонон с импульсом \vec{q} . Остальные неэффективны!

Если $q \ll p_F$ (а для звука это всегда так — мы это уже отмечали), то условие участия электронов в поглощении упрощается: $\vec{q}\vec{v}_F = 0$. Оно означает, что в поглощении звука принимают участие фермиевские электроны, скорость которых v_F (нормаль к поверхности Ферми) перпендикулярна импульсу фонона \vec{q} . Если бы мы не пренебрегли энергией фонона, то убедились бы, что условие участия электронов в поглощении означает отбор тех электронов, которые движутся в одной фазе с волной звука ($\vec{p}\vec{v}_F = s$, $\vec{p} = \vec{q}/q$). Так как скорость электрона в тысячу раз больше скорости звука, то это уточнение не обязательно: «с точки зрения» электронов звуковая волна неподвижна. Мы привели его, чтобы подчеркнуть физический смысл условия участия электронов в поглощении: активно взаимодействуют со звуком лишь те электроны, которые движутся в плоскостях равных фаз волны.

Линию на поверхности Ферми, где $\vec{v}_F \perp \vec{q}$, называют «пояском». Поясок легко нанести на модель поверхности Ферми. Для этого надо осветить ее вдоль направления \vec{q} . Граница света и тени совпадает с пояском. Заметим, что, как правило, поясок — не плоская кривая. При случайном направлении волнового вектора форма его достаточно вычурна.

Не следует думать, что бесстолкновительное поглощение звука, как и эффект де Гааза — ван Альфвена, демонстрирует предел неэффективности большинства электронов. Есть явления, в которых принимают участие электроны, расположенные вокруг точек на поверхности Ферми. Наиболее изучен из таких эффектов — геометрический (или пиппардовский, по имени А. Пиппарда) «резонанс»: периодическая зависимость — осцилляции — коэффициента поглощения звука в сильном (но не слишком сильном) магнитном поле \vec{H} , перпендикулярном \vec{q} .

Подчеркнем: линии (пояски) и точки, в которых расположены эффективные электроны, геометрически ничем не выделены на поверхности Ферми — их «отобрало» само явление: направление магнитного поля и (или) импульса фонона \vec{q} . Меняя их, можно заставить пояски и «точки эффективности» двигаться по поверхности — это один из методов «прощупывания» поверхностей Ферми. Вместе с другими он дал возможность выяснить, что из себя представляют поверхности Ферми большинства металлов.

¹⁰ См.: Гуржи Р. Н. и Копелиович А. И. УФН, 1981, т. 133, в. 1, с. 33.

¹¹ Это отнюдь не экзотика. При низких температурах в чистых металлах $l \sim 10^{-3} \div 10^{-1}$ см, а $\lambda = 2\pi s/\omega \approx 10^0/\omega$. Максимально доступные частоты (гиперзвук) $\omega \approx 6 \cdot 10^{10}$, т. е. минимальные длины волн $\lambda \approx 10^{-5}$ см; $s \approx 10^5$ см/с — скорость звука.

ПОВЕРХНОСТЬ ФЕРМИ, СЕЧЕНИЯ И ПОЯСКИ МЕНЯЮТ ФОРМУ

Нельзя ничего увидеть, не изменяя условия эксперимента. При этом наиболее интересны катастрофы — такие ситуации, когда небольшое изменение условий опыта приводит к существенному изменению результатов — наблюдаются аномалии, особенности. Поверхность Ферми — такой же атрибут металла, как и его кристаллическая решетка. Полиморфные превращения, конечно, изменяют поверхность Ферми (у серого и белого олова они разные). Но можно изменить поверхность Ферми металла, не изменяя его кристаллической решетки. Например, подвергая металл всестороннему сжатию или добавляя в него примеси (доноры или акцепторы) и тем изменяя число электронов проводимости, или комбинируя оба метода. Наибольший интерес в данном случае представляет качественное изменение поверхности — изменение ее топологии, — когда у поверхности либо возникает (рвется) перемычка, либо появляется (исчезает) бесконечно маленький эллипсоид. Хотя при бесконечно малом изменении внешних условий существенно трансформируется только бесконечно малый участок поверхности Ферми, это приводит к обнаружимому изменению термодинамических характеристик металла¹². Причина аномальной чувствительности термодинамических характеристик к изменению топологии поверхности Ферми — в особой роли медленных электронов (см. выше): появление эллипсоида или перемычки происходит в той точке \vec{r} -пространства, где скорость электрона равна нулю.

Совершенно другой способ изменять поверхность Ферми, не изменяя кристаллической решетки металла, связан с использованием глубоких примесных ловушек, позволяющих создать метастабильный металл, поверхность Ферми которого при низких температурах сравнительно медленно опустошается — электроны с нее, преодолевая потенциальный барьер, «перетекают» в ловушку¹³.

Изменение поверхности Ферми, конечно, сказывается не только на термодинамических характеристиках металла. Кинетические характеристики даже более чувствительны. Если благодаря разрыву перемычек открытая поверхность Ферми превращается в замкнутую, то все траектории электронов в магнитном поле, — в замкнутые кривые. Это должно существенно сказаться на сопротивлении металла в сильном магнитном поле. Исчезновение или появление очень малого эллипсоида у поверхности Ферми должно сопровождаться конечным скачком коэффициента поглощения звука¹⁴.

Добывать больших изменений электронных характеристик при малом изменении условий эксперимента можно, не прибегая к «насилию» над поверхностью Ферми. Резкая анизотропия сопротивления многих металлов (Cu, Ag, Au и др.) в зависимости от направления сильного магнитного поля — следствие «катастрофического» превращения открытых траекторий в замкнутые и наоборот.

Особенно наглядны катастрофы, происходящие с поясками. При некотором направлении импульса фонона (мы назовем его критическим) поясок может изменить свою топологию: либо у него появится новая петля, либо поясок разорвется. Это локальное изменение структуры пояска приводит (точнее, должно приводить) к аномалиям в угловой зависимости дисперсии и коэффициента поглощения звука, за которую ответственны электроны в той точке на поверхности Ферми, в которой поясок меняет свою топологию. Это не случайная точка на поверхности Ферми. Она находится на линии параболических точек. Напомним: такие точки есть на поверхности Ферми почти каждого металла.

Линии параболических точек, хотя они присущи большинству поверхностей Ферми, суть особые линии — во всяком случае с геометрической точки зрения. Исследование угловой зависимости скорости и затухания звука в металле позволяет исследовать свойства электронов с этих линий на поверхности Ферми.

Особый интерес представляет случай, когда весь эффект определяется одной точкой на поверхности Ферми (как это имеет место в пиппардовском резонансе).

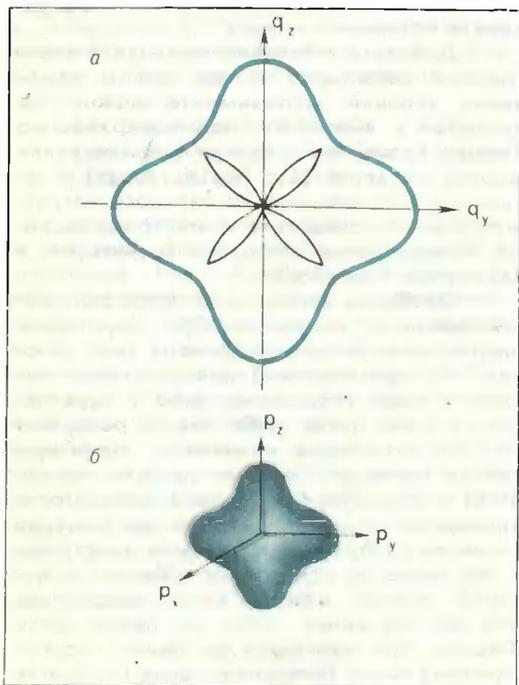
¹² Ли фшиц И. М. ЖЭТФ, 1948, т. 18, с. 1135. Используя систематику Эренфеста, И. М. Ли фшиц назвал топологический переход фазовым переходом $2^{1/2}$ -го рода, так как аномальная часть термодинамического потенциала δF пропорциональна «расстоянию» (по шкале давления) от точки перехода ΔP в степени $5/2$ ($\delta F \sim |\Delta P|^{5/2}$).

¹³ См.: Каганов М. И., Чудинов С. М. Метастабильный металл. — Природа, 1980, № 9, с. 53.

¹⁴ Библиографию по всем обсуждающимся далее эффектам можно найти в обзоре: Каганов М. И., Ли фшиц И. М. Электронная теория металлов и геометрия. — УФН, 1979, т. 129, с. 487.

и эта точка оказывается параболической. Действительно, меняя направление магнитного поля \vec{H} и волнового вектора \vec{k} , можно добиться совмещения «точки эффективности» с параболической точкой, и это должно привести к заметному возрастанию осциллирующей части коэффициента поглощения звука и усложнению угловой зависимости амплитуды осцилляций.

Один из наиболее развитых методов исследования электронного спектра, несомненно, эффект де Гааза — ван Альфвена. В этом эффекте определяют экстре-



Сечение $q_x=0$ геометрического места особых точек закона дисперсии фононов (а) гипотетического металла с поверхностью Ферми, похожей на юлу (б). Особенности Мигдала — Кона обозначены цветом. Пространственная картина получается вращением фигур (а) вокруг оси q_x .

мальное (по p_z) сечение поверхности Ферми при разных направлениях магнитного поля (см. выше). Если поверхность Ферми не выпукла, то число сечений (а не только их величина и форма), зависит от направления магнитного поля \vec{H} . При некоторых направлениях \vec{H} (критических) число сечений скачком изменяется. Это приводит к перестройке спектра осцилляций магнитного момента: добавляются или исчезают периоды в зависимости

магнитного момента металла от $1/H$. Перестройка спектра сопровождается аномалиями в угловой зависимости амплитуды осцилляций, что было обнаружено в 1973 г. Д. Шенбергом и Т. Темпльтоном в опытах на меди.

Как мы видим, вмятины и перемычки на поверхности Ферми играют важную роль в электронных свойствах металлов. Возникает мысль: воздействуя на металл (давлением, добавлением примесей), можно добиваться не изменения топологии поверхности Ферми, а ограничиться образованием на ней вмятин и перетяжек. Несомненно, для этого нужны меньшие усилия, чем для образования новой поверхности или для разрыва перемычки. Хотя такое изменение геометрии и не проявится в термодинамических свойствах металла (в отсутствие магнитного поля!), но у характеристик тех свойств, которые чувствительны к локальной геометрии поверхности Ферми (например, у коэффициента поглощения звука) возникнут обнаружимые аномалии.

ЭЛЕКТРОНЫ И ФОНОНЫ

Электроны и фононы — обязательные участники всех событий физики металлов. Сосуществуя в одном образце, они взаимодействуют друг с другом. О некоторых аспектах этого взаимодействия — о столкновениях между электронами и фононами — мы уже говорили. Но есть другая сторона электрон-фононного взаимодействия. Оно несколько изменяет (как принято говорить, перенормирует) зависимость энергии фононов и электронов от их импульса (их закон дисперсии).

Начнем с фононов. Мы подчеркивали, что активно взаимодействовать с фононом, имеющим импульс \vec{q} , могут только те электроны, которые расположены на линии пересечения поверхности Ферми с ее сдвинутым на $-\vec{q}$ аналогом (для других не выполняются законы сохранения импульса и энергии). Но если импульс фонона больше диаметра поверхности Ферми D_F , то пересечение невозможно. Следовательно, фононы с импульсами $q > D_F$ вовсе не взаимодействуют с электронами. Переход от «возможности» взаимодействовать к «невозможности» сопровождается особенностью в зависимости энергии фонона от его импульса (ее называют особенностью Мигдала — Кона). Геометрическое место точек этих особенностей в \vec{q} -пространстве фононов воспроизводит поверхность Ферми, увеличенную вдвое. Электроны, формирующие особенность, расположены в

точках касания поверхности Ферми и ее аналога, сдвинутого на диаметр поверхности D_F . Это обычные, ничем не выделенные точки. Их выделило направление импульса фонона \vec{q} . Построить геометрическое место точек особенностей Мигдала — Кона можно, не сдвигая поверхность Ферми, а соединяя импульсом фонона те точки на ней, где скорости электронов (нормали) антипараллельны.

Если поверхность Ферми имеет пемычки или вмятины, то (как мы уже говорили) на ней обязательно есть участки со взаимно параллельными скоростями. В зоне дисперсии фононов таких металлов, кроме особенностей Мигдала — Кона, должны существовать дополнительные особенности. Их природа такова: если импульс фонона соединяет точки на поверхности Ферми, в которых скорости параллельны, то у линии пересечения поверхности Ферми с ее сдвинутым аналогом либо исчезает петля, либо рвется пемычка. Это и есть причина возникновения дополнительных особенностей в законе дисперсии фононов.

Итак, мы видим: геометрическое место особенностей в законе дисперсии фононов отражает форму и структуру поверхности Ферми.

Теперь рассмотрим, какую роль играет взаимодействие с фононами в формировании закона дисперсии электронов. Мы не будем рассматривать кардинальную перестройку электронного спектра — переход в сверхпроводящее состояние, хотя он обуславливается именно электрон-фононным взаимодействием (или, точнее, электрон-электронным взаимодействием через фононы). Это увело бы нас далеко от рассказа о свойствах нормальных (несверхпроводящих) металлов.

Влияние фононов на закон дисперсии электронов связано с тем, что электрон, находящийся вне поверхности Ферми, может излучить фонон и «опуститься» на поверхность. Из-за этого время жизни электрона над поверхностью Ферми конечно.

Заметно ощущают влияние фононов только электроны из очень узкого слоя \vec{r} -пространства вокруг поверхности Ферми. Причина этого — в сравнительной малости максимальной энергии фонона (по сравнению с ϵ_F) и большой скорости электронов (по сравнению со скоростью звука). Оценка показывает, что толщина этого слоя примерно равна $m_s \ll r_F$ ($m_s \sim 10^{-22}$ г см/с, $r_F \sim 3 \cdot 10^{-20}$ г см/с). Возможность излучать фононы изменяет эффективную массу и скорость электрона: на поверхности Ферми

и на «расстоянии» от нее, большем величины m_s , они существенно отличаются друг от друга. Этот эффект обнаружим по сравнению результатов различных экспериментов: термодинамические свойства металла при низких температурах определяются скоростью электронов на поверхности Ферми, а, например, оптические свойства металлов зависят от скорости электронов, чья энергия больше ϵ_F на энергию кванта света — фотона.

Переход от одного значения скорости (и массы) к другому не проходит гладко, а сопровождается особенностями, аналогичными особенностям в фононном спектре. Их природа — в «выключении» части электронов из процесса взаимодействия с фононами. Характер особенностей и их положение (геометрическое место точек особенностей в \vec{r} -пространстве), естественно отражают форму, размеры и структуру поверхности Ферми.



Поверхность Ферми металла и прилегающая к ней область \vec{r} -пространства каждого металла — своеобразный мир, в котором живут — появляются, движутся и исчезают — электроны проводимости. Все, что происходит в этом мире, непосредственно проявляется в наблюдаемых и используемых на практике свойствах металлов. Только познав законы этого мира, можно овладеть всем многообразием свойств металлов.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Лифшиц И. М., Азбель М. Я., Каганов М. И. ЭЛЕКТРОННАЯ ТЕОРИЯ МЕТАЛЛОВ. М.: Наука, 1971.

Каганов М. И., Лифшиц И. М. КВАЗИЧАСТИЦЫ. М.: Наука, 1978.

Каганов М. И. ЭЛЕКТРОНЫ, ФОНОНЫ, МАГНОНЫ. М.: Наука, 1979.

Дрезденский Государственный математико-физический салон

К. Шеллингер,
директор салона

Х. Греч,
директор в отставке
Дрезден, ГДР

Фонды государственного математико-физического салона содержат образцы научных, рабочих и демонстрационных инструментов, применявшихся в прикладной математике и физике с XIII по XIX в. Хранящиеся инструменты воплощают в себе реальную историю развития естествознания и техники. Многие из них являются не только памятниками науки и техники, но и представляют большую художественную ценность. В этой статье мы хотели бы познакомить читателя с историей самого музея, дать краткое описание его коллекции, а также очертить круг задач, решаемых коллективом салона.

ИЗ ИСТОРИИ САЛОНА

Коллекция приборов и инструментов Математико-физического салона ведет свою историю с 1560 г., когда саксонский курфюрст Август I основал кунсткамеру. Подобного рода собрания редкостей были довольно широко распространены в XVI в. как один из показателей богатства и пышности княжеских дворов. В 1697 г. саксонский курфюрст Фридрих Август Сильный при поддержке России и Австрии избирается королем Польши (под именем Августа II); Саксония становится одним из ведущих государств Европы, и Дрезден — резиденция Августа II — преобразуется в соответствии со своим новым положением. Изменения коснулись и кунсткамеры, которая в 1701 г. была разделена на самостоятельные тематические коллекции. Одна из них стала «Королевским кабинетом математических и физических инструментов». Один из павильонов архитектурного ан-

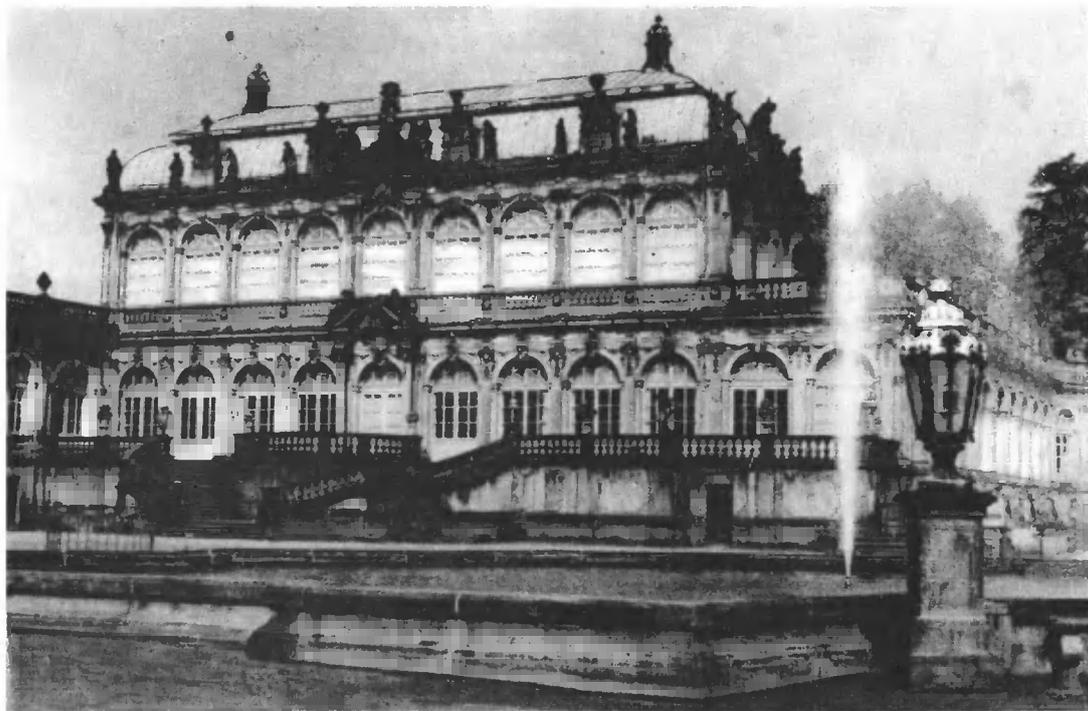
самбля, выполненного в стиле барокко, который должен был разместиться на месте дрезденского Цвингера, предназначался для этого кабинета.

Слово «цвингер» в фортификационном деле обозначало свободное (незастроенное) место среди укреплений, которое использовалось для парадов, рыцарских турниров, ярмарок и т. д. Строился ансамбль под руководством и по плану архитектора М. Пепельмана. В 1728 г., по завершении строительства, кабинет был переименован в «Математико-физический салон», который и поныне находится в этом павильоне.

Коллекция постоянно пополнялась. Наиболее значительные приобретения относятся к XVIII в. К их числу следует отнести произведения «Саксонского Архимеда» А. Гэртнера (1654—1727). Гэртнер с 1687 г. работал столяром при дворе курфюрста, в 1694 г. он получил должность придворного механика и модельного мастера. Время не пощадило шедевров Гэртнера: то, что хранится сейчас в Салоне, — практически все его наследие. В их числе — часы (1709) высотой в 2,5 м; так называемое медицинское зеркало, выполненное из дерева и покрытое листовым золотом; система зеркал, приспособленная для освещения улиц и площадей.

Вид Цвингера со стороны ворот Кронентор.





Математико-физический салон в Цвингере.

Со временем Математико-физический салон становится своеобразным центром научно-прикладных исследований. В этом смысле показательна деятельность В. Лормана (1796—1840) и Р. Блохмана (1784—1871).

Лорман с 1828 по 1840 г. занимал должность старшего инспектора салона. Под его руководством проводился обмер территории Саксонии, была изготовлена топографическая карта на основе тщательно разработанной тригонометрической сети. С помощью приборов, являющихся в настоящее время экспонатами музея, Лорман прокладывал трассы первых железнодорожных линий, а позднее разработал систему единого исчисления времени для Саксонской земли, необходимую для составления графиков движения поездов. Лорман добился организации метеорологической службы, был основателем Государственной технической школы, созданной в 1828 г. в Дрездене для улучшения подготовки инженеров. Позже школа была преобразована в Технический институт, ныне — это Дрезденский технический универ-

ситет, с которым музей поддерживает тесные научные связи.

Блохман был преемником Лормана в должности старшего инспектора и последним, кто ее занимал: в 1869 г. он стал официально именоваться директором. Талантливый механик, обладавший богатыми познаниями в области науки и техники того времени, Блохман сконструировал ткацкий станок, установку для получения искусственной минеральной воды и немало изобретательных приборов. Особо следует отметить его деятельность в развитии газово-осветительной сети в Дрездене.: В салоне, например, можно познакомиться с резервуаром для сжатого газа, построенном Блохманом для проведения опытов.

Февральской ночью 1945 г. в результате англо-американской бомбардировки Дрездена был разрушен Цвингер, уничтожены выставочные залы и подсобные помещения музея. Меры по восстановлению Цвингера, предпринятые при поддержке Советской военной администрации, позволили уже к февралю 1952 г. открыть для посетителей двери выставочного зала. Одновременно с восстановлением Цвингера возвращались и реставрировались экспонаты салона. В 1954 г. был открыт еще один так называемый Большой зал, а в 1956 г. экспозиционная площадь музея была рас-



Вид выставочного зала Математико-физического салона в 1874 г.

ширена за счет примыкающей к Большому залу Боген-галереи. Расширение экспозиционной площади позволяет сегодня музею устраивать тематические выставки.

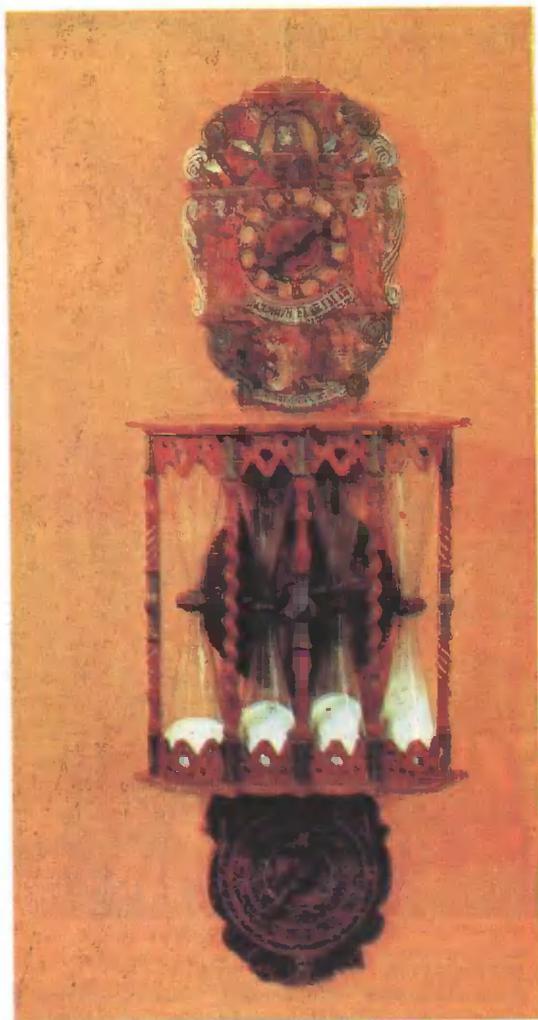
КОЛЛЕКЦИЯ ЧАСОВ

Коллекция часов включает в себя более 500 экспонатов. Это наиболее значительная с научной точки зрения коллекция в мире. В ней представлены солнечные, песочные, масляные и механические часы последних 500 лет их существования.

Стенд солнечных часов охватывает период времени с XVI по XIX в. К наиболее значительным и интересным экземплярам относятся солнечные часы с вогнутой по-

верхностью, изготовленные в 1561 г., горизонтальные солнечные часы с лунным календарем (1562), универсальный циркулярный прибор с солнечными часами и компасом (1566), а также часы для измерения времени ночью с доской для астрологических вычислений (1600). Экспонируется в числе прочих так называемая полуденная пушка (1800), в которой при наивысшем положении Солнца с помощью линзы зажигается порох.

Песочные часы, как правило, состоят из нескольких парных сосудов емкостью на четверть часа, полчаса, три четверти часа и час. Среди экспонатов коллекции особо следует отметить песочные часы, устанавливаемые на кафедре собора, по которым определялось время молитвы и в которых при поворачивании штатива с сосудами количество прошедших часов регистрируется на циферблате с помощью специального механизма. В масляных часах время отмечается уровнем сжигаемого масла.



Песочные [кафедральные] часы И. Гартмана. 2-я пол. XVII в. По ним определялось время службы. При поворачивании штатива с сосудами на циферблате регистрируется время с помощью специального механизма [вверху, слева].

Солнечные часы с вогнутой поверхностью, 1561 г.

Часы в форме башни конструкции П. Шустера, 1585 г. [вверху, справа].
На с. 37.

Часы конструкции Э. Бальдейна и Г. Бухера [2-я пол. XVI в.] показывают помимо времени положение Луны, Меркурия, Марса, Венеры, Юпитера и Сатурна. В них смонтирован вращающийся небесный глобус, астролябия и календарь.





Часы представляют собой, как правило, стеклянный сосуд со шкалой. Для измерения больших промежутков времени масляные и песочные часы неудобны. Они постоянно должны находиться под наблюдением. Поэтому их в основном использовали во время церковных проповедей и судебных разбирательств.

Изобретение механических часов во второй половине XIII в. явилось революцией в измерении времени. Часы этого типа постоянно совершенствовались. В качестве примера укажем на экспонат, относящийся к середине XVI в. Это часы конструкции Э. Бальдевейна и Х. Бухера. Кроме времени, они показывают положение Луны, Меркурия, Венеры, Марса, Юпитера и Сатурна (в геоцентрической систе-

ме). В часы вмонтированы также вращающийся небесный глобус, астролябия и календарь. Для проведения астрономических наблюдений использовались часы (1620) конструкции швейцарского часовщика Т. Бюрги, поддерживавшего тесные контакты с И. Кеплером, обладающие по тому времени довольно точным ходом.

Часы в XVI—XVIII вв. часто оформлялись как предметы роскоши. Таковы настольные часы конструкции П. Шустера в форме башни (1585) и часы конструкции И. Клейна (1738).

Значительным событием в развитии часов явилось изобретение пружинного завода в первой половине XV в., что позволило резко уменьшить их размеры. Коллекция карманных часов содержит



Большой зал.

многочисленные экземпляры с различными техническими решениями и внешним оформлением. Можно указать на уникальный экземпляр карманных часов, созданных известным русским мастером М. С. Бронниковым, в которых все детали, кроме пружины и баланса, выполнены из березового капа (наростов).

ЗЕМНЫЕ И НЕБЕСНЫЕ ГЛОБУСЫ

Коллекция глобусов, механических глобусных часов и армиллярных сфер (астрономических инструментов для определения экваториальных или эклиптических координат небесных светил), значительно

возросшая после 1950 г., когда была начата инвентаризация имеющихся в ГДР научных приборов и инструментов, охватывает XIII—XIX вв. и дает представление о ранних географических открытиях и астрономических познаниях. К особенно ценным экспонатам относятся, в частности, арабский небесный глобус (1279), земной глобус Й. Преториуса (Нюрнберг, 1568), глобус с часами Г. Ролля и Й. Рейнгольда (Аугсбург, 1586), глобусная пара (земной и небесный глобусы) В. Коронелли (Венеция, 1688), небесный глобус Э. Вейгеля (Йена, ок. 1690).

Арабский небесный глобус диаметром 14,5 см состоит из бронзовых полушарий, украшенных гравюрами, выполненными в золоте и серебре. На нем обозначены эклиптика, небесный экватор с градусными делениями, созвездия с названиями. Подпись мастера — «Мохаммед бен Муйид эль Ордхи» — выполнена куфическим шрифтом.

Земной глобус Преториуса диаметром 28 см выполнен из позолоченных латунных полушарий, покрытых гравюрами. Глобус снабжен меридианным, горизонтальным и часовым кольцами. Горизонтальное кольцо покоится на треножнике, украшенном изображениями атлантов.

Глобусные часы Г. Ролля и Й. Рейнгольда высотой почти 60 см служили для определения различных астрономических и календарных величин. Основной их частью является небесный глобус диаметром 36 см с горизонтальным и меридианным кольцами, календарными обручами и армиллярными сферами. Небесный глобус может совершать один оборот за сутки благодаря находящемуся внутри часовому механизму. Он закреплен на общей восьмиугольной плите вместе с компасом, земным глобусом и солнечными часами.

Знаменитая глобусная пара Коронелли богато украшена цветными изображениями сцен охоты, сражений. Показаны морские и сухопутные маршруты с подробными легендами, даны подробные астрономические рекомендации для определения местонахождения путешественника.

На геральдическом небесном глобусе Вейгеля изображения созвездий заменены гербами и символами княжеских родов и основных городов-республик Европы XVII в.



Часовой зал.

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В коллекцию входят приборы для измерения длины на местности, орудийные прицелы и буссоли, ниточные и щелевые диоптры, первые теодолиты, появившиеся в конце XIX в. Примерами экспонатов в этой разнообразной, исторически ценной коллекции могут служить, в частности, дорожный измерительный прибор конструкции Хр. Треушница (Дрезден, 1584), буссоль Э. и Й. Габермелей (ок. 1600) и приспособление для наводки орудий конструкции В. Штарка (Дрезден, 1635).

Дорожный измерительный прибор состоит из счетного устройства, соединения с колесом каретки и циферблата. Счетное устройство суммирует число оборотов колеса, сумма отмечается стрелкой на циферблате. Для зарисовки профиля

дороги и обработки результатов измерений в комплекте предусмотрен чертежный стол. Применение этого прибора позволило значительно сократить время для измерений больших расстояний.

Буссоль Э. и Й. Габермелей состоит из основания, компаса, вращающегося циферблата, линейки для фиксации угла. Такие буссоли в XVII в. служили для определения направлений и углов на местности.

Для наводки орудий определялось горизонтальное направление с помощью отвесов или игольных весов, как это имеет место в приспособлении Штарка. Наклон дула орудия устанавливался по градусным дугам и диоптру.

ИНСТРУМЕНТЫ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДЛИНЫ И ВЕСА

Более 200 экспонатов этого раздела дают представление об историческом развитии средств измерения длины и веса. Здесь представлены серебряные эталоны длины во всем их многообразии вплоть



Арабский небесный глобус Мохаммеда бен Муйида эль Урди, 1279 г. Бронзовые полушария украшены гравюрами, выполненными в золоте и серебре. На глобусе обозначены эклиптика, небесный экватор с градусными делениями, созвездия с названиями (вверху).

Земной глобус Я. Преториуса, 1568 г. Позолоченные латунные полушария покрыты гравюрами. Глобус снабжен меридианным, горизонтальным и часовым кольцами. Горизонтальное кольцо покоится на треножнике с изображениями атлантов (внизу).

На с. 41.

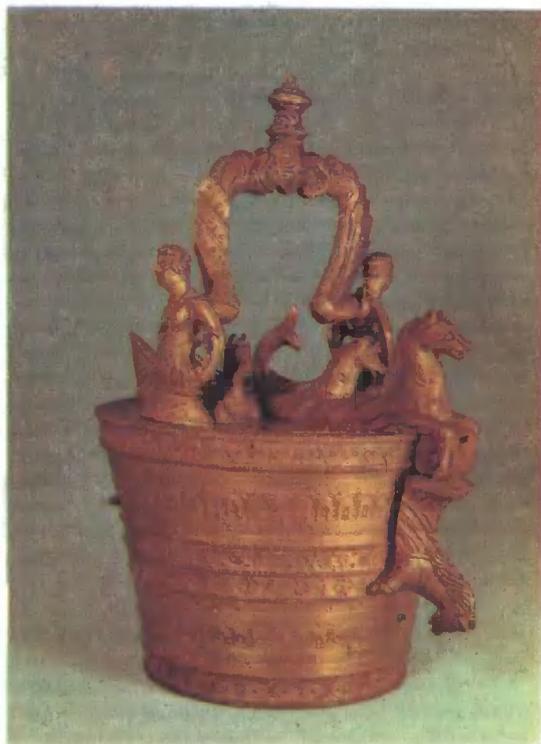
Накладная буассоль Э. и Я. Габермелей, ок. 1600 г. (вверху, слева).

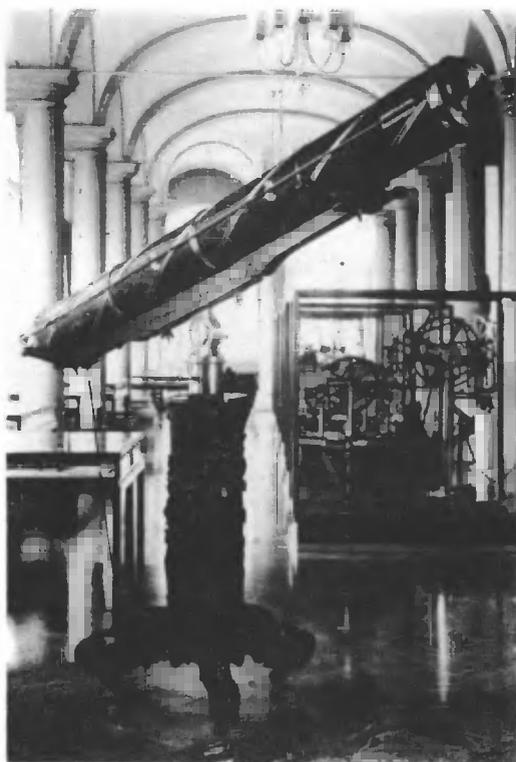
Дорожно-измерительный прибор Хр. Трехслера, 1584 г. (внизу, слева).

Приспособление для наводки орудия В. Штарна, 1835 г. (вверху, справа).

Разновес Г. Мосса, ок. 1588 г. (внизу, справа).





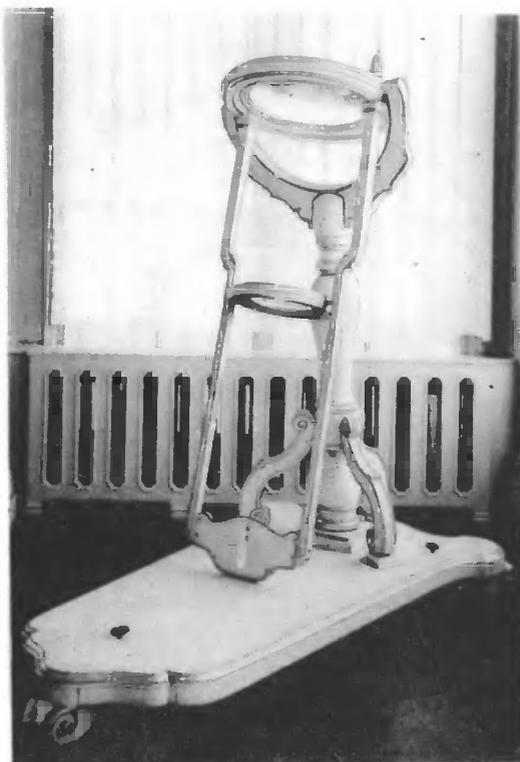


Большой зеркальный телескоп И. Мерклейна и Й. Циммера, 1742 г.

до метра (метрическая система мер была введена в Германии в 1871 г.), измерительные цепи, складные локти и т. д. В экспозиции демонстрируются рычажные весы с гирями. Для обозначения весовых единиц использовались названия денежных единиц и монет. Так, например, на территории Германии в XI в. для определения веса служила так называемая кельнско-эрфуртская марка (234 гр.). В XVI в. потребность во взвешивании денег из драгоценных металлов вызвала к жизни так называемые монетные весы. Такие весы и гири хранились в деревянных ящичках. На одной из сторон гири значилась ее цена, т. е. какой монете она соответствовала, и стоял штампель мастера. В коллекции музея находится свыше 50 комплектов монетных весов XVII—XVIII вв.

ОПТИЧЕСКИЕ ПРИБОРЫ И ИНСТРУМЕНТЫ

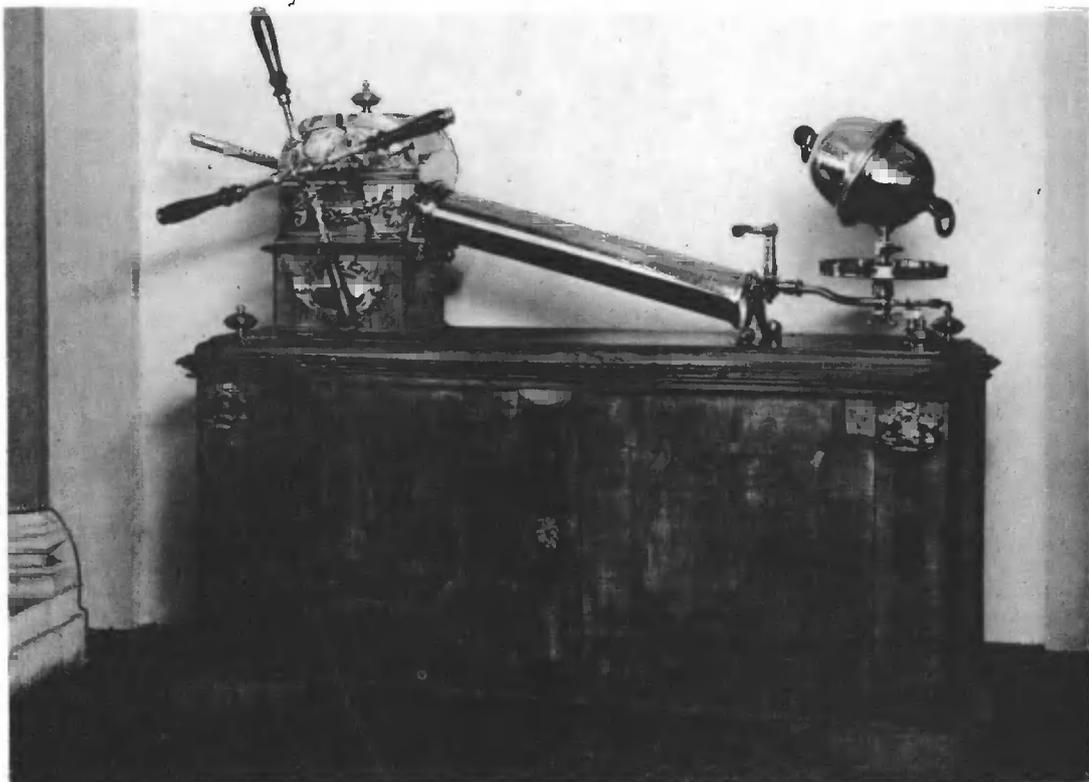
В эту группу инструментов входят очки, лупы, микроскопы, телескопы, осветительные зеркала и линзовые аппараты



Двойной зажигательный линзовый аппарат Э. фон Чирнгауза, ок. 1650 г.

для плавки. Дрезденская коллекция телескопов содержит экземпляры, изготовленные европейскими мастерами в XVII—XVIII вв. Наибольшую ценность представляют зеркальные телескопы Г. Геарне (ок. 1690), В. Гершеля (ок. 1790), И. Мерклейна и Й. Циммера (1742). Центр коллекции — большой зеркальный телескоп с длиной трубы 2,56 м (ок. 1750), а также зеркальный телескоп, труба которого покрыта фарфором и украшена орнаментом и рисунками на религиозные темы. Среди других астрономических инструментов, хранящихся в салоне, достойны упоминания квадранты.

Линзовые аппараты для плавки позволяли, используя излучение Солнца, достичь довольно высоких температур (до 1500°C). Этот метод не потерял своего значения и поныне. Самый большой линзовый аппарат коллекции — аппарат Э. фон Чирнгауза (1685), изготовленный для получения фарфора. Он имеет две линзы диаметром 50 и 26 см. Линзы укреплены в деревянных



Вакуумный (воздушный) насос Я. Леопольда, ок. 1700 г.

оправах, жестко связаны друг с другом и подвижны относительно подставки, на которой предусмотрено место для материала, предназначенного для плавки.

МЕХАНИЧЕСКИЕ ИНСТРУМЕНТЫ

В этом разделе экспонируются простые механические приспособления (например, блоки), инструменты для обработки дерева и металла, вакуумные насосы и т. п. Самым интересным экспонатом этого раздела является вакуумный насос, построенный лейпцигским механиком И. Леопольдом в 1700 г.

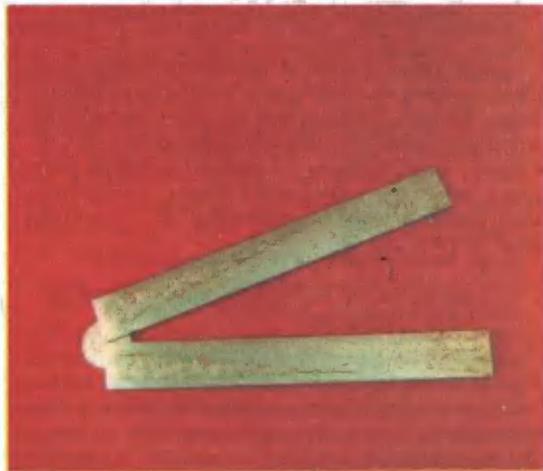
ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ СРЕДСТВА

Экспонаты этой коллекции дают представление о развитии вспомогательных вычислительных средств вплоть до появления механических счетных машин. В коллекцию входят счетные палочки,

счетные доски, пропорциональные циркули, счетные валики, логарифмические линейки, счетные машины и т. п.

Первая счетная машина, выполнявшая четыре арифметических действия, была построена В. Шикардом в 1623 г. Эта машина не сохранилась. После 1644 г. Б. Паскаль сконструировал ряд машин для облегчения денежных расчетов с простым механизмом из зубчатых колес. На них можно было складывать и вычитать. В мире сохранилось лишь семь машин Паскаля: шесть из них находятся во французских музеях и одна экспонируется в Математико-физическом салоне. Над усовершенствованием счетных машин работали многие видные ученые (Г. Лейбниц, И. Аух и др.). Счетная машина Ауха (1790) внешне похожа на машину Паскаля. Она выполняет четыре арифметических действия. В музее экспонируются также первые арифмометры.

Универсальным счетным инструментом в XVII—XVIII вв. был пропорциональный циркуль. Он состоит из двух плоских ножек, которые соединены так, что могут вращаться. Центр вращения обеих ножек является исходным пунктом для шкал, расположенных на каждой из ножек. Из соб-



Зеркальный телескоп, ок. 1750 г. Его труба покрыта фарфором и украшена орнаментом и рисунками на религиозные сюжеты.

Счетная машина Б. Паскаля, ок. 1650 г. (внизу, слева).

Пропорциональный циркуль из готовальни курфюрста, ок. 1630 г.

рания пропорциональных циркулей мы остановимся на одном — циркуле из готовальни курфюрста (ок. 1650). На нем производились, в частности, следующие вычисления: определение длины и площади круга, деление площади круга на равные части, определение суммы длин сторон правильных многоугольников, вычисление корня квадратного и кубического, определение длины дуги при заданном радиусе. Для большинства операций при пользовании пропорциональным циркулем необходим был дополнительный обычный циркуль для снятия величин со шкал. Пропорциональный циркуль был окончательно вытеснен логарифмической линейкой лишь в начале XIX в.

ДРУГИЕ КОЛЛЕКЦИИ

В музее экспонируются также различные вспомогательные и чертежные инструменты (гравировальные резцы, линейки, циркули, рейсфедеры и т. п.), метеорологические приборы для измерения температуры, влажности и давления различных конструкций и в разном техническом исполнении, первые электрические приборы (последние составляют небольшую коллекцию и в настоящее время не экспонируются).

НАУЧНЫЕ И КУЛЬТУРНЫЕ ЗАДАЧИ МУЗЕЯ

Коллектив салона проводит исследование фондов, инвентаризацию и научную обработку важных с точки зрения истории науки, а также истории применения научных приборов и инструментов, имеющихся в ГДР. Выполнение этих исследований является одновременно вкладом ГДР как члена Комиссии научных инструментов при ЮНЕСКО в изучение истории развития науки. Так, например, были проведены исследования по истории измерения времени

и развития хронометрической техники, по развитию географических представлений и астрономической картины мира. В рамках инвентаризации научных приборов и инструментов в стране на сегодняшний день закончена обработка земных и небесных глобусов, механических глобусных часов и армиллярных сфер. Результаты исследований регулярно публикуются в сборниках, издающихся Математико-физическим салоном. Эти результаты дают основу как для выводов и обобщений, касающихся истории развития отдельных областей знания и их инструментального оснащения, так и для организации специальных тематических выставок.

Основным полем деятельности салона является, конечно, организация выставок как в ГДР, так и за границей. Экспонаты музея побывали на интернациональных выставках в Варшаве, Познани, Брно, Лондоне. Салон поддерживает тесные связи с рядом научных учреждений, например Национальным техническим музеем в Праге, Техническим музеем в Варшаве, Музеем науки и технологии в Будапеште. Математико-физический салон является членом различных интернациональных организаций и общества, например Интернационального общества глобографии и инструментоведения им. Коронелли в Вене и Интернационального комитета по истории метрологии при Югославской академии наук в Загребе.

Перевод Д. О. Добровольского.

Многоликое сосуществование соленых и пресных вод

К. Н. Федоров



Константин Николаевич Федоров, доктор физико-математических наук, заведующий отделом экспериментальной и космической океанологии Института океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР. Участник многих экспедиций на научно-исследовательских судах АН СССР. В последние годы занимается исследованиями океанических фронтов. Автор книги: Тонкая термохалинная структура вод океана. Л.: Гидрометеиздат, 1976. В «Природе» опубликовал статьи: Видимые и невидимые границы в океане (1979, № 2), Долгая память океана (1980, № 1).

Соленая и пресная вода. В природе они, как правило, существуют раздельно, хотя различие между ними лишь в том, что в одной имеются растворенные соли, а в другой они практически отсутствуют. Но даже в очень чистых природных пресных водах всегда растворено какое-то, хотя бы очень малое, количество солей. Про такие воды говорят, что они слабо минерализованы.

Среди природных вод можно найти воды с любой минерализацией от долей грамма до 300 и даже более граммов на килограмм. Если природные воды таковы, что для всех практических целей их минерализацией можно пренебречь, то их считают пресными. Озера, например, как правило, либо пресные, либо соленые. Лишь в немногих озерах, как, например, в оз. Балхаш, пресная вода соседствует с соленой. Реки обычно несут в океаны и моря пресную воду, а океан на протяжении многих тысячелетий сохраняет более или менее устойчивую среднюю соленость порядка 35 г/кг ($^{\circ}/_{00}$). Этот кажущийся парадокс становится понятным, когда вспоминаешь о том, что океан содержит около $1400 \cdot 10^{15}$ т соленой воды, а весь запас пресной воды в реках, озерах и льдах на Земле примерно в 40 раз меньше, т. е. около $36 \cdot 10^{15}$ т. Около 98% этого запаса

изъято природой из обращения и покоится в огромных ледниках нашей планеты. Лишь около $0,1 \cdot 10^{15}$ т пресной воды ежегодно участвует в циклическом круговороте через испарение, недолгое пребывание в атмосфере в виде водяного пара, облаков, тумана и, наконец, возвращается через осадки и речной сток в океан. Изъятие или добавление этого количества воды к водам океана может менять его среднюю соленость всего лишь на $0,002$ — $0,003^{\circ}/_{00}$. Но даже если бы весь запас пресной воды рек, озер и ледников слить в океан и там размешать до полной однородности, то и тогда средняя соленость океана понизилась бы всего лишь на $0,9^{\circ}/_{00}$, т. е. стала бы $34,1^{\circ}/_{00}$ вместо $35^{\circ}/_{00}$. Таким образом, следует признать, что находящаяся в нашем повседневном использовании пресная вода — это лишь весьма скромный (хотя и бесценный!) дар от щедрот колоссального соленого океана, переданный человечеству через могучую опреснительную машину атмосферы.

Несмотря на то что пресная вода, безусловно, представляет собой одно из наиболее ценных для человечества естественных химических соединений, речь далее пойдет не о ее запасах и рациональном ее использовании. Дело в том, что всюду, где пресная вода и соленая вода вступают

в естественный контакт, возникают разнообразными и подчас сложные физические явления, правильно объяснить которые еще несколько лет назад было бы невозможно. Пресная вода и соленая вода вовсе не являются несмешивающимися жидкостями. Наоборот, их сравнительно легко смешать друг с другом, и поэтому мы по традиции считаем, что пресная вода, поступающая в океан в результате стока рек, осадков и таяния льда, смешивается с океаническими водами и разбавляет их в некоторой незначительной пропорции. Однако на деле все оказывается не так просто. Речные воды могут долго сосуществовать с солеными в прибрежных районах океана, образуя настоящие пресные «озера» на его поверхности, ограниченные резкими фронтами¹, существование которых связано со многими интересными особенностями динамики разделяемых ими вод. Влияние таких крупных рек, как Амазонка и Ориноко, ощущается в открытом океане за сотни и тысячи километров от их устьев. Пресная вода, располагающаяся тонким слоем над глубоким слоем соленой воды в фиордах и эстуариях, может быть причиной курьезных динамических эффектов — например образования «мертвой воды», при котором судно при работающих машинах стоит на месте. А в озерах подобное же расслоение может приводить и к еще более любопытным следствиям, превращая их в настоящие ловушки солнечного тепла. Осадки, особенно ливневые, выпадающие на поверхность океана, образуют, если ветер не слишком силен, тонкий распресненный слой вблизи поверхности толщиной всего лишь 1—3 м, существенно влияющий на развитие турбулентного перемешивания в верхнем слое океана, на потоки тепла и соли через этот слой и, соответственно, на тепло- и массообмен между океаном и атмосферой. Даже айсберги, плывущие по океану, тают не просто, как они таяли бы в теплой пресной воде, а образуют в окружающей их толще вод океана сложную систему слоев и циркуляций. Эти и другие любопытные особенности сосуществования пресных и соленых вод в природе (и когда они в конце концов перемешиваются, и когда они так и не решаются соединиться) привлекали и привлекают внимание естествоиспытателей от Александра Гумбольдта

до наших дней. И если сегодня многие из вчерашних загадок предстают перед исследователем во всей своей неожиданной физической простоте, то это означает, что настало время, когда о разгадках можно рассказывать не только специалистам.

«ВОЛГА ВПАДАЕТ В КАСПИЙСКОЕ МОРЕ»

Эта фраза давно уже стала образцом тривиальности. Однако даже на примере небольшого Каспийского моря можно понять всю нетривиальность естественного круговорота воды в природе. Каспийское море — внутреннее море, скорее даже — огромное соленое озеро, лежащее в бессточной котловине, причем уровень его находится сейчас на 28 м ниже уровня вод Мирового океана. Три резко различающиеся между собой типа вод соседствуют в бассейне Каспийского моря. На севере по обширному мелководью распространяются пресные воды, поступающие из дельты Волги и устья Урала. К югу от них, отделенные узкой полосой переходных солоноватых вод, лежат собственно каспийские морские воды с соленостью, достигающей $13^{0/00}$. На востоке за узким перешейком располагается горько-соленый залив Кара-Богаз-Гол, до 1980 г. сообщавшийся с Каспием узким проливом². Соленость рассолов в заливе благодаря интенсивному испарению даже тогда, когда существовал сток из моря в залив, достигала $270—360^{0/00}$. Это любопытное соседство, а также непрекращающееся в течение последнего столетия понижение уровня Каспийского моря заставляют внимательно размышлять над водным и солевым балансами этого интереснейшего водоема.

С поверхности каспийского моря ежегодно испаряется около 380 км^3 воды. Эта убыль восполняется главным образом стоком рек и осадками. Суммарный годовой объем речного стока (в основном — Волги, Куры и Урала) колеблется от года к году между 200 и 350 км^3 . Средний годовой объем осадков, выпадающих на поверхность моря, приблизительно равен 75 км^3 . Однако ни по объемам воды, ни по объемам и составу солей балансы Каспийского моря не сходятся. Расход воды за последнее время чаще всего превышал приход, в результате чего в течение последнего

¹ Ф е д о р о в К. Н. Видимые и невидимые границы в океане. — Природа, 1979, № 2, с. 28.

² С начала 1980 г. этот пролив перегороден дамбой.

столетия Каспий недополучал в среднем около 10 км^3 воды в год, что привело к понижению уровня моря примерно на 3 м по отношению к уровню, наблюдававшемуся в 70–80-х годах прошлого века. Одной из важных статей «расхода» был при этом сток каспийской воды в Кара-Богаз-Гол. В течение последнего столетия через пролив в мелководный Кара-Богаз-Гол в среднем уходило около $17\text{—}20 \text{ км}^3$ морской воды в год, там вода испарялась, а принесенная с нею в залив морская соль выпадала в осадок при испарении и уже

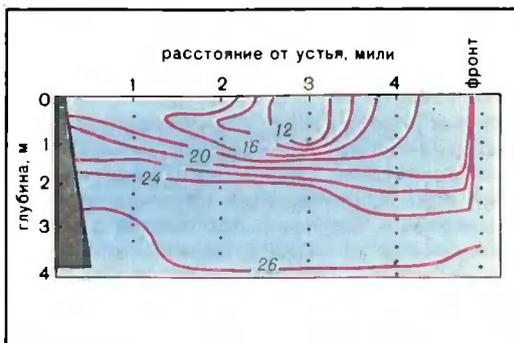


Край стоковой линзы пресной воды, плавающей на поверхности более тяжелой воды, морской. Длинными стрелками показано направление движения воды. Короткие цветные вертикальные стрелки показывают направление турбулентного волажения. Направление распространения внутренних волн на поверхности раздела показано горизонтальной цветной стрелкой.

не возвращалась в море. Возникает вопрос, была ли эта убыль компенсирована солями, принесенными в море вместе с речным стоком? Поскольку на протяжении последнего столетия соленость вод моря ощутимо не менялась, то, казалось бы, можно считать, что баланс соли соблюдался. А что показывает расчет?

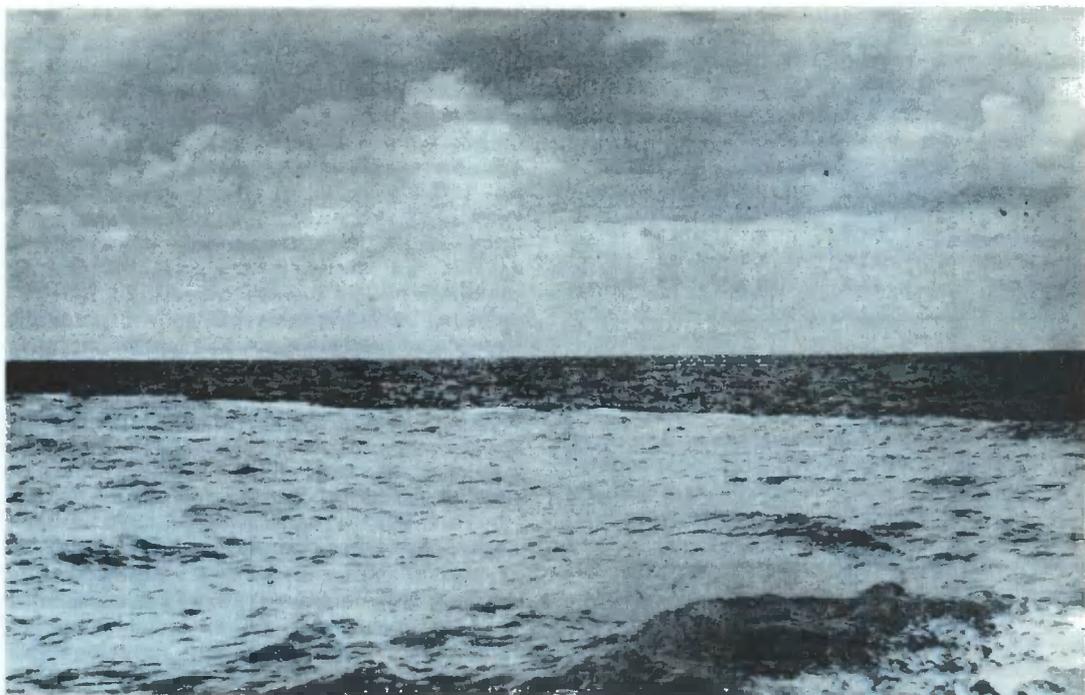
Самое большее, что речные воды могут принести в Каспий (считая среднюю минерализацию речных вод равной $0,2\text{‰}$), составляет около 70 млн т солей в год. Кара-Богаз-Гол же в течение последнего столетия отбирал у Каспия по 220—260 млн т соли в год. Получается, что и баланс не соблюдался и что соль, вопреки мнению ряда ученых, не только не накапливалась в Каспийском море, но убывала с дефицитом 140—190 млн т в год. В то же время, однако, и объем воды в море падал со скоростью примерно $9\text{—}13 \text{ км}^3$ в год,

что способствовало поддержанию солёности воды в море на практически неизменном уровне. Несложный расчет показывает, что если бы компенсации не происходило, то солёность воды в Каспии падала бы примерно на $0,06\text{—}0,08\text{‰}$ за каждое столетие. Если допустить, что в эволюции Каспийского моря был длительный период со стационарным водным балансом, то на основе знания солевого баланса можно было бы вычислить, сколько времени прошло с момента окончательного отделения Каспия от Мирового океана, когда



Распределение солёности в стоковой линзе р. Конкикут (по данным Р. Гарвина, 1974). Цифры на изолиниях — солёность в промилле. На рисунке видно, что у этой линзы пресной воды внешний фронт практически вертикален.

солёность вод обоих бассейнов могла быть одинаковой и равной примерно 35‰ . При среднем за последнее столетие уровне ежегодных потерь соли распределение вод Каспия до 13‰ потребовало бы 35—40 тыс. лет. К сожалению, солевой баланс Каспия известен нам лишь за это столетие, и экстраполировать его на более отдалённые эпохи было бы неправильно. В различные эпохи уровень Каспийского моря то повышался, то понижался, что существенно изменяло площадь, с которой происходило испарение, и водообмен моря с Кара-Богаз-Голом и, соответственно, меняло солевой баланс моря. Поэтому приведенную выше оценку едва ли можно считать достоверной. С другой стороны, изначальный солевой состав вод Каспия, скорее всего, должен был быть близким к океаническому, тогда как реки вносили в него ионы кальция (Ca^{2+}), магния (Mg^{2+}) и SO_4^{2-} , несвойст-



Стокoвый фронт р. Дуная в Черное море. Хорошо виден цветoвой контраст соленой и пресной воды.
Фото М. В. Емельянова.

венные океаническому солевому составу. Вследствие малого объема Каспия по сравнению с океаном солевой состав Каспия должен был существенно измениться за долгие эпохи, прошедшие с момента его отделения от океана. Эти изменения сейчас, действительно, очень заметны и могут, на наш взгляд, служить ключом к пониманию истории Каспийского моря.

А как ведет себя пресная вода рек, попадая в бассейны с соленой водой — моря и океаны? Как ведут себя, например, воды Волги в Каспийском море?

Обычно воды речного стока образуют в морях и океанах вблизи устья тонкие линзы пресной воды, плавающие на поверхности соленой. Название «линза» в данном случае вполне оправданно, так как в разрезе край слоя речной воды выглядит как край оптической линзы, причем условия гидростатики требуют, чтобы свободная

поверхность пресной воды имела небольшой наклон, направленный из устья реки к краям линзы. Наклон нижней границы линзы вблизи ее края может быть более значительным.

Толщина линз зависит от интенсивности речного стока и не превышает 1 м у малых рек, достигая 10—15 м у наиболее крупных рек мира, таких как Ориноко или Амазонка. Внешние края линз распространяются в открытое море или океан на расстояния от нескольких километров до сотен километров, так что характерное отношение толщины к поперечнику у этих линз равно 1 : 10 000. Замечательно то, что пресные или распресненные линзы отделены от соленой воды очень резкими границами, которые вблизи поверхности имеют характер настоящих океанических фронтов (см. табл.).

Эти фронты, называемые стоковыми, очень часто характеризуются резкой сменой цвета воды и резким скачком солености, как, например, на фронтальном разделе между водами Дуная и водами Черного моря. По сообщению океанолога В. С. Большакова³, соленость на этом фрон-

³ Большаков В. С. Известия АН СССР, сер. геофиз., 1958. № 4, с. 94.

Таблица

Размеры линз речного стока в океане в границах изоминий солености $20^{0/00}$ для рек с различными расходами

Река	Расход, тыс. м ³ /с	Размеры линз, м	
		толщина	поперечник
Коннектикут	1,7	1	$5,4 \cdot 10^3$
Миссисипи	22,6	4,5	$50 \cdot 10^3$
Орнико	65,0	10	$75 \cdot 10^3$

те меняется с 4,4 до $10,7^{0/00}$ на расстоянии всего лишь 100 м. Внешний фронт распределенной линзы реки Коннектикут, впадающей в Атлантический океан, характеризуется скачком солености вблизи поверхности с 12 до $23^{0/00}$ в зоне шириной всего лишь 150 м с максимальным горизонтальным градиентом, достигающим $4^{0/00}$ на 20 м. Цвет воды при этом меняется скачком от бурого к сине-зеленому.

При резком возрастании расхода рек в паводковый период стоковые фронты с большой скоростью распространяются в сторону открытого моря, а когда они стабилизируются, то соленые воды продолжают с той же скоростью подтекать под линзу пресной воды. Скорость относительного движения пресных и соленых вод определяется фазовой скоростью внутренних волн, бегущих по границе раздела, и в этом заключена одна из любопытных особенностей динамики пресных линз и стоковых фронтов в океане. С этой особенностью связано очень медленное осолонение речных вод, попавших в море, особенно там, где отсутствуют приливы и интенсивное ветровое перемешивание.

Г. Л. Сытин, с которым мне довелось плавать по Средиземному морю в бытность его капитаном научно-исследовательского судна, часто ссылался на рассказы средиземноморских рыбаков, подтверждаемые старинными лоциями. Занимаясь ловом рыбы у берегов Леванта в восточной части Средиземного моря, рыбаки никогда не брали с собой запасов пресной воды, а черпали ее по мере надобности прямо с поверхности моря из стоковой линзы р. Нил. Сток Нила теперь зарегулирован высотой Асуанской плотиной, но следы избыточных паводковых выносов пресных вод из его дельты в море на восток и затем на север узкой полосой вдоль левантского берега сохранились в донных отложениях. Они, подобно лоциям, свидетельствуют о том, что воды Нила распростра-

нялись на очень большие расстояния от дельты, практически не смешиваясь с водами моря и не осолоняясь в течение долгого времени, что само по себе уже указывает на любопытные стороны динамики и перемешивания на границах пресных вод, втекающих в море.

Лишь сравнительно недавно теоретические исследования распространения пресных вод по поверхности соленых показали, что чрезвычайная резкость границ стоковых линз в океане связана со своеобразным характером турбулентного вовлечения⁴ на этих границах. Численные модели явления, проанализированные американским ученым Р. Гарвином, лишь тогда хорошо совпадали с результатами наблюдений в природе, когда принималось условие, что пресная вода из линзы вовлекается вниз через поверхность раздела в толщу соленых вод, а не наоборот. Это вовлечение, порождаемое высокими скоростями движения пресной воды относительно соленой (или наоборот) вблизи поверхности раздела, уносит из линзы вниз значительное количество пресной воды, которое при стабилизации фронта балансирует непрерывный приток пресной воды из реки. Возникающая при этом конвергентная циркуляция вод, в которой течение с обеих сторон направлено к фронту, способствует большим скоростям опускания воды вдоль фронтального раздела и обострению горизонтальных градиентов солености и других свойств на фронте. Обострению фронта могут препятствовать штормовое перемешивание или сильные приливо-отливные течения. Последние в фазу прилива могут приводить к перемешиванию речных вод с морскими уже в эстуарии, а течение малых рек может попросту периодически поворачивать вспять. В этих случаях описываемое явление усложняется.

До сих пор мы описывали общие черты явления и ничего не говорили о стоке реки Волги. А дело в том, что картина взаимодействия пресных вод Волги с солеными водами Каспия довольно нетипична и не похожа на то, что было в общих чертах описано выше. Волга изливает свои воды на обширное мелководье шириной около сотни километров и глубиной 2—5 м. Расход Волги близок к расходу р. Миссисипи, и, если бы Волга впадала в глубокий океан, ее стоковая линза на поверхности соленых

⁴ Подробнее о турбулентном вовлечении сказано в уже упомянутой статье автора «Видимые и невидимые границы в океане».

вод имела бы толщину порядка 3-5 м при площади около 10 тыс. км², что раза в 4 меньше площади северокаспийского мелководья. Это означает, что перемешивание волжских вод с каспийскими происходит частично уже на мелководье, где этому способствует даже умеренный ветер. Именно поэтому на мелководье чуть севернее свала глубин образуется переходная зона солоноватых вод шириной в 40-50 км, в которой соленость меняется от 1 до 10⁰/₀₀. Резкие горизонтальные градиенты солености фронтального характера встречаются в этой зоне лишь при особо благоприятных ветрах. Зато впадение реки Куры в Каспийское море в области существенно больших глубин сопровождается всеми типичными проявлениями линзообразования и фронтотенеза. Цветовая граница очень контрастна. Линза четко очерчена и имеет поперечник около 15-20 км⁵, что хорошо совпадает с размерами распресненной линзы реки Коннектикут, имеющей примерно такой же объем годового стока: около 17-18 км³/год. Стоковые фронты Куры обычно настолько резко выражены, что во время исследований, по свидетельству А. Н. Косарева, нос катера порой находился в пресной воде, а корма — в соленой (или наоборот).

Очерк о реках, впадающих в моря и океаны, был бы неполным, если бы в нем ничего не было сказано о влиянии вращения Земли на распространение речных вод в океане. Теория предсказывает лишь очень умеренное отклонение стоковых вод вправо от направления стока, да и то лишь в тех случаях, когда в океане отсутствует вдольбереговое течение. Известно, что вдольбереговые течения могут быть очень сильными и под их влиянием втекающие в океан воды многих рек отклоняются влево, а не вправо. Примером может служить сток реки Ориноко. Однако размеры стоковых линз таких крупных рек настолько велики, что вращение Земли уже не может не влиять на динамику стоковых фронтов и околофронтальных течений. В частности, под влиянием вращения Земли конвергентные течения вблизи фронтов слабеют, фронтальные разделы становятся менее резкими, но зато вдоль них формируются мощные струйные геострофические потоки. Слово «геострофический» означает, что в баланс сил, определяющем динамике течения,

участвует отклоняющая «сила» вращения Земли — кориолисово ускорение. Геострофические течения в зонах резких горизонтальных градиентов плотности, связанных со стоком крупных рек, могут быть очень сильными. Обратимся к очевидцу: «Морское течение, образованное рекой Ориноко между южноамериканским материком и богатым асфальтом островом Тринидад, настолько сильно, что при свежем западном ветре корабль, идущий с поднятыми парусами, едва может преодолеть его»⁶. При-

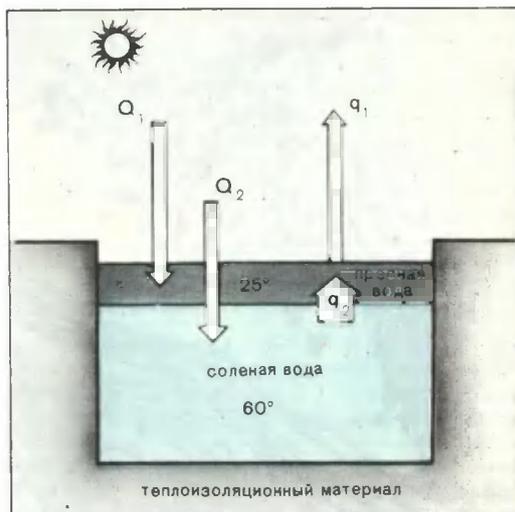


Схема устройства двухслойной ловушки солнечного тепла. В слое пресной воды приходная часть теплового баланса состоит из лучистой солнечной энергии Q_1 и молекулярного потока тепла через поверхность раздела q_2 , расходная часть — суммарные потери тепла Q_1 . В слое соленой воды приток солнечной радиации Q_2 уравновешивается лишь оттоком тепла через поверхность раздела q_2 .

веденные выше слова принадлежат знаменитому географу — путешественнику начала прошлого века Александру Гумбольдту.

СОДРУЖЕСТВО ТЕПЛА И СОЛИ

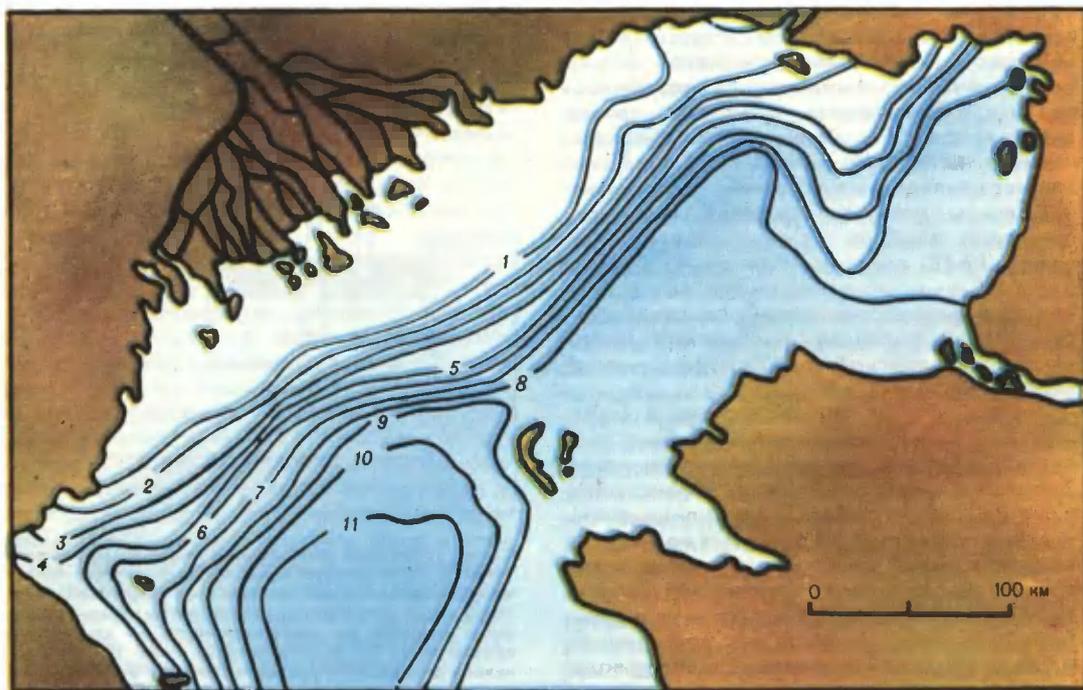
Взгляните на карты Морского атласа. Вы увидите, что самые соленые моря — Красное и Средиземное — лежат в теплых климатических зонах. Самое соленое озеро — Мертвое море — находится неда-

Добровольский А. Д., Завриев В. Г., Косарев А. Н. Океанология, 1961, т. 1, № 4, с. 18

⁶ Гумбольдт А. Картины природы. М.: Изд-во геогр. лит., 1959, с. 63—64.

леко от Средиземного моря. Области повышенной солености поверхностных вод Мирового океана (до $36-37^{\circ}/_{00}$) располагаются в субтропиках. 10-15 лет назад стало известно о существовании горячих рассолов во впадинах на дне Красного моря, где температура достигает $40-60^{\circ}\text{C}$, а соленость — более $270^{\circ}/_{00}$! С тех пор горячие рассолы (так называемые термальные воды) были найдены и в других рифтовых зонах Мирового океана. В противоположность этому арктические и субарктические

опресняют соленую и более теплую воду океана. Одним словом, более теплые воды океана имеют тенденцию быть более солеными, а более холодные — более пресными. Из этого любопытного правила, конечно же, есть исключения. В тихую солнечную погоду в тропиках или субтропиках, например, поверхностный слой океана толщиной 1—2 м, опресненный предшествующим ливнем, может перегреться до $32-33^{\circ}\text{C}$, тогда как там, где не было дождя, температура воды не превышает $27-28^{\circ}\text{C}$. Воды



Распространение солености в стоксовой линзе р. Волги в Каспийском море (по А. Н. Косареву и др., 1971). Цифры на изолиниях — соленость в промилле.

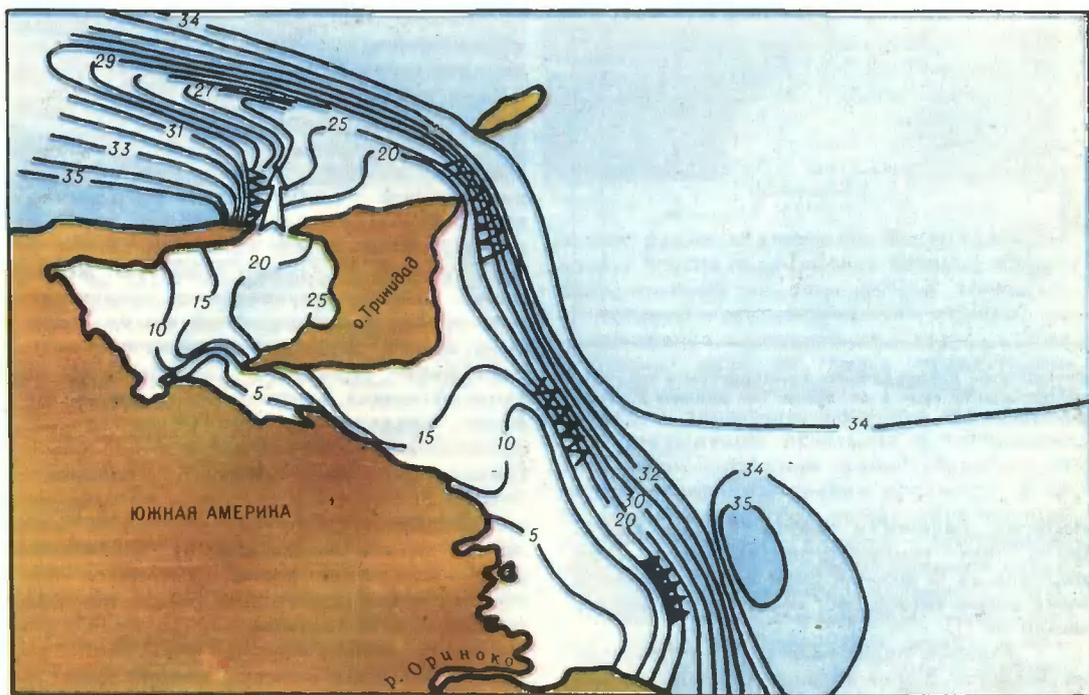
части океана отличаются низкими соленостями. Морской лед состоит из смеси кристаллов пресного льда и ячеек рассола, который выдавливается вниз в морскую воду по мере роста ледяного покрова. С возрастом морской лед становится все преснее и преснее, так что многолетний паковый лед в Арктике, образовавшийся первоначально из морской воды, в конце концов становится практически пресным. Айсберги состоят из пресного льда ледникового происхождения и в процессе таяния

речного стока, попадающие в океан, могут быть слегка теплее вод океана. Но все это — скорее исключения из общего правила, подчеркивающие, однако, любопытные аспекты сосуществования пресной и соленой воды в природе. Рассмотрим повнимательнее эти аспекты.

Однажды в 1974 г., высадившись на одном из Галапагосских о-вов, о-ве Изабелла, мы решили искупаться в небольшом живописном озерке, расположенном высоко в скалах. Сказано — сделано! Но уже через мгновенье любители купания с визгом выскакивали из воды на берег. Под тонким верхним слоем воды относительно приятной температуры находилась обжигающе горячая вода. Мы набрали на естественную ловушку солнечного тепла — при-

родный аккумулятор энергии солнца. Устройство его несложно. Вода в озере соленая, вероятно, вследствие его вулканического происхождения. Однако сверху находится слой пресной воды, накопившейся в результате дождей и впадения в озеро мелких пресных ручейков. Лучистая солнечная энергия, поглощаемая днем водой верхнего слоя (Q_1), участвует в нормальном теплообмене с атмосферой, благодаря которому температура воды этого слоя поддерживается на каком-то равно-

весном квазистационарном уровне — скажем 25°C . С поверхности этого слоя происходит испарение и тепловое излучение, через поверхность же происходит и контактный теплообмен с воздухом, имеющим в районе Галапагосских о-вов умеренную температуру порядка $21-23^{\circ}\text{C}$. В этом слое происходит ветровое перемешивание и развивается конвекция, связанная с суммарными потерями тепла (q_1) через свободную поверхность. Однако, благодаря большому скачку плотности между пресной



Распределение солености и фронтов в стоковой линии р. Ориноко (по данным Х. Гада, 1961).

Фронты:



с горизонтальными градиентами солености 1‰ на км



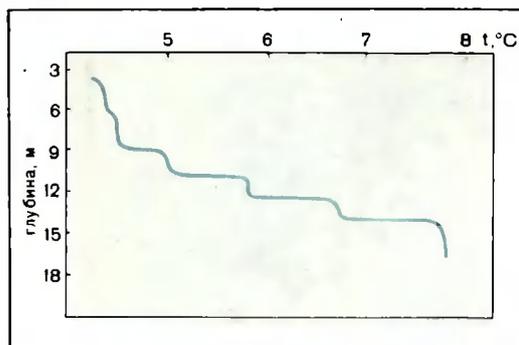
с градиентами около $0,5\text{‰}$ на км



направление течения, наблюдавшегося А. Гумбольдтом

и соленой водой, все эти процессы не проникают в нижний соленый слой воды. Из-за прозрачности верхнего слоя соленые воды поглощают значительную долю солнечной радиации (Q_2), но не могут непосредственно возвращать полученное тепло в атмосферу, минуя верхний слой, так как, кроме молекулярного теплообмена на границе раздела двух вод, никаких других механизмов теплообмена для нижнего слоя не существует. В результате тепло в нижнем слое накапливается до некоторого равновесного уровня, обеспечивающего такой градиент температуры на границе раздела между двумя водами, чтобы молекулярный поток тепла через эту поверхность (q_2) уравновесил приток радиационной энергии солнца, поглощаемой

нижним слоем (Q_2). Чем больше разность соленостей двух слоев, тем резче (тоньше) будет граница раздела, тем больший вертикальный градиент температуры может поддерживаться на ней. Несложный расчет показывает, что для компенсации поглощения нижним слоем весьма скромной доли потока солнечной радиации, равной всего лишь $0,3 \text{ кал/см}^2 \text{ мин}$ (около $210 \text{ Вт} \cdot \text{м}^{-2}$), необходимо, чтобы переходная прослойка толщиной в 10 см между пресной и соленой водой содержала перепад температуры в $35,7^\circ\text{C}$ и минимальный



Ступенчатое распределение температуры в верхнем инверсионном слое в оз. Ванда [по данным Р. Хоера, 1960].

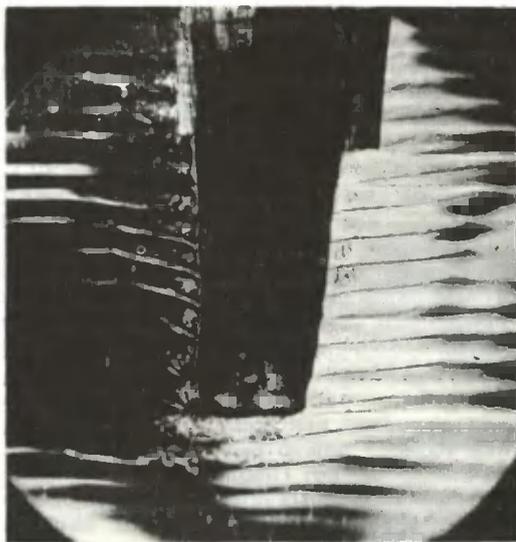
перепад солености около 48‰ . Стало быть, при температуре верхнего слоя порядка 25°C нижний слой обнаруженного нами озера вполне мог иметь температуру около 60°C .

Явления подобного рода в природе не редкость. В упоминавшемся выше заливе Кара-Богаз-Гол в прилегающем к проливу районе летом температура воды на поверхности не превышала $18\text{--}20^\circ$, что было близко к температуре втекавших в залив каспийских вод. Но уже на глубине $1\text{--}2 \text{ м}$ температура повышалась до 30°C , что соответствовало температуре разогретой рапы, у которой не было прямых путей для теплообмена с атмосферой. В Антарктике есть оз. Ванда, покрытое льдом обнаруженный нами озера вполне мог иметь температуру около 60°C . Стало быть, при температуре верхнего слоя порядка 25°C нижний слой обнаруженного нами озера вполне мог иметь температуру около 60°C . Явления подобного рода в природе не редкость. В упоминавшемся выше заливе Кара-Богаз-Гол в прилегающем к проливу районе летом температура воды на поверхности не превышала $18\text{--}20^\circ$, что было близко к температуре втекавших в залив каспийских вод. Но уже на глубине $1\text{--}2 \text{ м}$ температура повышалась до 30°C , что соответствовало температуре разогретой рапы, у которой не было прямых путей для теплообмена с атмосферой. В Антарктике есть оз. Ванда, покрытое льдом обнаруженный нами озера вполне мог иметь температуру около 60°C . Стало быть, при температуре верхнего слоя порядка 25°C нижний слой обнаруженного нами озера вполне мог иметь температуру около 60°C .

толщю вод оз. Ванда. Но это в данном случае не так уж важно! В нашем рассказе важно то, что глубинный соленый слой воды в этом озере служит естественным аккумулятором тепла, благодаря гидростатически устойчивому распределению плотности на его верхней границе. Точно так же сохраняют свою высокую температуру и красноморские «термальные воды» во впадинах Атлантик и Дискавери.

Теперь, когда мир познакомился с энергетическим кризисом, на страницах ряда зарубежных журналов были опубликованы технические советы по созданию «домашних», или, если можно так сказать, «приусадебных», водяных ловушек солнечного тепла. Принцип их устройства, как может догадаться читатель, был позаимствован в мастерской природы.

В заключение рассказа о тепловых ловушках хотелось бы упомянуть об одной любопытной особенности пограничных прослоек, отделяющих соленые воды от пресных (или менее соленых). Почти во всех случаях они имеют слоистую, можно даже сказать, ступенчатую, структуру. Как правило, между глубинными солеными водами и поверхностными пресными (или менее солеными) располагается несколько тонких однородных слоев — ступенек, разделенных еще более тонкими прослойками с высокими вертикальными градиентами температуры и солености. Это расслоение имеет место потому, что молекулярная диффузия соли хоть медленно, но все же расширяет переходную зону. Вследствие этого появляется возможность для разделения усилий по преодолению архимедовых сил солевой стратификации между молекулярной теплопроводностью, работающей в тонких прослойках, и конвекцией, которая трудится в однородных слоях. Результирующий тепловой поток, будучи отнесенным к среднему градиенту температуры в переходной зоне, оказывается интенсивнее молекулярного, но остается прежним по абсолютной величине, т. е. таким, какого требовало квазистационарное состояние всей системы. Соответственно, толщины конвективных слоев зависят от средней плотностной стратификации переходной зоны и от теплового потока, задаваемого внешними условиями. Эта способность переходных зон между более солеными и менее солеными водами при наличии разности температур разбиваться на периодические структуры оказалась вполне универсальной. Она характеризует многие процессы в океане, о которых будет рассказано ниже.



Таяние бруска льда в стратифицированной по солености воде (вертикальный градиент солености $1,8 \text{ ‰}$ на см) в эксперименте В. С. Беляева и Ю. Д. Чашечкина: через 14 мин (слева), через 21 мин (справа) после погружения бруска в воду. Начальная ширина погруженной части бруска 5,2 см, длина 13,6 см. Толщина слоев воды 1,2 см. Температура воды в начале опыта 21°C , через 14 мин — 18°C .

СПУСТИТЬСЯ ПО ЛЕСТНИЦЕ ПРОЦЕ, ЧЕМ СПРЫГНУТЬ...

Человечеству угрожает не один энергетический кризис. В мире катастрофически убывают запасы доступной пресной воды, промышленные и бытовые потребности в которой продолжают неуклонно расти. В качестве одной из мер по восполнению водного дефицита предлагают буксировать из Антарктиды гигантские айсберги и организовывать их таяние так, чтобы талая вода поступала в водоснабжение. При этом многие считают, что во время таяния айсберга в окружающей теплой морской воде вокруг айсберга будет образовываться своего рода «озеро», или «карман», талой пресной воды, которую можно будет непосредственно качать шлангами на сушу. На деле же все оказывается значительно сложнее.

В. С. Беляев и Ю. Д. Чашечкин по просьбе автора сделали теневую фотографию таяния вертикального бруска льда в лабораторном бассейне со стратифицированной по солености теплой морской водой. Параллельный пучок света выделил на фотографии (благодаря преломлению света) прослойки с высокими значе-

ниями градиента плотности. Вся толща воды вокруг бруска льда (черная колонка посредине) разбита на слои равной толщины, в которых осуществляется ламинарная конвективная циркуляция воды. Слои отделены друг от друга прослойками с высоким вертикальным градиентом солености и плотности. В данном случае, как и в предыдущих примерах с тепловыми ловушками, толщина слоев зависит от вертикального изменения плотности и от разности температур между окружающей водой и льдом. Видимо, постепенное перемешивание, осуществляющееся путем формирования ступенчатых структур и циркуляций, более рационально использует доступную потенциальную энергию возникших градиентов тепла и соли и поэтому более эффективно, чем беспорядочная турбулентность. Экстраполируя численные зависимости, полученные в аналогичных лабораторных опытах Г. Хаппертом и Э. Йосбергером, на условия в океане, можно предсказать, какой будет толщина слоев вокруг айсбергов в верхнем слое океана. Слои должны быть от 1 до 10 м толщиной, если, конечно, как указывают Хапперт и Йосбергер, конвективные циркуляции не утратят свой ламинарный характер и вся система в результате неустойчивости не придет в хаотическое турбулентное движение. Этого можно опасаться, так как масштабы процесса в океане существенно отличаются от лабораторных. Как бы там ни было, в любом случае должно происходить сравнительно быстрое осолонение талой воды. Видимо, придется помешать

айсберги в гигантские полиэтиленовые карманы, чтобы предотвратить нежелательные потери драгоценной жидкости.

Но на Земле, помимо ледников и айсбергов, есть еще грунтовые пресные воды. В некоторых местах источники этих вод располагаются на дне океана и изливают пресную воду непосредственно в толщу соленой. Такие источники, по-видимому, неоднократно спасали жизнь мореплавателям и рыбакам древности, попадавшим в беду. Вот так описывает такое происшествие Джек Лондон в рассказе «Дьяволы на Фуатино»: «Несколько раз вздохнув всей грудью и выдохнув воздух, как обычно делают пловцы перед тем как нырнуть, Гриф ушел под воду. Она была соленая на вкус и теплая. Потом, уже на порядочной глубине, она заметно охладилась и стала менее соленой. Внезапно Гриф почувствовал, что попал в холодную струю. Он вынул пробку, и пресная вода, булькая, стала вливаться в калабаш»⁷.

Однако есть свидетельства и более научного свойства. Многие из них собраны в книге В. Ф. Дерпгольца «Мир воды». Пресноводные источники под водой у берегов Кубы, как свидетельствует эта книга, наблюдал Александр Гумбольдт. Дерпголец рассказывает, что «между южными берегами п-ова Флорида и о-ва Ки-Уэст в проливе в январе 1857 г. произошел катастрофический прорыв пресной воды на дне моря с образованием субаквальной пресноводной реки шириной около 50 км. Миллиарды мертвых морских рыб плавали по поверхности моря, и рыбаки в восточной части Мексиканского залива более месяца черпали (с морской глубины) пресную питьевую воду»⁸. Тот же автор приводит рассказы моряков о подводных пресных «озерах» на дне Адриатического моря. Температура воды в одном из таких «озер» была 6-7°C при температуре воды моря 26°C. А в Юкатанском проливе пресные ключи, по рассказам, образуют на некоторой глубине своеобразные «колодцы», окруженные стенками теплой соленой воды.

Известно, что моряки — хорошие наблюдатели и великолепные рассказчики. Однако наблюдения в океане без специальных приборов могут оказаться очень обманчивыми. Поэтому далеко не так просто отделить правду от вымысла в опу-

ликованных с чьих-то слов свидетельствах. То, что пресных источников на дне океана, и особенно вблизи берегов, много, не подлежит сомнению. Однако придонные пресные «озера», подобные описанным В. Ф. Дерпгольцом, вызывают сомнения. Никакая разность температуры, даже 20°C, не может заставить пресную воду иметь удельный вес больше соленой, да еще содержащей 37-38 г соли на килограмм. При такой солености вышележащих вод и наблюдавшейся разности температур придонные ключевые воды должны были быть осолонены по крайней мере до 23-25‰. Если же поверхностные воды сами были распреснены до 31‰, что маловероятно для Адриатики, то придонное «озеро» должно было быть не преснее 20-21‰. А вот наблюдавшиеся вертикальные «колодцы» пресной воды в океане более правдоподобны. Пресная вода из источника в области сравнительно слабых течений должна подниматься струей вверх сквозь толщу соленой воды, как дым из заводской трубы в атмосфере. При значительном расходе источника эта струя, видимо, должна иметь достаточно широкий диаметр. Не исключено, что вокруг такой холодной струи в толще соленых вод будут образовываться конвективные слои (как бревна колодца), подобные тем, которые образуются вокруг бруска льда. Эти слои, благодаря конвективным циркуляциям, будут изымать некую малую часть пресной воды из струи и медленно перемешивать ее с окружающими солеными водами. На поверхности при этом должна возникнуть линза пресной холодной воды. Если система при этом не турбулизуется, то такой «колодец», по-видимому, будет функционировать долго. В последние годы мы убеждаемся все чаще и чаще, что толще океана более свойственны ламинарные движения, нежели турбулентные. Хотелось бы набрести на такой «колодец» в океане, имея при себе полный комплект современных измерительных средств, чтобы проверить справедливость указанной тенденции и в данном случае.

Как читатель мог убедиться, новые научные представления, полученные в результате лабораторных экспериментов, путем теоретического моделирования и на основе более тщательных натурных наблюдений заставляют по-новому взглянуть на многие давно известные и казавшиеся тривиальными факты. Именно таким сложным путем и продолжается непрерывный процесс познания природы, загадкам и тайнам которой нет предела.

⁷ Лондон Дж. Соч., т. 3. М.: Худ. лит., 1955, с. 167.

⁸ Дерпгольц В. Ф. Мир воды. Л.: Недра, 1979, с. 154.

Галактическая цикличность геологических процессов

Ю. А. Багдасаров

кандидат геолого-минералогических наук

Институт минералогии, геохимии и кристаллохимии редких элементов АН СССР и Министерства геологии СССР

Вопросы цикличности геологических явлений и ее причины становятся весьма актуальными в последнее время. Выясняется, что в определенные временные интервалы «укладываются» не только процессы накопления осадков, при которых образуются залежи горючих ископаемых, фосфориты, ряд месторождений железа и марганца, но и эндогенные процессы, в ходе которых формируются месторождения большинства металлических полезных ископаемых, апатита, слюды и др. Уже давно установлен циклический характер процессов оледенения и связанных с ними изменений уровня Мирового океана, воздыманий и опусканий обширных участков земной поверхности, вулканических явлений и т. д.

Различные геологические процессы разного масштаба, длительности и интенсивности обнаруживают разную ритмичность, и причины ее крайне многообразны. Во главе ряда причин, вызывающих смену ритмично повторяющихся геологических процессов, некоторые исследователи ставят факторы, возникающие далеко за пределами Земли и даже Солнечной системы — так называемые галактические, связанные с периодичностью обращения Солнца вокруг некоторого галактического центра с периодом порядка 220-245 млн лет.

Предпосылки для подобной гипотезы достаточно просты и правдоподобны. Поскольку галактическая орбита Солнца является не круговой, а эллиптической, с точками минимального и максимального расстояния от центра — пери- и апогалактием, то воздействие любых физических полей — радиационных,

гравитационных, магнитных и др. — на Солнце и ее планетную систему также непостоянны и меняются во времени. Под влиянием этих факторов, возможно, меняется и реакция земных недр что, в частности, может выражаться в появлении разломов на поверхности Земли и перемещения по ним магматических масс. Нужно учесть также, что со временем длительность галактического года не оставалась постоянной, закономерно уменьшаясь в среднем на 1,26 за каждый оборот. Подобная галактическая периодичность и лежит, видимо, в основе цикличности чисто земных явлений. При ее анализе выясняется ряд интересных закономерностей. Так, периоды прохождения Солнечной системы через некоторое промежуточное положение между перигалактием и апогалактием — так называемую точку апсид — 560, 380, 210 и 30 млн лет назад близко совпадают с началом главных эпох горообразования и магматизма фанерозоя — соответственно каледонской, герцинской, киммерийской и альпийской эпох, характеризующихся сильнейшими вспышками магматизма на Земле. Если на шкалу галактических лет наложить график глобальных трансгрессий и регрессий — повышений и понижений уровня Мирового океана, то каждому галактическому году соответствует по две эпохи трансгрессий и регрессий и т. д.

Высказанные положения не новы, хотя сейчас и трудно указать, кто был первым, отметившим роль «космогеологического фактора». Интересно, что более полвека назад о ритмических колебаниях земной поверхности уже писал в «Природе» известный советский геолог Б. Л. Личков¹. В 50-е годы проблемы, касающиеся роли косми-

ческих факторов в формировании структурно-тектонических элементов Земли, с успехом разрабатывал талантливый геолог С. С. Николаев, трагически погибший. Позже сходным вопросам были посвящены работы Л. В. Фирсова, Ю. М. Малиновского² и ряда других авторов.

Следует сказать, что попытки периодизации всех проявлений магматизма в сравнительно хорошо изученные эпохи развития Земли, например в фанерозое (последние 570 млн лет), выявляют весьма пеструю картину. В частности, сложно проанализировать в этом случае временные закономерности развития так называемого корового магматизма — расплавов, возникающих в верхних 10-50 км земной коры, ввиду сложного взаимодействия множества факторов, лежащих в основе механизма этих процессов, а отчасти и из-за исключительного обилия разновозрастных магматических тел этой природы.

Значительно более определенная картина выявляется, если проанализировать эпохи возникновения более глубинного мантийного магматизма. Магматические тела, питаемые веществом мантии, появляются в верхних этажах земной коры лишь в особых условиях, обычно при наличии мощных разломов, рассекающих земную кору и проникающих в мантию Земли. В этой связи чрезвычайно интересна работа шотландского геолога Р. Макинтайра³, сосредоточив-

² Фирсов Л. В. Галактическая периодичность в развитии органического мира Земли. — В сб.: Основные теоретич. вопросы цикличности и седиментогенеза. Новосибирск, 1975; Малиновский Ю. М. Зависимость периодичности осадкообразования от положения Солнечной системы в Галактике. — Там же.

¹ Личков Б. Л. Основные законы вековых поднятий и опусканий земной коры. — Природа, 1927, № 11, с. 839.

³ Macintyre R. M. Nature Phys. Sci, 1971, v. 230, № 12, p. 79.

шего внимания на закономерностях формирования весьма специфической формации глубинных магматических горных пород — ультраосновной-щелочной с карбонитами. Эти сложные комплексные многофазные массивы размещаются в областях древних щитов, платформ и областей завершённой складчатости, т. е. в районах с относительно спокойным тектоническим режимом, рассечённых глубинными разломами, часто рифтового типа.

Для территории Канады время формирования массивов этих пород четко укладывается в 7 эпох.

И так, если исключить «двойной интервал» между эпохами магмообразования T_1 и T_3 — 496 млн лет, то средний интервал между пятью другими эпохами оказывается очень близким к продолжительности галактического года — 233 млн лет. Можно предположить, что для упомянутого интервала между эпохами T_3 и T_4 существовал ещё один период щелочно-ультраосновного магматизма, принадлежащие к которому массивы пока не обнаружены на огромной территории Канады, но известны, например, в Индии (возраст их около 800 млн лет). И в этом случае интервалы, отделяющие его от соседних по возрасту эпох, будут опять-таки близки к продолжительности галактического года — около 240 млн лет. Показательно, что привлечение материалов по другим провинциям, странам и континентам подтверждают схему Макинтайра. Так, массивы Карело-Кольской и, возможно, Сетте-Дабанской провинции этих пород (Северо-Восточный Алдан) укладываются в эпоху T_2 (340—400 млн лет), интрузии Восточного Саяна, ряда областей Центрального Алдана, зарубежных массивов Балтийского щита и Гренландии — в T_3 (560—650 млн лет) и т. д. Выявляется, вероятно, древнейшая эпоха становления карбонатитовых массивов — 2–2,1 млрд лет, на примере массивов Силлинярви в Финляндии, Приазовья на Украине и Палабора в ЮАР; в соответствии со схемой Макинтайра, она может быть охарактеризована как T_7 с интервалом между T_7 и T_8 , близким опять-таки к 250 млн лет!

По-видимому, появление этих пород, а точнее, генерирующих их разломов, «доставляющих» магматические массы к верхним горизонтам земной коры, является реакцией земных недр на изменения «силовых полей» в пределах гигантской галактической орбиты, по которой мчится Солнце. Вероятно, не только щелочно-ультраосновные массивы являются своеобразными индикаторами меняющихся воздействий галактических силовых полей; возможна связь с ними и таких глубинных образований, как кимберлиты, нещелочные гипербазиты типа уральских и южноафриканских, сложные интрузии норильского типа и др. В этом ряду пород, обнаруживающихся, возможно, признаки галактической цикличности в закономерностях появления на поверхности Земли, на первое место следует поставить кимберлиты — образования, генетически наиболее близкие к массивам, содержащим карбонатиты. Как известно, кимберлиты являются породами ультраосновного состава и, в отличие от карбонатитовых массивов, сложены практически недифференцированным веществом мантии Земли, достигающим ее поверхности по особо глубинным разломам, пересекающим земную кору и верхнюю мантию до глубин 120—180 км. Проведенный анализ⁴ показывает, что в пределах такого крупнейшего региона развития кимберлитов, как Южная Африка, а также Северной и Южной Америки, периоды наиболее мощного проявления кимберлитового магматизма разделены промежутком времени примерно 60 млн лет — верхний триас и верхняя юра — нижний мел для Африки, пермь и нижняя юра — для Северной Америки и т. д. Для Сибирской платформы два главных мегацикла кимберлитообразования разделены промежутком времени около 170 млн лет (граница девона и карбона и средний триас — юра). При этом данные мегациклы в каждом из регионов развития кимберлитов распадаются на циклы кимберлитового маг-

матизма, разделенные интервалами 30—60 млн лет. Нетрудно подсчитать, что названные промежутки времени отвечают 1/4, 3/4 и 1/8 длительности галактического года. Весьма возможно, что и эти периоды образования глубинных разломов, сопровождаемые кимберлитовым магматизмом, являются отражением меняющихся во времени физических полей галактического пространства, вмещающего орбиту Солнечной системы.

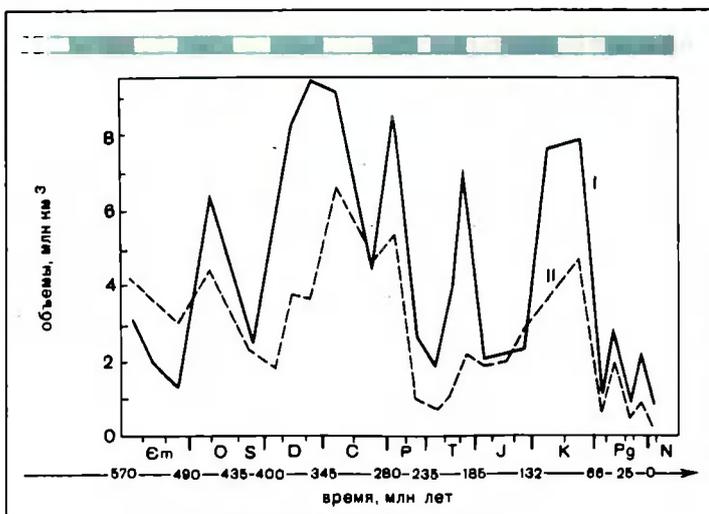
Что касается периодичности возникновения карбонатитовых массивов, то выявляется еще одно обстоятельство, позволяющее внести уточнение в ее характер. Дело в том, что большинство ныне известных карбонатитовых массивов, значительная часть которых сложена магматогенными карбонатными породами, в период своего формирования являлись вулканами⁵, извергавшими магматический материал и газовую фазу, среди которой резко преобладала углекислота. Таким образом, среди вулканов любого типа, например, извергавших лавы кислого или ультраосновного состава, они являлись наиболее продуктивными агентами доставки на земную поверхность углекислоты. Следует отметить при этом, что в древние, и в особенности докембрийские, эпохи Земли, когда ее населяли лишь низшие, наиболее примитивные организмы, количество углекислоты в составе земной атмосферы было значительно выше, чем сейчас, измеряясь, возможно, десятками весовых процентов; значительно выше было и общее давление палеоатмосферы⁶. А как недавно было показано А. Б. Роновым⁷, усиленный выброс газов, содержащих углерод, в особенности выброс углекислоты, в ходе вулканической деятельности и ее накопление в атмосфере

⁵ Багдасаров Ю. А. Записки Всесоюзного минерал. общ., 1978, т. 107, № 6, с. 685.

⁶ Неручев С. Г. Известия АН СССР, сер. геол., 1977, т. 10, с. 9.

⁷ Ронов А. Б. Принципы сохранения жизни в ходе геологической эволюции Земли. — Природа, 1978, № 4, с. 30.

⁴ Мальков Б. А. Доклады АН СССР, 1978, т. 242, № 5, с. 1152.



Изменение объемов вулканогенных пород (II) и объемов CO₂, погребенных в синхронных карбонатных породах (III) в ходе геологического времени (по А. Б. Ронову, 1978). Вверху цветной заливкой показаны эпохи карбонатитообразования. Хорошо видна цикличность этих эпох и их совпадение с периодами максимального накопления вулканогенных пород и карбонатсодержащих осадков.

способствовали усиленному росту биомассы, в это, в свою очередь, вызывало накопление в земной коре горючих полезных ископаемых, содержащих углерод.

Приблизительные расчеты показывают, что суммарное количество углекислоты, поступившее в атмосферу в период массового карбонатитообразования, играло заметную роль в общем балансе этого компонента в атмосфере, измеряясь, во всяком случае, многими процентами. Так, средний карбонатитовый вулканоплутон, обнажающийся сейчас на земной поверхности как сильно разрушенный вулканический кратер диаметром в несколько километров, такой, например, как Напак в Уганде или Ханнеши в Афганистане, за период активного существования, т. е. примерно за 10 млн лет, выбросил в атмосфе-

ру не менее 4—7 млрд т. углекислоты. Кроме того, сопоставимое количество углекислого газа поступило в атмосферу и гидросферу в результате химического выветривания карбонатитов, слагающих верхние части подобного кратера, тоже за несколько миллионов лет. Следовательно, магматизм, в частности деятельность щелочно-карбонатитовых вулканов, оказывалась опосредованно связанной с периодами фиксации в земной коре соединений углерода в форме известняков и горючих ископаемых. При этом, по данным А. Б. Ронova, циклы максимальной интенсивности вулканизма в геологической истории чередовались с постоянной периодичностью в 80-90 млн лет; эти максимумы падают на середину нижнего кембрия, середину ордовика, верхней девон, нижнюю пермь, верхний триас и середину мелового периода. Некоторые из названных отрезков времени, например периоды 450, 210-190, 110 млн лет совпадают с периодами массового образования ультраосновных-щелочных карбонатитовых массивов.

В этой связи интересны данные Ю. М. Малиновского, касающиеся периодичности накопления углеводородов, а также фосфоритов в истории Земли. Максимумы в отложениях углей, нефти и фосфоритов, связанные с периодами мощного развития

растительности и низших животных, распределены в геологической истории также строго закономерно. Так, эпохи угленакопления за последние 270 млн лет, т. е. начиная примерно со среднего карбона, распадаются на семь циклов, а периоды максимального угленакопления, с суммарными запасами во всех месторождениях Земли в триллионы тонн для каждого цикла, чередуются с периодом примерно в 22-35 млн лет для палеозойской эры и 20-25 млн лет для кайнозоя. Заметное уменьшение интервала между эпохами угленакопления хорошо коррелируют с упоминавшимся фактом закономерного ускорения периода обращения Солнечной системы и сокращения длительности галактического года. Таким образом, глобальные циклы в развитии Земли, определяемые временем обращения нашей планетной системы в Галактике, находятся в связи не только с периодами магматической деятельности, но и эпохами бурного развития или сокращения объема органической жизни, а вслед за этими событиями — и периодами усиленного отложения углеродсодержащих осадков.

Следует надеяться, что дальнейшие исследования геологов, планетологов и астрономов уточнят первопричины возникновения гигантских земных катаклизмов, пережитых Землей в далеком прошлом и несомненно, ждущих ее в будущем. Космогеологические факторы сейчас уже не могут быть признаны плодом фантазии отдельных энтузиастов, как это нередко считалось лет 15-20 назад. Ныне они должны учитываться со всей серьезностью как в теоретическом плане, так и в чисто практическом аспекте, например при обосновании поисков перспективных рудных формаций, связанных с осадочно-метаморфическими, магматическими и другими породами. На протяжении многих лет мы традиционно считали чисто земными причины, лежащие в основе геологической эволюции Земли, порой забывая, что и Солнце, и планеты Солнечной системы являются лишь крошечными частицами Вселенной, движимыми и управляемыми силами и законами, которые нам еще предстоит разгадать.

Новое издание «Международной батиметрической карты океанов»

Г. В. Агапова,
кандидат географических наук
Г. Б. Удинцев,
доктор географических наук
Институт физики Земли
им. О. Ю. Шмидта АН СССР
Москва

Вышли в свет 10 листов нового, пятого издания «Международной генеральной батиметрической карты океанов», которая обобщает огромный материал о глубинах океанического дна и подводном рельефе, накопленный в последние десятилетия странами, активно изучавшими Мировой океан.

Создание этой карты — пример многолетнего международного сотрудничества в области изучения океана. В 1899 г. на VII Международном географическом конгрессе комиссии, состоящей из 10 крупнейших специалистов по гидрографии, морской геологии и картографии, было поручено подготовить проект батиметрической карты, обобщающей все известные к тому времени данные и научные представления о рельефе дна. России в этой комиссии представлял адмирал С. О. Макаров. Принц Монако Альберт I, увлекавшийся океанологией, взял на себя финансирование и организацию работ. Под его руководством в 1903 г. вышло первое издание карты, ставшей затем широко известной как «Монакская карта океанов».

Карта состояла из 16 листов масштаба 1:10 000 000 в меркаторской проекции и 8 листов для полярных районов в азимутальной проекции. Карта была составлена на основе 18 тыс. отдельных измерений глубин, отобранных в основном с карт Британского адмиралтейства и дополненных данными, полученными трансокеанскими судами — кабелеукладчиками. На карте впервые были отмечены контуры крупнейших впадин и возвышенностей океанического дна.

В 1910 г. при открытии Океанографического музея в Монако принц Альберт I предложил подготовить второе издание «Международной генеральной батиметрической карты», первые листы которого были опубликованы в 1912 г., а остальные лишь в 1930 г. из-за первой мировой войны и смерти Альберта. Это издание было основано уже на 30 тыс. отметках глубин. Немногим от первых двух отличалось третье издание карты, публикация которой началась в 1932 г., но из-за второй мировой войны растянулась на 34 года.

С появлением метода эхолотирования после второй мировой войны резко возросло количество измерений глубин, стали проводиться специальные съемки подводной топографии, появились непрерывные профили дна. Международная гидрографическая организация, возглавившая третье и четвертое издание «Батиметрической карты мира», положила начало международной коллекции промерных данных, которые обобщаются на планшетах масштаба 1:1 000 000.

Составление третьего и четвертого изданий, первые листы которого вышли в 1966 г., проводились в масштабе 1:1 000 000 для хорошо обеспеченных промерами участков и непосредственно в масштабе 1:10 000 000 для слабоизученных районов. Коллекция промерных данных постоянно дополняется, и к 1970 г. количество измерений глубин уже исчислялось миллионами. Поэтому возникла необходимость в новом издании карты.

В 1974 г. по решению Международного гидрографического бюро и Межправительственной океанографической комиссии ЮНЕСКО был организован комитет по подготовке пятого издания карты, в который вошли представители национальных гидрографических служб и ведущие специалисты по морской геоморфологии и геологии. Масштаб, проекция и границы

листов карты сохраняются теми же, что и в предыдущих изданиях, за исключением полярных листов. Вместо 8 листов предыдущих изданий на эту территорию будет подготовлено 2 листа в полярной стереографической проекции в масштабе 1:6 500 000.

Рельеф дна изображается изобатами, сечение рельефа 500 м. В основу изображения положены современные представления о закономерностях строения и пространственного размещения крупных форм подводного рельефа. На карте появилось много новых, неизвестных ранее элементов подводного рельефа — подводных гор, абиссальных долин, хребтов, разломов, впадин. Уточнены очертания, границы и простираение известных ранее, но малоизученных форм. Советские специалисты составили карты на моря Дальнего Востока и северо-западную часть Тихого океана. В настоящее время опубликовано 10 листов карты, остальные 8 листов будут изданы в 1981—1982 гг.

Новая «Международная генеральная батиметрическая карта» будет использоваться как основа для создания специальных и тематических карт и атласов, как справочное и учебное пособие, а также при планировании научных исследований.

Фрагменты «Международной генеральной батиметрической карты океанов», на которых изображен северный участок Срединно-Атлантического хребта в районе о-ва Ян-Майен. Вверху — карта третьего издания (1937), а внизу — карта пятого издания (1981). Этот район начали детально исследовать с конца 50-х годов, когда было высказано предположение о единой системе срединных хребтов Мирового океана. На нижней карте видно, как Срединно-океанический хребет рассеивается на части поперечными зонами разломов.



«Морской снег»

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Институт океанологии
им. П. П. Ширшова АН СССР
Москва

Акванавты постоянно наблюдают через иллюминаторы подводных исследовательских аппаратов «морской снег» — аморфные агрегаты размером от 0,5 мм до 2 см — и даже ориентируются по нему: если «морской снег» стал «падать» вниз, значит, аппарат поднимается, и наоборот. Но долгое время было неизвестно, что он собой представляет — хлопьевидные комочки распadaлись при малейшей попытке их выловить. Лишь недавно у побережья Калифорнии удалось собрать достаточное для исследования количество образцов¹.

Установлено, что «морской снег» — это скопления фитопланктона (диатомей, перидиней), простейших, фекальных комочков планктонных ракообразных. Фитопланктона и простейших в образцах «морского снега» в сотни и тысячи раз больше, чем в пробах окружающей воды. По количеству фекальных комочков и их соотношению на поверхности и внутри образцов удалось подсчитать приблизительный возраст «морского снега». Это весьма эфемерное образование: отдельные хлопья существуют от нескольких часов до нескольких дней, максимум неделю.

По-видимому, один из основных источников «морского снега» — сброшенные домики аппендикулярий (мелких морских планктонных животных из оболочников). Их тело состоит

из овального или округлого туловища длиной обычно 0,5—2 мм (редко до 5—7 мм) и длинного, во много раз длиннее туловища, уплощенного хвоста, по оси которого проходит хорда. По всему туловищу расположены многочисленные железистые клетки, выделяющие слизь (хрящеподобные мукополисахариды), из которой аппендикулярии строят свой прозрачный многокамерный домик очень сложного устройства. Длина домика в 5—15 раз, а объем — в 300 раз больше туловища животного. Основная часть домика — два чрезвычайно тонких фильтра. Аппендикулярии — прекрасные фильтраторы: непрерывными ритмичными биениями хвоста они прокачивают сквозь домик воду, при этом мельчайшие водоросли, скопления бактерий, простейшие и органическая взвесь оседают на фильтрах и затем поступают в рот. В принципе, аппендикулярии способны отфильтровывать частицы размером до 0,1 мкм, т. е. мельче крупной бактерии. Естественно, что столь частый фильтр вскоре забивается, однако аппендикулярия не чистит его, а сбрасывает домик и немедленно строит новый (основную роль при этом играет хвост). Сбрасывает она домик и при испуге, раздражении и т. п. Постройка нового длится несколько минут. За сутки животное сбрасывает 6—8 и больше домиков.

Хотя домики аппендикулярий полностью распадутся при любом механическом воздействии, американской исследовательнице Э. Олдредж² удалось, погружаясь с аквалангом в открытом океане, подсчитать, что в истоке Гольфстрима между Флоридой и Багамскими о-вами в каждом кубометре воды содержится от 44 до 623 (в сред-

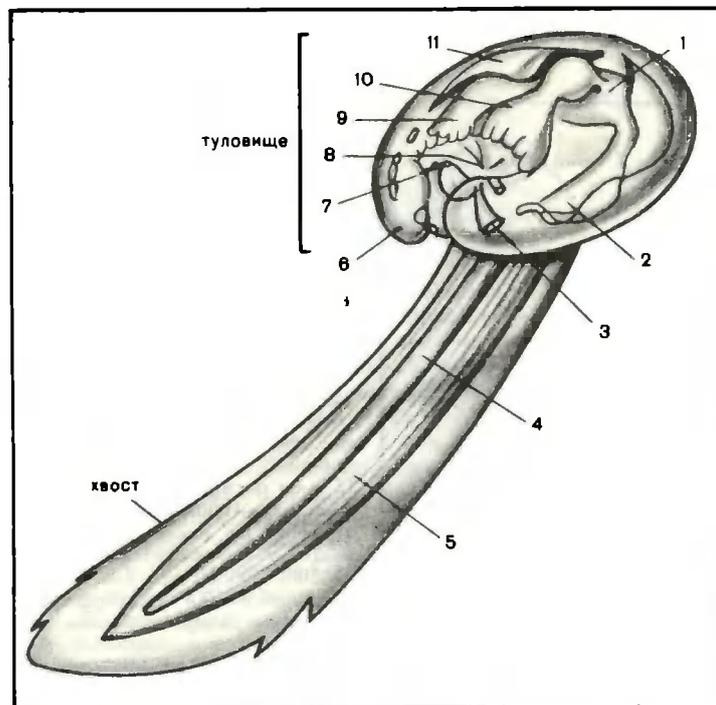
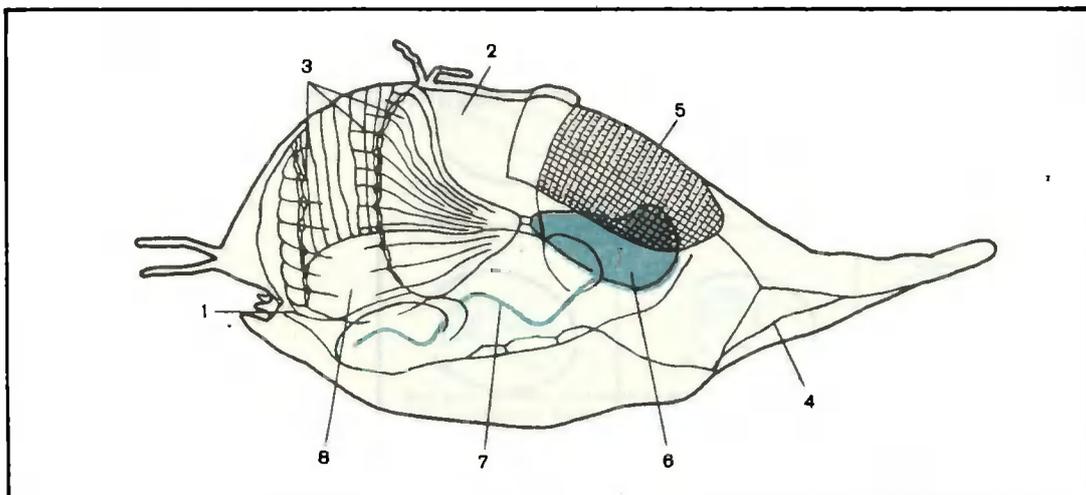
нем 330) сброшенных домиков мелких аппендикулярий. В пустых домиках она часто видела мелких рачков копепод (каляноид, циклопид, гарпактикоид), а также ракушковых рачков и личинок эвфаузид. Наиболее обычны в домиках мелкие копеподы онцеи (*Oncaea mediterranea*): 1—5 рачков на домик. Онцея — хищник, высасывающий пойманную добычу; отфильтровывать пищу он не способен. Но в аквариумах онцеи охотно поедали и свежесброшенные из моря домики аппендикулярий. По мнению Олдредж, особая важность сброшенных домиков аппендикулярий в пищевых цепях моря состоит в том, что они делают нано- и микропланктон доступным для грубых фильтраторов и тех копепод, которые захватывают пищевые объекты поодиночке. Например, большинство рачков-фильтраторов неспособны отфильтровать частицы меньше 5—10 мкм, обычные размеры их пищи 20—100 мкм. Аппендикулярии, отфильтровывая гораздо более мелкие частицы, как бы подкармливают планктонных ракообразных чрезвычайно обильной в море, но непосредственно недоступной им пищей.

Мелкие аппендикулярии, как и онцеи, обитают преимущественно в эпипелагиали — верхнем 150—200-метровом слое воды. А каков источник «морского снега» в глубинах? Обоснованные предположения об этом также появились лишь в недавнее время.

Еще в 1898 г. немецкая глубоководная экспедиция на судне «Вальдивия» выловила западнее Южной Африки с глубины 2000 м два экземпляра ранее неизвестной аппендикулярии гигантских, по сравнению с приповерхностными собратьями, размеров: длина туловища 25 мм, хвоста — 70 мм. Руководитель экспедиции К. Кун описал ее как новый род и вид *Bathochordæus chagon* и предположил, что домик такой аппендикулярии «дол-

¹ Silver M. W., Shanks A. L., Trenf J. D. Science, 1978, v. 201, № 4353, p. 371.

² Alldredge A. L. Science, 1972, v. 177, № 4052, p. 885.



Аппендикулярия *Oikopleura* (показана цветом) в домике: 1 — отверстие для выброса профильтрованной воды, 2 — спинная камера, 3 — внутренний (ловчий) фильтр, 4 — «капюшон» для покидания домика, 5 — внешний (защитный) фильтр, через который засасывается вода, 6 — туловище аппендикулярии, 7 — хвост, 8 — брюшная камера (по Х. Ломану).

Строение аппендикулярии *Bathochordaeus charon* (по Ч. Голту): 1 — желудок, 2 — слепой отросток желудка, 3 — жаберная щель, 4 — нотохорд (спинная струна), 5 — мышечные ленты хвоста, 6 — «щека» (выступ эпидермиса), 7 — рот, 8 — глотка, 9 — кишечник, 10 — пищевод, 11 — гонада.

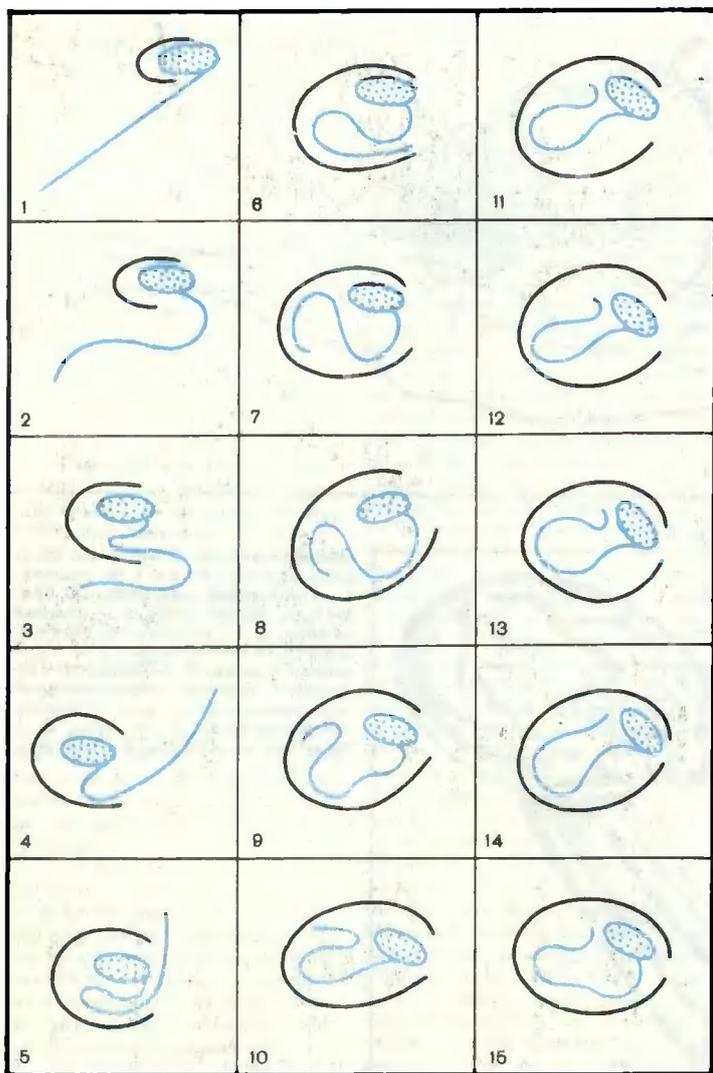
жен быть размером с тыкву³. Батохордеусы, распространенные в тропиках Атлантического, Индийского и Тихого океанов, время от времени попадали в руки ученых, но и до сего дня их

известно менее двух десятков⁴. Домики же их в пробах не попадались ни разу: в сетях они тут же превращались в комочки слизи. Помогли наблюдения из подводных аппаратов. Биолог-подводник Э. Барэм неоднократно

наблюдал и фотографировал из батискафа «Триест», аппарата «Дипстар-4000» и «ныряющего блюдца» Кусто загадочные крупные студенистые тела, внешне напоминающие изображения домиков аппендикулярий в учебниках зоологии. После многочисленных попыток одно из них удалось поймать засасывающим устройством — в приемной камере

³ Chun C. Aus den Tiefen der Weltmeeres. Jena, 1900, S. 550.

⁴ Galt Ch. P. Fish Bull. U. S., 1979, v. 77, № 2, p. 514.



Стадии [1—15] постройки домина аппендикулярной *Oikopleura* [по Р. Фено].

оказалась слизистая пленочка и живая аппендикулярия⁵.

По наблюдениям Барэма, у западного побережья Америки между Калифорнией и Коста-Рикой встречаются крупные домики аппендикулярий по крайней мере пяти разных типов. Самые крупные имеют мешковидную форму и длину 70—100 см! У Сан-Диего (Калифорния) их наблюдали на глубине 120—375 м, чаще всего 150—250 м.

Когда аппарат зависал неподвижно вблизи домиков, удавалось рассмотреть в них сложный фильтр и слизистые тяжи. Домики были на разных стадиях разрушения, иногда внутри них виднелись мелкие рачки (копеподы?), которые ползали по стенкам, фильтрам, врывались и выплывали из домика. Видели и домики с ритмично двигающимися в них аппендикуляриями размером 6—8 см. По предположению английского морского биолога Н. Маршалла, это могли быть домики

именно батохордеусов. Средняя их численность — 1 домик на 1 м³ (в сотни раз меньше численности мелких домиков). В слое максимальной плотности на один обитаемый домик приходилось 7 пустых. Непосредственно под слоем скопления домиков располагался тонкий, 5-метровый слой, где сброшенные домики образовали своего рода слизистую сеть. Глубже, до 70 м, наблюдались обрывки домиков и выпавшие из них фильтры, ниже 130 м были видны лишь отдельные фрагменты, а еще глубже — только бесформенные комочки, постепенно переходившие в обычный «морской снег». Глубже 670 м частицы «снега» светились: очевидно, на них успели поселиться морские светящиеся бактерии⁶.

Ч. Голт предполагает, что основная пища батохордеусов — так называемые оливково-зеленые клетки. Эти загадочные организмы размером от 1 до 15 мкм распространены на глубине 200—1000 м и более, и наибольшая их численность ~ 10⁵ клеток/л наблюдается на глубине 300—500 м; там они служат основной пищей некоторых тонких фильтраторов. Вполне вероятно, что в мезопелагиали (от 150 до 1000 м) аппендикулярия — гораздо более крупные, чем в эпипелагиали, — играют роль «передаточного звена» от нано- и микропланктона к зоопланктонным ракообразным, а через них — на следующие трофические уровни.

⁵ Barham E. G. Science, 1979, v. 205, № 4411, p. 1129.

⁶ Fournier R. O. Limnol. and Oceanogr., 1970, v. 15, № 5, p. 675; 1971, v. 16, № 6, p. 952; 1973, v. 18, № 1, p. 38.

Палеозтноботанические исследования в древнейших земледельческих центрах

З. В. Янушевич



Зоя Васильевна Янушевич, доктор биологических наук, старший научный сотрудник Ботанического сада Академии наук Молдавской ССР. Занимается созданием в Ботаническом саду экспозиций культурных растений, отражающих их эволюцию, видовое и сортовое разнообразие. Изучает растительные остатки, добываемые археологами на древних поселениях и памятниках на территории Молдавии и ряда смежных регионов СССР (Украина, Крым), а также зарубежных стран (Болгария, Румыния, Ирак).

История культурных растений, в особенности их возникновение и эволюция, издавна привлекали внимание исследователей. Еще в середине 30-х годов известным советским биологом Н. И. Вавиловым на основе ботанико-систематических исследований современных растений в районах древнейшего земледелия¹ было создано учение о центрах происхождения культурных растений. В процессе исследования культурных растений в древних земледельческих очагах Н. И. Вавилов и его последователи П. М. Жуковский и Е. Н. Синская постоянно интересовались данными истории и археологии. Однако тогда эти сведения были отрывочными и неполными.

В настоящее время, благодаря развитию и расширению археологических и палеозтноботанических исследований в ряде районов земного шара, появилось много новых данных, касающихся филогении и исторической географии культурных растений. Эти сведения не поколебали теорию центров, но внесли много новых и существ-

венных уточнений о границах древних земледельческих областей, их взаимосвязях и исторической последовательности. Появилась возможность выявить наличие полицентризма в образовании первичных земледельческих культур в пределах крупных очагов, определить место и время возникновения важнейших культурных растений, пути их миграции, а также решить ряд дискуссионных филогенетических проблем.

Прежде чем рассказать об этих новых данных, остановимся вкратце на предмете палеозтноботаники и ее методах.

ПАЛЕОЗТНОБОТАНИКА И ЕЕ МЕТОДЫ

В последние три десятилетия благодаря расширению археологических исследований усилилось развитие и палеозтноботаники — науки, изучающей растительные остатки, найденные на поселениях древнего человека. Палеозтноботанические данные в сочетании с ботаническими дают возможность изучать историю культурных растений и земледелия на прочной фактической основе.

Первые палеозтноботанические исследования на территории нашей страны были начаты еще в 1930-е годы во Всесоюзном институте растениеводства, носящем ныне

¹ Вавилов Н. И. Тр. по прикл. ботанике и селекции, 1926, т. 16, № 2, с. 10; Жуковский П. М. Культурные растения и их сородичи. Л.: Колос, 1971; Синская Е. Н. Историческая география культурной флоры. Л.: Колос, 1969.



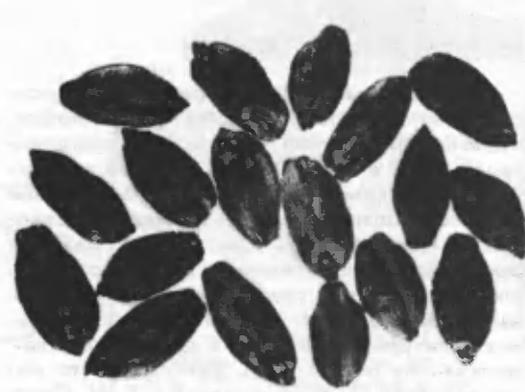
Обмазка с отпечатками колосков полбы-даузернянки из поселений на территории Молдавии [II—IV вв. н. э.] и современный колос того же вида пшеницы.



Обмазка с отпечатками колосков пшеницы спелты из поселения эпохи бронзы на территории Молдавии.



Обугленные зерновки пшеницы *Triticum aestivo-com pactum* из северо-западного Крыма [III в. до н. э.].



Обугленные зерновки пленчатого ячменя из поселения Ярм-Теле в Ираке [V тыс. до н. э.].

имя его создателя — Н. И. Вавилова. Однако они касались главным образом описаний находок из отдельных поселений и памятников или комплексов поселений и лишь некоторые из них носили обобщающий — региональный характер. В течение последних 20 лет систематические региональные исследования проводят в Ботаническом саду АН Молдавской ССР, а также в институтах археологии АН СССР и АН УССР.

В культурном слое археологических памятников обычно неизменным остается

лишь тот растительный материал, который был обуглен. Необуглившиеся остатки растений сохраняются лишь в исключительных случаях — при высокой сухости среды (в гробницах пирамид) или же наоборот при высокой влажности и отсутствии кислорода (на дне болот).

Чаще всего остатки растений находят в виде обугленных семян, плодов, частей колосьев или стеблей. Надежный дополнительный материал представляют отпечатки тех же органов растений, сохранившиеся в обмазке жилищ и пещей, на поверхности

и внутри стенок керамической посуды, на различных культовых предметах. Растительные примеси добавляли в обмазку и керамическое тесто намеренно, в технологических целях. Этот прием ведет свое начало с эпохи неолита, применяя его иногда и в настоящее время. Растительные примеси в обмазке улучшают ее сцепление с древесной основой стен (каркасом) или кирпичной кладкой печей, предотвращают ее растрескивание и крошение, придают легкость и большую прочность керамическим изделиям. В случае изготовления предметов культа — статуэток, чаш — в глиняное тесто добавляли семена, плоды или колоски наиболее ценных растений, что носило ритуальный характер. При обжиге керамических изделий или прокаливании обмазки все органические примеси сгорают, а на их месте остаются пустоты, сохраняющие форму и поверхность находившихся в них органов растений.

Во всех этих случаях — то ли в обугленном виде, то ли в виде отпечатков — следы растений претерпевают различные изменения. Все эти изменения необходимо учитывать при исследованиях. Зерновки злаков и семена других растений при обугливания могут изменять свои обычные формы и размеры, а, попав предварительно в сырую глину, могут набухать и также терять свой обычный облик.

Задача палеознотботаника состоит в том, чтобы правильно определить по имеющимся остаткам видовую принадлежность растения. Критерием при таком определении служит совокупность морфологических признаков какого-либо органа растения, если они достаточно четки и выразительны, или же совокупность признаков нескольких органов. Например, видовая принадлежность зерновок злаков может быть подтверждена морфологией колосков или колосьев, строением чешуй и т. д. Если макрометоды не дают ответа о видовой принадлежности растительных остатков, на помощь приходит микроскоп. Например, остатки чешуй злаков, сохраняющиеся иногда в обмазке, исследуют в обычном микроскопе, а структуру поверхности оболочки обугленных семян или плодов — в электронном сканирующем микроскопе. Отпечатки растений можно изучать, изготавливая модели с помощью различных пластических веществ — обычного пластилина, сырого каучука, лукопрена, сопоставляя их затем с современными эталонами.

Следующая задача исследователя — количественные определения: число и размеры зерновок, семян, плодов, их индек-

сы (отношения длины, ширины и толщины), частота встречаемости остатков того или иного вида на данном памятнике или территории, количественные соотношения остатков различных видов в находках, количество сопутствующих видов, сорняков, степень засорения.

ДРЕВНЕЙШИЕ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИЕ ОЧАГИ И ПАЛЕОЗНОБОТАНИЧЕСКИЕ ОТКРЫТИЯ

Наиболее значительные археологические и палеознотботанические открытия сделаны на Ближнем Востоке. Этот район Передней или Юго-Западной Азии, определенный Н. И. Вавиловым как IV мировой древнеземледельческий очаг — родина наиболее ценных и широко распространенных в земном шаре культурных растений. Здесь на территории Ирана, Ирака, Турции, советского Закавказья, Сирии, Иордании, Палестины в естественных сообществах произрастали, а кое-где сохранились и до наших дней, дикие виды пшеницы. Они послужили исходными родительскими формами и, возможно, путем естественной гибридизации с видами злаков из рода эгилопс (*Aegilops*) дали начало культурным пшеницам, в том числе мягкой, происхождение которой до недавнего времени оставалось неясным. Здесь же началось культивирование дикорастущих пшениц — однозернянки и двузернянки, а также дикорастущего ячменя. Этот район — родина ржи и овса, ряда мелкосеменных форм бобовых, льна, винограда и многих плодовых.

В настоящее время генетики, используя методы искусственной гибридизации, воспроизвели один из возможных эволюционных путей становления мягкой пшеницы, наиболее распространенной сейчас в мире. До сих пор среди биологов нет единого мнения по этому вопросу. Так, некоторые исследователи полагают, что не мягкая пшеница произошла от пшеницы спельты, а наоборот. Истинную эволюцию помогут раскрыть только дальнейшие генетические и палеознотботанические исследования.

В районе, охватывающем советское Закавказье, северо-западный Иран и восточную Турцию, ареалы исходных видов пшеницы — однозернянки и двузернянки и видов эгилопса совпадают. Следовательно, на ранних поселениях этого района следует искать следы различных видов пшеницы, которые помогут понять их происхождение. Некоторые исследователи по-

лагают, что спонтанная гибридизация здесь происходила не только в естественных сообществах, но и в культурных посевах, где эгилопс присутствовал как сорняк.

Ареал дикорастущего ячменя имеет обширные границы также на территории Передней Азии. Первоначально в первобытном обществе дикорастущие виды пшеницы и ячменя были объектами собирательства. По-видимому, процесс этот был длительным. Известен лишь конечный его этап, начало же уходит в глубь тысячелетий.

Культивирование диких видов пшеницы и ячменя, по-видимому, началось в VIII—VII тыс. до н. э. Здесь на поселениях, расположенных в межгорных долинах хребтов системы Тавра-Загросса, на западных его склонах были найдены остатки двух видов пшеницы — однозернянки и двузернянки, а также ячменя. Морфологические особенности зерновок и колосовых остатков злаков говорят о начале возделывания этих видов. Дикорастущие и культурные формы названных злаков были обнаружены также на поселении Джармо в горном Курдистане и Али-Кош (Иран). На остальных поселениях, датированных близким или несколько более поздним временем, зафиксированы следы одно- и двузернянки и остатки ячменя с морфологическими признаками культурных форм.

На первобытных поселениях Ближнего Востока наиболее распространены двузернянка и двурядный пленчатый ячмень. Голозерные формы ячменя как мутанты появились здесь несколько позже и встречались гораздо меньше. Затем следует однозернянка, в основном распространенная на территории Малой Азии. Найдены также следы культурных форм льна и бобовых растений: вики-эрвилли, гороха, чечевицы, чины, нута. В значительных количествах голозерная пшеница типа мягкой обнаружена лишь на одном памятнике — в Чатал-Гуеке, в юго-восточной Анатолии, в слоях, датированных серединой VI тыс. до н. э., и на территории Грузии в Арухло, также в слоях VI тыс. На исследованных поселениях Ближнего Востока мягкая пшеница в первобытный период встречалась крайне редко. Следов же спельты в этих местах совсем не найдено. Наиболее ранние следы культурного винограда обнаружены на поселении Хама на территории Сирии (IV тыс. до н. э.).

Возможно, уже в VI тыс. до н. э. из стран Передней Азии хлебные злаки и бобовые мигрировали на Европейский континент. Исследователи, изучавшие мате-

риалы Центральной и Западной Европы, полагают, что миграция шла двумя основными путями: первый путь пролегал с Малоазиатского п-ова на Балканы, затем по долине Дуная и Рейна вплоть до берегов Северного моря; второй — по северному побережью Средиземного моря до Пиренейского п-ова и далее до берегов Великобритании. Вероятно, культурные растения достигли Северной Европы к концу III тыс. до н. э.

Вопрос о путях и времени миграции культурных растений на территорию СССР в палеозотботанической литературе почти не затрагивался. Однако такого рода исследования на территории СССР представляющей большой интерес, так как ряд ее районов был в прошлом зоной влияния обширной Переднеазиатской области становления культурной флоры.

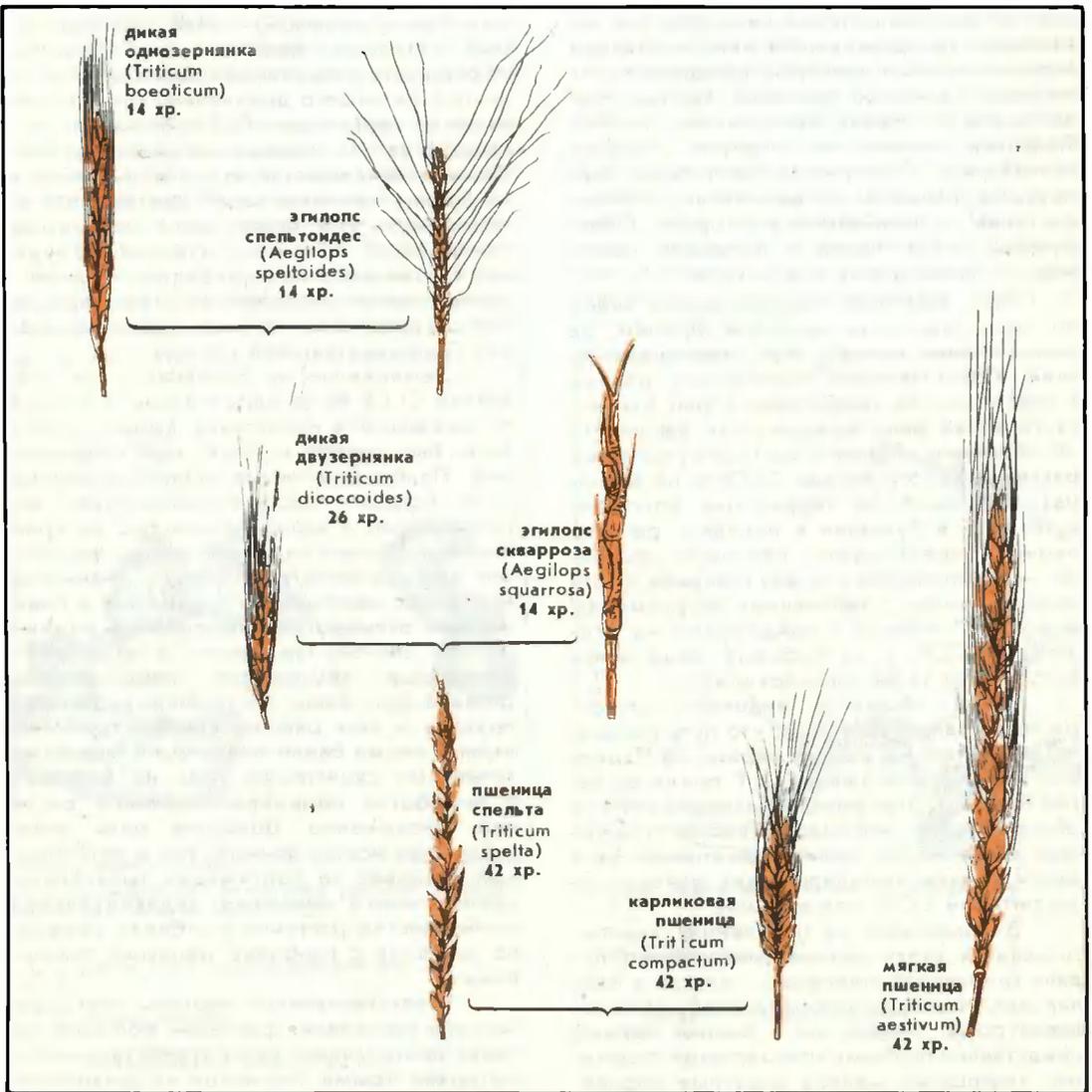
ДРЕВНИЕ ЗЕМЛЕДЕЛЬЧЕСКИЕ РАЙОНЫ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

В результате археологических исследований последних лет в нашей стране были выявлены три основных района, в которых раньше, чем в других, зародилась земледельческая культура. Это южная Туркмения, Закавказье и крайний юго-запад СССР. Первые два района непосредственно примыкают и в какой-то степени составляют часть Переднеазиатского древнеземледельческого очага Н. И. Вавилова. Юго-западный же район, как показали исследования, был зоной влияния этого очага. Как же складывалось земледелие и растениеводство этих районов в ранний период? Каков видовой состав возделывавшихся здесь растений?

На юго-западе СССР сравнительно недавно открыты неолитические поселения племен так называемой Буго-Днестровской культуры и культуры первых земледельцев Центральной и Западной Европы — линейно-ленточной керамики, датированных V тыс. до н. э.² На этих поселениях были найдены три вида пленчатой пшеницы — однозернянка, двузернянка и спельта, т. е. виды генетически связанные, представляющие полиплоидный ряд — соответствующих 14, 28 и 42 хромосомам.

В IV—III тыс. до н. э. (энеолит) на территории Молдавии и правобережной Украины была распространена очень инте-

²Маркевич В. И. Буго-днестровская культура на территории Молдавии. Кишинев: Штиинца, 1974.



Предположительный путь становления мягкой пшеницы (по Х. Кихаре). Дикорастущая однозернянка имеет 14 хромосом. Колос ее узкий, сильно опушенный, при созревании распадается на отдельные, чаще всего, однозерные колоски, а зерновки плотно заключены в жесткие чешуи, т. е. вымолачиваются с трудом.

У дикорастущей двузернянки 28 хромосом. Зерновки ее также пленчатые, трудновымолачиваемые, а колос ломкий. При созревании он легко распадается на отдельные двузерные колоски.

Спельта имеет 42 хромосомы, зерновки ее так же, как у одно- и двузернянки, заключены в плотные чешуи, а колос ломкий. В диком виде спельта неизвестна.

У 42-хромосомных мягкой и карликовой пшеницы, а также у 28-хромосомной твердой пшеницы зерновки свободно отделяются от чешуи, т. е. вымолачиваются легко, а колосья немолотые.

Карликовая пшеница отличается от мягкой наличием короткого и очень компактного колоса. Зерновки у карликовой пшеницы мельче и короче, чем у мягкой, по форме часто приближаются к округлым.

Колосья культурных одно- и двузернянки (полбы) менее опушенные, при созревании не так легко распаляются на отдельные колоски, а зерновки их более выпуклые. Колос дикого ячменя также ломкий, у культурных форм этот признак полностью исчезает.

ресная земледельческая культура, так называемая трипольская. На многочисленных поселениях этой культуры обнаружены те же виды пленчатой пшеницы, причем преобладала в посевах двузернянка (полба). Появился ячмень, но главным образом голозерный, с крупными овальными зерновками, началось возделывание бобовых растений — вики-эрвиллии и гороха. Обнаружены следы проса и плодовых растений — сливы, алычи и абрикоса.

Весь комплекс перечисленных видов по происхождению пришлый, причем, за исключением проса³, явно переднеазиатский. Сопоставление полученных данных с находками на территории стран Балканского п-ова дало возможность заключить об общности видового состава культурных растений на юго-западе СССР и на Балканах. Например, на территории Болгарии, а также и в Румынии в находках раннего периода преобладают пленчатая пшеница — однозернянка и двузернянка, голозерный ячмень с зерновками по размерам и форме близкими с найденными на юго-западе СССР, а из бобовых чаще всего встречается та же вика-эрвиллия.

Такая общность видового состава растений свидетельствует, что путь переселения растений в ранний период из Передней Азии на юго-запад СССР пролегал через Балканы. Этот вывод подтверждает и то обстоятельство, что видовой состав культурных растений на ранних памятниках двух других раннеземледельческих районов на территории СССР совсем иной.

В Закавказье на поселениях энеолитических и эпохи ранней бронзы преобладала голозерная пшеница — мягкая и карликовая. Часто им сопутствовала сорнополевая рожь. Ячмень же в ранний период представлен особыми голозерными формами, имеющими мелкие округлые зерновки. Позже появились исключительно пленчатые формы, всегда с примесью особой архаичной формы ячменя, так называемой бутылковидной, представляющей промежуточное эволюционное звено между диким и культурным многозрядным ячменем.

В южной Туркмении в Алтын-Тепе (IV тыс. до н. э.) обнаружены те же виды голозерной пшеницы и голозерный ячмень с мелкими округлыми зерновками такого же морфологического облика, как и найденный в Закавказье.

Таким образом, палеозноботанические материалы показали, что, несмотря на общность первичного земледельческого центра, питавшего древнеземледельческие очаги на территории СССР, земледелие в каждом из них складывалось своеобразно. Причина заключается в различных климатических условиях и характере земледельческой культуры (поливное и неполивное земледелие). В какой-то степени на видовой состав растений, очевидно, повлиял и полицентризм в сложении земледельческой культуры в пределах самой первичной Переднеазиатской области.

Земледелие на Балканах и на юго-западе СССР было неполивым, а климат, по имеющимся некоторым данным в неолите, был теплее и суше, чем современный. Полбы (пленчатые пшеницы) отличаются большей засухоустойчивостью, выносливостью и неприхотливостью по сравнению с другими видами пшеницы, поэтому они здесь широко расселились. Значительной выносливостью, по сравнению с пленчатыми, отличаются и голозерные ячмени.

В южной Туркмении и частично в Закавказье земледелие первоначально развивалось лишь в поливных оазисах, поэтому в этих районах распространились виды с иными биологическими и морфологическими свойствами, чем на Балканах. В выработке определенного типа растений, несомненно, большую роль играл отбор, как искусственный, так и естественный. Человек на протяжении тысячелетий уделял много внимания индивидуальным особенностям растений и отбирал на семена растения с наиболее ценными признаками.

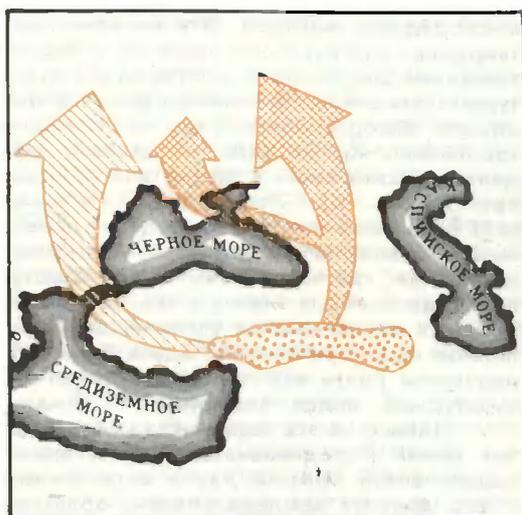
В восстановлении картины географического расселения растений большой интерес представляет палеозноботанический материал Крыма. Несмотря на сравнительную территориальную близость Крымского п-ова и юго-западного древнеземледельческого района СССР, видовой состав культурных растений Крыма совершенно иной. На поселениях местных племен — тавров (X—IX вв. до н. э.) возделывалась преимущественно голозерная пшеница — мягкая и карликовая с характерными мелкими округлыми зерновками. Так же, как и на Кавказе, зачастую эта пшеница была засорена рожью. Ячмень же здесь представлен исключительно пленчатыми формами с примесью архаичных бутылковидных форм. Таким образом, все говорит о том, что растениеводство Крыма в ранний период складывалось под влиянием Кавказа, а не Балкан.

³ Родиной проса является Китай, но проникло оно на юго-запад СССР через Переднюю Азию.

НЕКОТОРЫЕ ГИПОТЕЗЫ Н. И. ВАВИЛОВА И СОВРЕМЕННЫЕ ПАЛЕОЭТНОБОТАНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Палеозитоботанические исследования удивительнейшим образом подтвердили ряд гипотез и предположений, касающихся происхождения культурных растений, высказанных в свое время Н. И. Вавиловым.

Прежде всего о полбе. Н. И. Вавилов полагал, что полба-двузернянка сыграла большую роль в возникновении земледелия как в нашей стране, так и в Европе в целом.

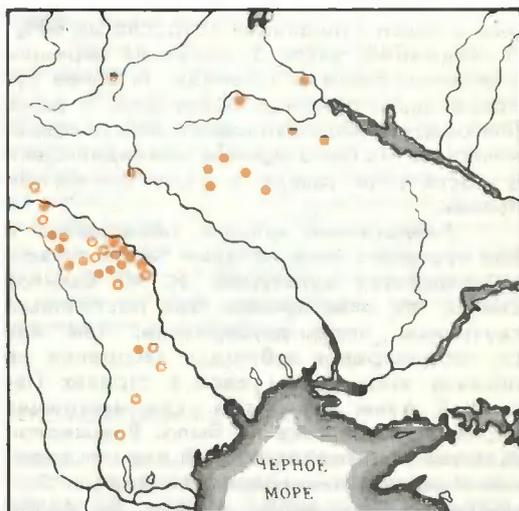


Пути проникновения культурных растений на территорию Европейской части СССР.

-  древнейший земледельческий очаг
-  неолит, энеолит
-  эпоха бронзы и раннего железа

С нею он связывал зарождение земледелия на территории Восточной и Западной Европы и считал, что в прошлом этот вид пшеницы имел на обеих территориях обширный ареал. Такое предположение было основано на морфологии современных полб в отдельных небольших очагах, сохранившихся до наших дней. В палеоботанических материалах из Центральной и Западной Европы чаще всего встречались следы полбы. Исследованные нами материалы из Молдавии также показали, что здесь в первобытный период первой культурой, которую стали широко возделывать,

была полба. Следы полбы в больших количествах обнаружены также на трипольских поселениях, расположенных и на правобережной Украине. О распространении полбы в Восточной Европе говорят и материалы скифского времени с территории Харьковской и Полтавской областей. Оказывается, жившие здесь скифы широко культивировали полбу-двузернянку. Таким образом, по мере исследований постепенно вырисовываются контуры древнего, действительно, обширного ареала полбы на территории СССР.



Находки полбы-двузернянки на юго-западе СССР.

-  ранний энеолит
-  средний и поздний энеолит

Наблюдая современные посевы мягкой и карликовой пшеницы в Передней Азии, Н. И. Вавилов отметил частое засорение их сорно-полевой рожью. Чистых же посевов ржи в обследованных районах не было. Это дало основание Н. И. Вавилову высказать гипотезу о происхождении культурной ржи. Первоначально на юге рожь была лишь спутником, точнее сорняком, пшеницы, но при продвижении пшеницы в районы с более суровыми зимами, рожь как более выносливая перешла в самостоятельную культуру. Н. И. Вавилов предполагал, что вытеснение пшеницы рожью на-

чалось на Северном Кавказе и в северо-восточном Причерноморье.

Палеозотоботанические материалы, добытые в этом районе, показали, что действительно находки пшеницы здесь почти всегда засорены мелкими удлинненными зерновками, очень напоминающими по морфологии сорно-полевую рожь. Количество их по отношению к пшенице обычно колеблется в пределах нескольких процентов. Но неожиданно на двух античных поселениях северо-западного Крыма (Панское и Маслины), датированных III в. до н. э., количество зерновок такой ржи в смеси с пшеницей возросло до 80%. По-видимому, здесь от весенних перешли к осенним посевам пшеницы. В более суровые зимы пшеница вымерзала, а рожь благодаря большей холодостойкости сохранялась, за что была оценена земледельцами и постепенно вышла в самостоятельные посевы.

Аналогичное явление обнаружено и для посевного овса, который также оказался вторичной культурой. Н. И. Вавилов считал, что овес прежде был постоянным спутником полбы-двузернянки, так как он неоднократно наблюдал засорение ее посевов этим видом овса в странах Передней Азии, даже там, где настоящих чистых посевов овса не было. В археологических материалах первобытных поселений Молдавии неоднократно находили совместно остатки полбы и овса, но полба почти всегда преобладала. Однако в Прикарпатье на поселении Глубоком (II-IV вв. н. э.) неожиданно овес стал преобладать. Вытеснение основной культуры — полбы — произошло благодаря тому, что климат указанного района более прохладный и влажный, чем климат Молдавии, т. е. условия для развития овса стали более благоприятными, чем для развития полбы.

Следует остановиться еще на проблеме происхождения плечатой 42-хромосомной пшеницы — спельты. Большинство ботаников долгое время считали ее эндемом Центральной Европы, возникшим там мутационным путем от мягкой пшеницы. Это мнение было основано на том, что на древнеземледельческих поселениях Ближнего Востока до недавнего времени следов спельты не находили. Но еще Н. И. Вавилов неоднократно высказывал предположение, что спельта, как и другие виды пшеницы, имеет переднеазиатское происхождение. Раскопки комплекса древних земледельческих поселений в северном Ираке — Ярм-Тепе, проведенные в последние годы советской археологической

экспедицией под руководством Р. М. Мунчаева, принесли новый богатый палеоботанический материал, в котором была обнаружена и спельта. Таким образом, подтвердилось ее переднеазиатское происхождение.

В Ярм-Тепе найдены материалы, касающиеся и филогении культурного ячменя — проблемы также занимавшей Н. И. Вавилова⁴. В слоях, датированных VI тыс. до н. э., обнаружены следы двурядного, многорядного и голозерного ячменной и, кроме того, архаичные формы, промежуточные между диким и культурным многорядным ячменем. Эта находка подтвердила гипотезу Н. И. Вавилова о происхождении двурядных и многорядных культурных ячменей от различных диких форм одного дикорастущего вида — *Hordeum spontaneum*. Кроме того, материалы, найденные экспедицией в Ярм-Тепе (VI тыс. лет до н. э.), подтвердили гипотезу Н. И. Вавилова о том, что земледелие первоначально возникло в условиях межгорных долин, там, где использовались дикорастущие виды хлебных злаков и где, благодаря пестроте экологических условий, шло усиленное видообразование. Здесь были обнаружены почти все основные прототипы культурных видов пшеницы и ячменя.

Однако не все еще ясно как в пределах самой Переднеазиатской древнеземледельческой области, так и в связанных с нею древних земледельческих областях на территории СССР. Остается еще много нерешенных проблем. Мы остановимся лишь на некоторых из них.

Мягкая пшеница, впервые обнаруженная на территории Турции (Чатал-Гуюк, середина VI тыс. лет до н. э.), широко расселилась на востоке от Загросского хребта, как показали исследования Итальянского института Ближнего и Среднего Востока на территории Восточного Ирана в слоях, датированных III тыс. лет до н. э.⁵ Н. И. Вавилов считал, что территория Афганистана была центром наибольшего внутривидового разнообразия мягкой и карликовой пшеницы. По-видимому, афганский очаг, сыгравший такую большую роль в

⁴ Бахтеев Ф. Х. Дальнейшее осуществление научных идей Н. И. Вавилова в изучении зерновых злаков. — В кн.: Вопросы географии культурных растений и Н. И. Вавилова. М. — Л.: Наука, 1966.

⁵ Costantini L. Metodological proposals for palaeobiological investigations in Iran. — Proc. of the 3-rd annual symposium on archaeol. research in Iran. Teheran, 1975.

формообразовании этих видов пшеницы, на самом деле является уже вторичным, но когда он возник — остается неизвестным. В связи с этим большой интерес представляют палеозтнботанические исследования и на территории Афганистана. Еще мало изучен также район советского Закавказья и непосредственно примыкающие к нему территории Ирана и Турции, т. е. именно та территория, на которой совпадали ареалы диких родичей мягкой пшеницы. Невыясненным также остаются время возникновения множества эндемов культурной пшеницы, которыми так богато наше Закавказье, и их распространение на наиболее древних земледельческих поселениях.

Необходимо также выяснить северные границы распространения отдельных видов пленчатых пшениц и различных видов ячменя на территории Восточной Европы, как и в целом влияние первичных земледельческих очагов на территории СССР на развитие земледелия в более удаленных от этих очагов районах. Особый интерес представляет также территория Карпат как горная страна, где земледелие складывалось рано и своеобразно, но также под влиянием Переднеазиатского древнеземледельческого центра.

В заключение хотелось бы сказать несколько слов о возможностях палеозтнботаники вообще. Палеозтнботаника может дать много интересных сведений и о растениях, полностью ушедших из культуры, но составляющих важные филогенетические звенья в происхождении культурных растений, а также о дикорастущих растениях, использовавшихся в древности в культуре. К последним относятся, например, находки красителей из семейства мареновых и бурачниковых на территории Кавказа и Крыма, ряд лекарственных растений в ископаемом материале и другие.

Палеозтнботанические исследования позволяют уточнить сведения о растениях, имеющиеся в письменных источниках классиков древнего земледелия, а также историков. Например, стала известной пшеница, которую широко экспортировали в Северном Причерноморье. Выяснено, что эта ископаемая карликовая и мягкая пшеница, отличающаяся мелкими округлыми зерновками была распространена в доантичный и античный периоды в Северном Причерноморье.

Благодаря накопленным археологическим материалам установили истинный видовой состав растений Скифии и данные о нем сопоставили со сведениями, при-

водимыми Геродотом и другими историками древности.

Особый интерес представляют также палеозтнботанические материалы, полученные на древнегреческих поселениях или городах-колониях в Северном Причерноморье, касающиеся культуры винограда. Вопреки бытующему в литературе мнению, будто культурный виноград был впервые завезен на юг нашей страны греками-колонистами, выясняется, что культура винограда на юге СССР произошла от местного дикорастущего лесного винограда. Таким образом, эволюция культурного винограда в нашей стране предстает в совсем ином свете.

Кроме области растениеводства и земледелия, палеозтнботанику используют при изучении экономики древних обществ, вопросов этнографии. Она дает материал для реконструкции взаимоотношений человека и окружающей его среды на различных этапах исторического развития общества и, таким образом, оказывается «на стыке» целого ряда наук, прежде всего различных областей самой ботаники, а также истории, археологии, экономики, этнографии и других.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

- Бахтеев Ф. X.** К ИСТОРИИ КУЛЬТУРЫ ЯЧМЕНЯ В СССР. — В сб.: Материалы по истории земледелия в СССР, т. 2. М. — Л.: Изд-во АН СССР, 1956.
- Вавилов Н. И.** ЦЕНТРЫ ПРОИСХОЖДЕНИЯ КУЛЬТУРНЫХ РАСТЕНИЙ. — Труды по прикладной ботанике и селекции, 1926, т. 16, № 2.
- Жуковский П. М.** КУЛЬТУРНЫЕ РАСТЕНИЯ И ИХ СОРОДИЧИ. Л.: Колос, 1971.
- Кирьянов А. В.** ИСТОРИЯ ЗЕМЛЕДЕЛИЯ НОВГОРОДСКОЙ ЗЕМЛИ X—XV ВЕКОВ. — Материалы и исследования по археологии СССР, 1959, № 65.
- Массон В. М.** СРЕДНЯЯ АЗИЯ И ДРЕВНИЙ ВОСТОК. М. — Л.: Наука, 1964.
- Синская Е. Н.** ИСТОРИЧЕСКАЯ ГЕОГРАФИЯ КУЛЬТУРНОЙ ФЛОРЫ. Л.: Колос, 1969.
- Фляксбергер К. А.** АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ НАХОДКИ ХЛЕБНЫХ РАСТЕНИЙ В ОБЛАСТЯХ, ПРИЛЕГАЮЩИХ К ЧЕРНОМУ МОРЮ. — Краткие сообщения Ин-та истории материальной культуры, 1940, вып. 8.
- Янушевич Э. В.** КУЛЬТУРНЫЕ РАСТЕНИЯ ЮГО-ЗАПАДА СССР ПО ПАЛЕОБОТАНИЧЕСКИМ ИССЛЕДОВАНИЯМ. Кишинев: Штиинца, 1976.

Структуры «конского хвоста» и руда

В. А. Невский,

доктор геолого-минералогических наук

Институт геологии рудных месторождений, петрографии, минералогии и геохимии АН СССР
Москва

Разломы, или, проще, крупные, сложного строения трещины в земной коре, на своих окончаниях нередко расщепляются, образуя веер более мелких разрывов. Такие окончания разломов геологи называют структурами «конского хвоста». Количество разрывов в веере расщепления колеблется от 2-3 до 10-15 и более. Размеры вееров расщепления также весьма разнообразны: от нескольких сантиметров на окончаниях мелких трещин до гигантских структур в десятки и сотни километров на флангах крупнейших глубинных разломов.

Широкое развитие структур «конского хвоста» в Западном Тянь-шане и в том числе на флангах таких крупных разломов этого региона, как Таласо-Ферганский и Каратауский, впервые было показано в работах В. Н. Попова. Позже аналогичные структуры в этом же районе автор отметил на окончаниях Кумбельского, Кепкольского, Арашенского и других разломов. Рассматриваемые структуры нередко встречаются здесь на флангах рассеянных разломов, а также в местах пересечения и сопряжения разломов и крупных трещин.

Чрезвычайно важно, что структуры «конского хвоста» встречаются в пределах рудных полей и месторождений. Наиболее крупные из них могут определять положение рудного поля или месторождения, а с веерами

расщепления меньшего масштаба связаны рудные тела и участки повышенной концентрации в них оруденения — рудные столбы.

Примерами таких структур могут служить серебряно-оловянное месторождение Потоси в Боливии, золото-серебряная жила Сан-Рафаэль в Мексике, грайзенное месторождение Пяотан в Китае. На месторождении Пяотан в кровле гранитного купола возникла целая серия вертикальных рудных жил, заканчивающихся структурами «конского хвоста».

Зачастую структуры «конского хвоста» встречаются в пределах пластиновидных блоков, ограниченных вертикальными и близкими к ним разломами. Так, на медно-порфировом месторождении Чиквикамата в Чили широко развиты веера расщепления на флангах продольных зон скальвания. На медном руднике Леонард в США пластиновидный блок рассекается тремя широтными крутопадающими жилами, каждая из которых заканчивается сложным, асимметричным, многоступенчатым веером расщепления.

Примеры подобного рода можно было бы умножить, но все же надо сказать, что структуры «конского хвоста» принято было относить к числу редких. Вследствие этого многие геологи не уделяли им должного внимания.

Детальные исследования последних лет убедили нас, что в специфической геологической обстановке структуры «конского хвоста» могут иметь массовое распространение и являться важнейшими структурными элементами рудных полей и месторождений. Задача настоящей статьи — показать типы структур «конского хвоста» в рудных полях и месторождениях, механизм их формирования и, глав-

ное, те геологические условия, в которых они получают широкое распространение и наличие этих структур становится важнейшим критерием, способствующим повышению эффективности поисково-разведочных работ.

Нами установлено, что чаще всего структуры «конского хвоста» можно встретить в областях континентального вулканизма. Здесь в пределах древнейших жестких и чрезвычайно хрупких тектонических блоков в узлах пересечения разломов возникли вулкано-тектонические депрессии и сложные многожерловые вулканы. В период завершения вулканической деятельности, когда магматический очаг уже опустошался, происходило проседание кольцевого блока вулканогенно-осадочных пород и возникали структуры, которые геологи называют кальдерами проседания.

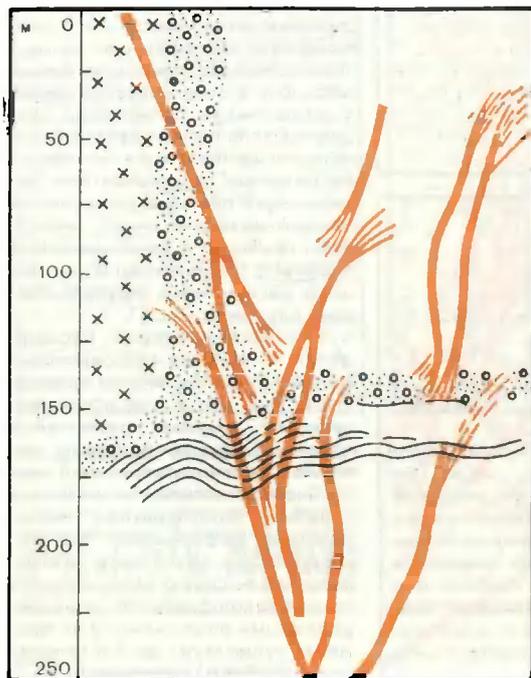
Такие кальдеры заполнены горизонтально или почти горизонтально залегающей чрезвычайно разнородной вулканогенно-осадочной толщей, в которой неоднократно чередуются породы с резко различными физико-механическими свойствами. Здесь обычно переслаиваются вязкие лавы (базальты и андезиты-базальты), хрупкие лавы (трахиты, фельзиты, липариты) и терригенные осадочные породы (конгломераты, гравелиты, алевролиты, аргиллиты). Характерно, что тонкообломочные разновидности этих пород, как правило, обогащены обуглившимися растительными остатками. Мощности всей вулканогенно-осадочной толщи колеблется от нескольких сотен метров до километра.

Кальдеры обычно рассекаются многочисленными крутопадающими разломами, которые пересекают не только породы фундамента (чаще всего

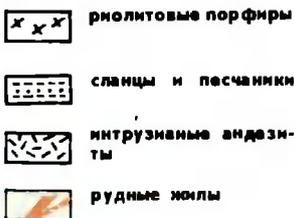
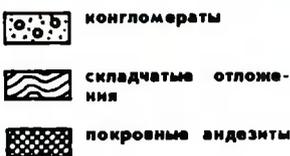
представленные гранитоидами), но и перекрывающие их вулканогенно-осадочные отложения. При этом в фундаменте каждый из таких разломов представлен единым тектоническим швом. Выше он последовательно расщепляется на каждом контакте пород с различными физико-механическими свойствами. Та-

ких уровней расщепления в разрезе вулканогенно-осадочных толщ встречается от 3 до 7. В результате возникает сложный многоступенчатый веер расщепления, или «кронский хвост». В верхней части разреза вулканогенно-осадочной толщи он имеет ширину 150-350 м. В пределах веера насчитывается от 8

неоднородны. Они различаются по морфологии и степени насыщенности крупными трещинами, а также по особенностям их внутреннего строения. Известны веера симметричные и асимметричные. Так, на руднике Леонард широтные рудные жилы на своем восточном фланге расщепляются, образуя асимметричную



Расщепление рудных жил на их флангах: слева — серебряно-оловянное месторождение Потоси в Боливии (по Н. Эвансу, с упрощениями); справа — золото-серебряная жила Сан-Рафаэль в Мексике (по В. Линдгрёну).

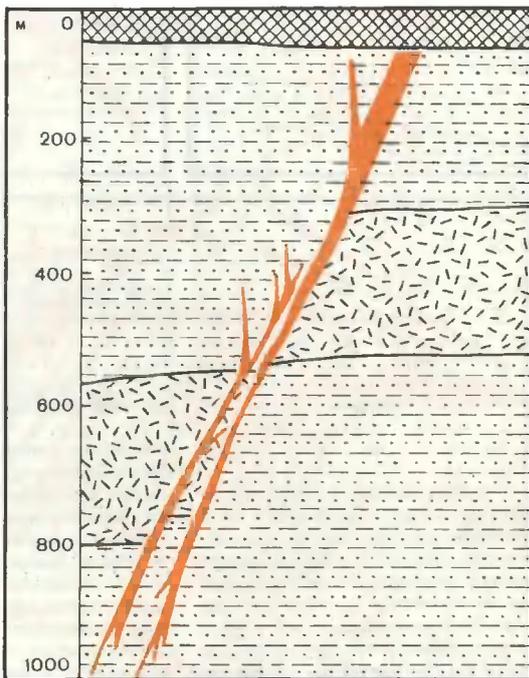


до 15 и более крупных трещин, около которых, особенно в местах их сочленения, возникает густая (иногда до 100 трещин на протяжении 1 м) сеть мелких трещин. Таким образом, в пределах вееров расщепления образуется зона высокой проницаемости горных пород, весьма благоприятная для отложения руд.

Веера расщепления, наблюдаемые в пределах рудных полей и месторождений, весьма

многоступенчатую структуру «конского хвоста». Встречаются веера с небольшим числом составляющих их разрывов и с густой их сетью. Наряду с этим можно обнаружить простые веера, в которых разлом или крупная трещина расщепляется на одном интервале, и веера сложные, многоступенчатые, в которых расщепление распространяется на несколько интервалов. Известны также переходные типы.

Веера расщепления крупноплавающих разломов в пределах вулканогенно-осадочных толщ депрессий весьма специфичны. Они имеют сложное, многоступенчатое строение и состоят из крупных трещин, оперенных трещинами мелкими. Эти веера



обычно захватывают обширные зоны мощностью до 300—350 м. В результате в пределах таких вееров возникают обширные зоны высокой проницаемости горных пород и создаются предпосылки для образования крупных

рудных тел или даже месторождений.

Особый интерес представляют вопросы генезиса структур «конского хвоста». Для их решения М. В. Гзовским предложен метод изучения дефор-

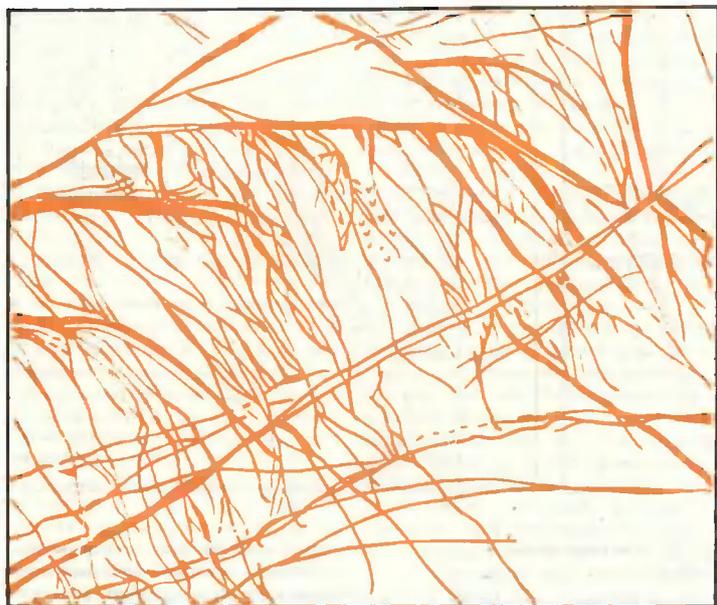
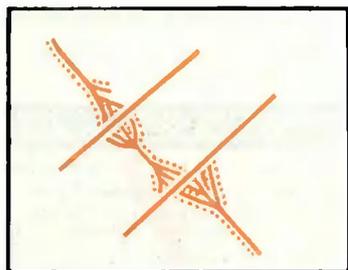
ки для возникновения на флангах разрывов структур «конского хвоста».

Но и до этих экспериментальных исследований геологами было замечено, что трещины скальвания, пересекающие разнородную толщу, на контакте пород с различными физико-механическими свойствами обычно искривляются. В местах таких искривлений, как правило, возникает оперяющаяся трещина скальвания, отклоняющаяся в сторону, противоположную направлению основного разрыва. Таким образом, в зоне контакта пород с различными свойствами создаются условия для веерообразного расщепления тектонического разрыва. Неоднократное чередование пород с различными физико-механическими свойствами приводит к формированию сложных многоступенчатых вееров расщепления крутопадающих разломов.

Обилие вееров расщепления в вулcano-тектонических депрессиях объясняется прежде всего тем, что в их основании залегают древние чрезвычайно хрупкие блоки земной коры, которые в течение длительной геологической истории их развития испытали многократные тектонические деформации. Это обстоятельство обусловило исключительно высокую насыщенность таких блоков различно ориентированными разломами. В их пределах существует до 5-6 направлений (систем) разломов.

К веерам расщепления разломов, как мы уже отмечали, нередко приурочены рудные поля, месторождения и рудные тела. Среди всех известных нам типов структур «конского хвоста» особенно выделяются своей высокой рудоносностью сложные многоступенчатые веера расщепления в вулcano-тектонических депрессиях. Причем, наибольший практический интерес представляют кальдерные вулcano-тектонические депрессии в пределах хрупких древних блоков, где такие структуры получили массовое распространение.

Оруденение в пределах вееров расщепления зачастую представлено густой сетью рудных жил, составляющих структуру «конского хвоста». Иногда вся порода в пределах веера расщепления рудоносна. А в других



Особенности морфологии и внутреннего строения вееров расщепления разломов и крупных трещин: сосредоточенный симметричный веер с редкой сетью трещин [вверху слева]; сосредоточенный асимметричный, с густой сетью трещин [вверху справа]; сложный многоступенчатый асимметричный, с густой сетью трещин [внизу]. Точками показано оруденение.

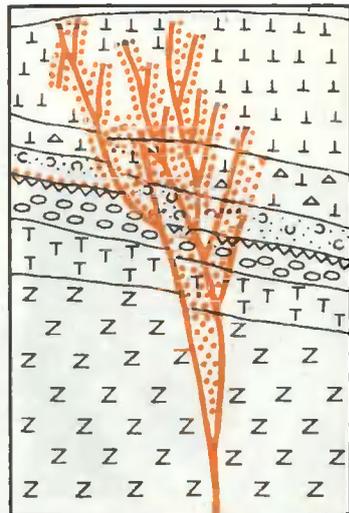
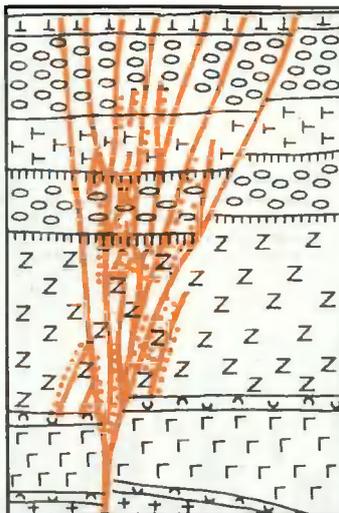
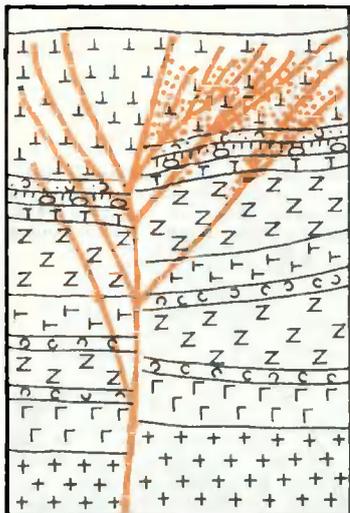
мации горных пород, основанный на использовании специально подобранных прозрачных, вязких смесей, которые чутко реагируют на приложенное к ним механическое воздействие. С помощью этих смесей Гзовский доказал, что при возникновении в процессе деформации трещин скальвания существенно меняется поле напряжений. Изменение выражается в ослаблении напряжений вдоль новообразованного разрыва и их усилении на флангах этого разрыва. Видимо, такое распределение напряжений создает предпосыл-

случаях, когда рудная жила пересекается поперечными разломами, в местах пересечения возникают рудные столбы, приуроченные к веерам расщепления.

Более сложно руды распределены в многоступенчатых

веерах расщепления в рассмотренных выше вулканотектонических депрессиях. Картина здесь осложняется тем, что терригенные прослои среди вулканогенных толщ, как правило, обогащены обугленными расти-

оенового возраста. Небольшие пластовые рудные тела на подобных месторождениях могут расщепляться на флангах на несколько тонких рудных прослоев, образующих типичную структуру «конского хвоста».



Распределение оруденения в сложных многоступенчатых веерах расщепления разломов на пересечении их с пластовыми восстановительными барьерами: одноярусное (слева); многоярусное (в центре); на всем объеме веера расщепления (справа). Точка и показана оруденение.

I I кварцевые порфиры

I Δ I лавобрекчии кварцевых порфиров

· · · туфопесчаники

o o конгломераты

T T андезит-базальты

Z Z трахитациты

∩ ∩ туфы

+ граниты

— разломы и крупные трещины

— пластовые сдвиги

тельными остатками, играющими роль восстановительных барьеров, на которых из восходящих гидротермальных растворов отлагались рудные и сопутствующие минералы. Терригенные прослои в большинстве случаев отделены от залегающих под ними толщ пластовыми срывами с оторочкой из перетертых пород (милонитов) и тектонической глиники, что несомненно усиливает экранирующую роль прослоев.

Руды отлагались в тех местах, где пластовые барьеры пересекались веерами расщепления разломов. В зависимости от количества барьеров в разрезе вулканогенно-осадочной толщи возникает одноярусное или многоярусное оруденение.

Заметим, что наряду с описанными веерами расщепления встречается особый тип структур «конского хвоста», который формируется на редкометальных месторождениях. Эти месторождения известны в чехле молодых платформ, не затронутых тектонической активизацией, и приурочены к толще микрослоистых морских глин не-

Итак, на многих примерах мы убедились, что структуры «конского хвоста» в пределах рудных полей и месторождений свойственны локальным блокам земной коры с чрезвычайной высокой деформированностью и проницаемостью горных пород, которые наиболее благоприятны для отложения руд. Особый интерес среди них представляют структуры «конского хвоста» в пределах кальдерных вулканотектонических депрессий, заложенных в древних хрупких блоках. В такой геологической обстановке они приобретают значение важнейших поисково-оценочных критериев, которые должны привлекать внимание геологов-поисковиков.

«Секреты» колокольного ремесла

Т. Б. Шашкина, В. А. Кондрашина



Татьяна Борисовна Шашкина, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Одесского технологического института холодильной промышленности. Занимается физикой твердого тела, изучением металлов и сплавов методами рентгеновской спектроскопии и вторичной ионной эмиссии.



Вера Александровна Кондрашина, главный хранитель фондов Звенигородского историко-архитектурного музея.

XVII в. был вершиной в истории русского литейного искусства колоколов, вобрал в себя опыт многих поколений и доведя до предела развитие многовековой традиции. Колокола того времени изумляли мир могучими гармоничными голосами, среди колокольных ансамблей был ныне всемирно известный ансамбль ростовской звонницы. Тогда же родились многие ставшие знаменитыми русские звоны.

Только в одной Москве, по словам Адама Олеария, было несколько тысяч колоколов, которые «во время богослужения... дают разнообразный перезвон и мелодию, так что непривычный человек слушает это с изумлением»¹. Колоколов было так много и звучание их было столь мощным, что другому путешественнику

XVII в. Павлу Алеппскому земля казалась дрожащей от звона: «Все колокола в городе гремели, так что земля сотрясалась», главный же колокол столицы, Большой Успенский, представился ему «редкостью, превосходящей силы человеческие»².

Создание этого колокола, отлитого в 1655 г., весившего примерно 10-12 тыс. пудов, предшественника нынешнего Царь-

¹ Олеарий А. Описание путешествия в Московию и через Московию в Персию и обратно. СПб., 1906, с. 326.

² Алеппский П. Путешествие антиохийского патриарха Макария в Россию в половине XVII в., описанное его сыном, архидиаконом Павлом Алеппским. М., 1898, с. 5, 363.



Звонница Саввино-Сторожевского монастыря.

колокола, — одно из наиболее ярких свидетельств таланта «государева пушечного и колокольного мастера» Александра Григорьева.

Даже при общем высоком уровне литейного мастерства XVII в. Александр Григорьев выделялся интереснейшими отливками. Сведений о его жизни немного. Ему не было еще и 17 лет, когда он был назначен «колокольным литцом» Московского пушечного двора и сразу же получил важные государственные заказы. У него было много учеников, и некоторые из них стали известными мастерами. С именем Григорьева связывается начало производства колоколов на Валдае, где он отлил колокол для Иверского монастыря весом 700 пудов. В список известных работ этого мастера входит не менее десятка отливок.

Но если о большинстве из них сохранились только отрывочные сведения, то

одна — знаменитый Большой колокол Саввино-Сторожевского монастыря — дает возможность прикоснуться к секретам русского колокольного ремесла XVII в. благодаря наличию чрезвычайно ценных редких источников: архивных письменных материалов о литье, нотной записи звучания, данных современного исследования металла.

Но прежде несколько слов об истории создания колокола. Указом царя Алексея Михайловича (по всей вероятности, это было в 1667 г.), питавшего особое расположение к звенигородскому монастырю, предписывалось отлить Большой колокол для Саввино-Сторожевского монастыря «от любви своея душевныя и от сердечного желания» — именно так сообщалось в зашифрованной на колоколе надписи. Колокол весом почти в 35 т был отлит непосредственно на территории монастыря в 1668 г. лишь со второй попытки, поскольку первая по неустановленным причинам оказалась неудачной.

В литейных работах приняли участие

колокольный мастер Александр Григорьев и восемь его учеников, мастера других специальностей — кузнецы, подъемщики, печники, молотобойцы, присланные из Пушкарского приказа, стрельцы, охранявшие монастырь и исполнявшие обязанности квалифицированных и подсобных рабочих, крестьяне окрестных деревень, доставлявшие лес, уголь, глину и другие материалы. Работы начались в мае, продолжались почти все лето и закончились 29 ноября подъемом отлитого колокола на столбы. За удачную отливку мастер, ученики и кузнецы были



Реконструкция звучания Большого колокола Саввино-Сторожевского монастыря.

награждены сукном, как было принято в то время.

Через три года состоялся подъем колокола на звонницу, где он и висел почти три века, поражая современников мощью и богатством звучания. В 1941 г. при наступлении фашистов, колокол был разбит, но память о нем живет и по сей день. Звук его называли превосходным, певучим, глубоким, густым, удивительно гармоничным. Именно красотой звука колокол был выделен из числа самых больших русских колоколов. «Два колокола замечательны по своему певучему звону — написано в энциклопедии, — Саввино-Сторожевский в Звенигороде и Симонов в Москве»³; «звук достигает необычной красоты и певучести,

если размеры колокола правильны, пропорции меди и олова математически точны. Такие колокола редки, по красоте звука известны два — Воскресный Симонов в Москве и Большой в Саввино-Сторожевском монастыре»⁴.

В 20-е годы нашего века выдающийся звонарь К. К. Сараджев слышал колокол и зарегистрировал его звучание в виде нотной записи⁵. По свидетельству А. И. Цветаевой, посвятившей документальную повесть этому необычному музыканту-«колоколюсту», Сараджев обладал гиперсинезией музыкального слуха, слышал и различал в колоколах все обертоны и без малейшего труда мог выразить их с помощью нотной системы. В то же время обычная нотная запись его совершенно не устраивала, так как она не передавала или передавала лишь приближенно особенности музыкального звучания колоколов, в которые, как он высказывался, «входит наивысшая сложность сочетания звуков» и которые «дают весь музыкальный абсолют»⁶.

Можно использовать эту нотную запись как источник для гармонического анализа звучания большого звенигородского колокола в надежде понять загадку красоты его звука со стороны музыкально-акустической. В зарегистрированном Сараджевым виде звуковой спектр этого колокола содержал двадцать звуковых компонент — частичных тонов, считая от первого, или основного, — си-бемоль субконтроктавы. Основным тоном в музыкальной акустике обычно называют собственное колебание самой низкой частоты, все же прочие частичные тоны рассматриваются как гармонические или негармонические, в зависимости от того, образуют или не образуют соответствующие колебания гармонический ряд чисел 1 : 2 : 3 и т. д. В том разделе музыкальной акустики, который можно назвать колокольной акустикой, считается, что в хорошем колоколе пять самых нижних частичных тонов образуют интервалы унтероктавы, примы, терции, квинты и верхней октавы, а более высокие частоты должны располагаться по возможности на расстоянии октавы от главных тонов. Следует заметить, что акустика колоколов крайне

⁴ Пыляев М. Исторический вестник, 1896, т. 42, с. 180

⁵ Благовещенская Л. Д. Звуковые спектры московских колоколов. — В кн.: Памятники культуры. Новые открытия. Еж. 1977 г. М., 1977, с. 38.

⁶ Цветаева А. И. Сказ о звонаре московском. — Москва, 1977, № 7.

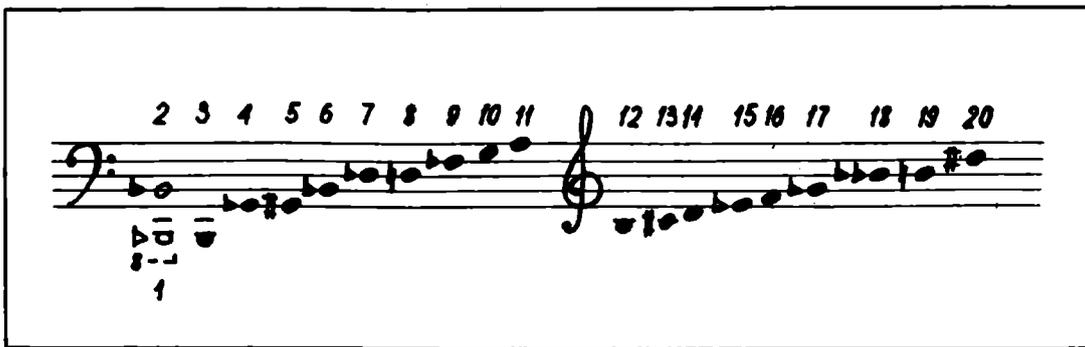
³ Новый энциклопедический словарь, т. 22. Пг., 1915, с. 207.

сложна и плохо изучена. В известных работах исследование редко доводилось до спектров такой длины, как у Сараджева, спектры же столь больших колоколов вообще не изучались.

С некоторыми, не очень существенными оговорками в звуковом спектре Большого колокола можно выделить два ряда звуков: один близко соответствует натуральному звукоряду от основного тона си-бемоль, а другой совпадает с натуральным звукорядом от основного тона соль-бемоль. В таком случае особенностью

мировой колоколотейной практике, что, очевидно, является непосредственным следствием совершенной отливки.

●
Как подобраться к тайне столь высокого и мудрого искусства? Как расшифровать его логическую мотивировку? Можно ли найти ключ к его «секретам»? Ведь очевидно, что колокольное ремесло заключает в себе обширные и разнообразные знания о природе, в первую очередь, законов музыкальной акустики, свойств металлов, сплавов, других материалов. По-



Нотная запись звона Большого колокола Саввино-Сторожевского монастыря, произведенная К. К. Сараджевым.

звучания колокола была отчетливая выделенность основного тона си-бемоль: вместе с большим количеством относящихся к нему гармонических обертонов в нем достаточно отчетливо выделен дополнительный основной тон соль-бемоль, усиленный резонансом относящихся к нему обертонов и находящийся в отношении благозвучного консонирующего интервала большой терции (малой сексты) к основному тону. Звучание Большого колокола можно, таким образом, передать двумя большими одновременными аккордами.

Интересно, что и сам Сараджев в стремлении передать звук больших колоколов изображал их несколькими одновременными аккордами. Хороший колокол отличается, по-видимому, преобладание гармонических тонов в их аккордном созвучии. Что касается Большого колокола Саввино-Сторожевского монастыря, то высокая гармоническая чистота и упорядоченность его звукового спектра позволяют рассматривать его как колокол, «настроенный в самом себе», — очень редкий случай в

пытаясь же приблизиться к методам древнерусского мастера-литейщика колоколов на примере Большого колокола Саввино-Сторожевского монастыря.

С высоты сегодняшнего понимания первый главный «секрет» — рецепт колокольного сплава (колокольной меди, или колокольной бронзы) — действительно важный момент колокольной технологии⁷. Исторические пути развития литейного колокольного ремесла привели к единственному, внешнегеографическому, вневременному решению относительно материала, превратив «секретный рецепт» колокольного мастера в строго нормированный по составу сплав: медь — 78-80%, олово — 20-22%, примеси — не более 1-2%. Сплав определяет то, что в колоколе как в звучащем музыкальном инструменте проявляется как полнота звучания — качество тембра, и выражается через число обертонов (компонент сложного звука), соотношение их интенсивностей, длительность и равномерность затухания. И если недостатки формы (второго центрального пункта колокольной технологии) могут быть исправлены последующей коррекцией-подточкой,

⁷Ellerhorst H. Handbuch der Geockenkunde. Weingarten, 1957. Weissenböck A., Pfundner I. Tönendes Erz. Graz-Köln, 1961.

то никакими мерами невозможно устранить дефекты неправильного или неудачного литья.

Что можно сказать о металле Большого колокола? В 1965 г. был сделан химический и спектральный анализ сохранившихся фрагментов в лаборатории Московского автозавода им. Лихачева. Результаты его были уточнены повторным исследованием, проведенным авторами настоящей статьи в течение 1978—1980 гг.: для этой цели были использованы современные аналитические методы физического металловедения.

Химический состав был определен методом атомно-абсорбционного спектрального анализа и, независимо от этого, методами электронного и ионного зонда⁸ для исследования локального распределения примесей и определения трудно анализируемых обычными методами элементов, таких как углерод, кислород, водород. Результаты суммированы в таблице и показывают, что материал колокола представляет собой оловянистую бронзу состава Cu — 81,27%, Sn — 18,30% с суммарным количеством примесей 0,43%, т. е. сплав высокой чистоты.

Химический состав колокола, в %

Sn — 18,30	Al — 0,002 (в локальных участках)
Pb — 0,23	Bi — 0,005
Sb — 0,10	H \approx 0,00005
As — следы	C — следы
Fe — 0,04	O — нет
Ni — 0,008	Na — следы (в локальных участках)
Co — 0,007	Si — следы
Zn — следы	K — следы
Mn — следы	Ca — следы
Ag — 0,05	Ti — следы (в локальных участках)
Au — 0,007	Cu — остальное

Микроструктуру сплава образуют зерна матричной α -фазы — твердого раствора олова в меди — и зерна эвтектоида — механической смеси кристаллов α -фазы и δ -фазы (твердого интерметаллического соединения $Cu_{31}Sn_8$), по границам обогащенные чистой δ -фазой. Согласно данным фазового анализа, относительная доля δ -фазы составляет в этом сплаве 38%, пористость — 0,13% (поры в исследованном образце редкие, но довольно крупные). Плотность сплава — 8,95 г/см³; твердость по Бринеллю — 116; модуль Юнга — 9300 кгс/мм², скорость звука, определенная

резонансным методом на частоте 60 кГц, — 3240 м/сек.

Здесь уместно заметить, что именно фазовая структура представляет интерес для обсуждения этого исторического сплава на языке современной физики металлов. При этом оказывается, что особые свойства колокольной бронзы как «звучащего», или «музыкального», сплава связаны со свойствами именно β -фазы — интерметаллического соединения $Cu_{31}Sn_8$. Таким образом, та зависимость, которая существует между звучанием (тон, тембр, окраска) и содержанием олова в сплаве и которая известна литейщикам в виде эмпирических рецептурных рекомендаций, должна интерпретироваться в терминах «содержание β -фазы — интерметаллида $Cu_{31}Sn_8$ ». Можно добавить, что этот интерметаллид относится к группе так называемых электронных соединений, для которых известный английский физик Б. Юм-Розери сформулировал одно из самых замечательных правил физического металловедения — правило, связывающее возникновение и стабильность электронных фаз с определенным значением электронной концентрации — среднего числа валентных электронов на атом в сплаве⁹. Физической основой рецепта колокольного сплава является, таким образом, электронная структура его фазовых составляющих.

Как следует из результатов исследования фрагментов колокола, отливка Александра Григорьева отвечает самым строгим требованиям с точки зрения чистоты сплава, и уже только это оставляет мало сомнений в наличии сознательного стремления к ее

⁸ Рентгеноспектральный локальный микроанализ (электроннозондовый анализ) позволяет провести элементный анализ от лития до урана с локальной чувствительностью 10^{-12} — 10^{-18} г, относительной чувствительностью 0,1—0,01% и точностью до 1%. Не вызывает разрушение исследуемого образца, может применяться для исследования малых объемов вещества, дает информацию о распределении всех исследуемых элементов по поверхности и глубине образца и требует сравнительно несложной подготовки образца.

Метод эмиссии вторичных ионов (ионнозондовый анализ) обладает высокой локальностью по глубине (30—50 Å) и по площади (1—2 мкм), дает информацию о пространственном распределении анализируемых элементов с очень высокой чувствительностью — 10^{-4} , в отдельных случаях 10^{-7} , в том числе (одно из преимуществ) самых легких элементов (водород), но не позволяет получать количественную оценку. Этот метод — разрушающий.

⁹ Юм-Розери В. Электроны и металлы. М.: Металлургиздат, 1950.

достижению. Сегодня нам известно, что примеси таких элементов, как алюминий, мышьяк, магний, висмут, акустически вредны уже в сотых долях процента; мышьяк, сурьма, висмут, сера, кремний приводят к повышению твердости: такие, как фосфор — способствуют раскислению; такие, как железо — ухудшают технологические свойства и т. п. В XVII в. эмпирическое осмысление свойств материалов осуществлялось примерно в таких терминах, какие мы слышим из уст близкого свидетеля — Павла Алеппского: «Когда стали ударять в него сильнее, он вдруг разбился, как стекло, ибо его частицы не были хорошо очищены»¹⁰.

Изучение металла колокола позволяет констатировать точное знание колокольного рецепта. Это следует, прежде всего, из очень хорошего соответствия состава сплава «идеальному» составу — при том, что здесь, как в любом художественном ремесле, допускалась известная свобода в пределах «канона», в данном случае к тому же оправдываемая акустической задачей. И рецептурный «канон», и рецептурная «свобода», как видно, имеют в колокольном деле реальное акустически-целесообразное обоснование: в зависимости от размера и профиля колокола, в стремлении получить нужную степень «звонкости» опытные мастера варьировали состав в пределах 5% в сторону увеличения содержания олова.

В знании мастером колокольного рецепта нас убеждает и то, что перед началом литейных работ мастер составлял «сказку» — роспись необходимых материалов, служившую основанием для отпуска их со складов Пушкарского приказа. Так, к началу работ при первой отливке было отпущено «на образец колокола и в колокольное литье четыреста пуд меди красной, девяносто пуд олова, тридцать пуд проволочного железа, двадцать гривенков меди зеленой»¹¹. При второй отливке применили разносортные материалы: «прежнего колокола ломаную медь», «колокольную медь», «денежную медь», «дошатую медь», «олово глыбное»¹², что не могло не услож-

нить задача мастера по определению состава сплава. Но как видно из результатов анализа, получившийся состав в точности соответствует расчетному: «четыреста пуд меди красной, девяносто пуд олова...» — это как раз отвечает составу Cu — 81,6%, Sn — 18,4%. Нет никаких сомнений в том, что мастер хорошо знал поведение металлов при плавке («сколько пойдет на угар и на выгонку»¹³) и умел определять качество металла по ходу плавки; по-видимому, необходимым для него было также использование каких-то приемов для определения состава исходных материалов с целью последующего пересчета состава шихты — конечной смеси. Западноевропейская средневековая ремесленная техника знала такие методы, идущие еще от Архимеда. Но знали ли их русские мастера? Знали ли они колокольный рецепт в его виде «четыре части меди, одна часть олова»? Точных подтверждений этому мы не имеем, но все же знакомство хотя бы с одним старинным русским сборником химических рецептов¹⁴ показывает, что подобного рода рецепты были на Руси вполне в ходу.

Второй «секрет» колокольного мастера — форма колокола. В терминологии XVII в. изготовление «колокольного образца» всецело входило в задачу мастера, причем само понятие «колокольный образец» употреблялось в нескольких смыслах: «колокольный образец» — это и форма для отливки, т. е. болван, тело и кожа (верхняя опока), это и шаблон-лекало для моделирования формы, это и технические средства для построения профиля стенки колокола. Подобная многозначность понятий была вполне натуральна для средневековья.

Самая первая задача мастера состояла в определении диаметра по заданному заказчиком весу. Надо сказать, что и в настоящее время физический закон, связывающий веса и диаметры колоколов определенного тона, известен лишь в приближенной форме, тем более мы не знаем, каким методом или каким расчетом пользовался колокольный мастер XVII в. В этой связи можно обратиться к наиболее зрелому описанию колокольной технологии, относящемуся ко времени, когда литье колоколов уже давно обобщило ремесленный

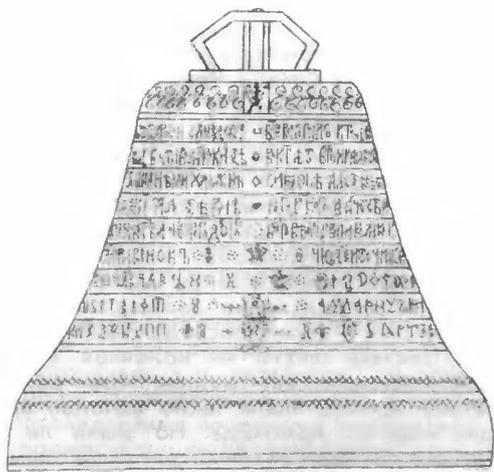
¹⁰ Алеппский П. Указ. соч., с. 111.

¹¹ Архив Военно-истор. музея артиллерии, инж. войск и войск связи. (ВИМАИВиВС), ф. 1, д. 241.

¹² Книги записные саввинских стрельцов, бывших ежедневно у колокольного дела. — Центр. гос. архив древних актов, ф. 1119, Саввино-Сторожевский монастырь, оп. 1, кн. 23/144, л. 39

¹³ Архив ВИМАИВиВС, ф. 1, д. 128.

¹⁴ Фигуровский Н. А. Об одном старинном русском сборнике химических рецептов. — Тр. Ин-та истории естеств. М. — Л., 1948, т. II, с. 251.



Большой колокол Саввино-Сторожевского монастыря (чертеж).



Фрагмент Большого колокола с надписью.

опыт предшествующих эпох и перешло на уровень фабричного производства¹⁵.

К этому времени, но, видимо, не ранее XIX в., были составлены таблицы, отражавшие эмпирическую связь между

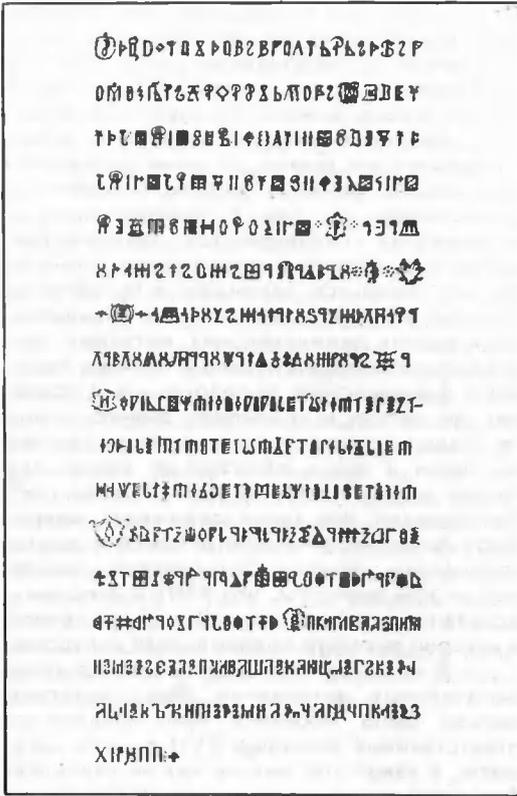
весом, нижним диаметром колокола, его высотой и весом языка, хотя, кроме таблиц, колокольные мастера пользовались установленной на практике приближенной зависимостью между весами колоколов одного и того же профиля и их диаметрами.

Обратим особое внимание на тот факт, что верхним пределом веса в этих таблицах является вес в 1500 пудов (24,6 т), что, по-видимому, отражает существовавшую в XIX в. практику. Однако в XVII—XVIII вв. в России были отлиты самые крупные в Европе колокола, причем колокола весом около 30 т отливались повсеместно — в Москве, и в Ростове, и в Новгороде. Упомянутые таблицы выглядят поэтому как бы оборванными на предельном весе позднего этапа литейной истории колоколов. Между тем простая проверка показывает, что в области столь больших весов, как 35 т (Большой звенигородский колокол) или 200 т (Царь-колокол), не «работает» ни кубическая, ни какая-либо другая простая степенная зависимость. Здесь получается другое, и ответ мы находим в самой же «кухне» русских колокольных мастеров. В том виде, как это описано в руководстве Н. Оловянишникова¹⁶, русские мастера при вычислении диаметра колокола по заданному весу пользовались следующим методом (приводим соответствующее место полностью): пусть «форма требует на 120-пудовый колокол; диаметр четырехпудового колокола имеется и равен $10\frac{3}{4}$ вершка, тогда к $10\frac{3}{4}$ вершка прибавляют четвертую часть, т. е. $2\frac{1}{2}$ вершка (дробь менее одной четверти при таком вычислении не считаются вовсе), получится $13\frac{1}{4}$ вершка, это будет диаметр колокола вдвое больший, т. е. в восемь пудов; далее к $13\frac{1}{4}$ вершка прибавляют опять одну четвертую часть от $13\frac{1}{4}$ вершка, получают диаметр колокола вдвое больший, т. е. в 16 пудов и т. д. до тех пор, пока не получится диаметр колокола в 120 пудов, который при таком вычислении будет равен $31\frac{3}{4}$ вершка.

Если же требуется иметь диаметр колокола в 150 пудов, а имеется размер стопудового колокола, то вычисления меняются. К диаметру стопудового колокола прибавляют седьмую часть его и полу-

¹⁵ Оловянишников Н. История колоколов и колоколотейное искусство. М., 1912. (Н. Оловянишников был одним из владельцев и руководителей известной в России фирмы по производству колоколов «П. И. Оловянишников и сыновья».)

¹⁶ Оловянишников Н. Указ. соч., с. 386.



Δ	БР	ЕЗ	Г	Д	В	А
Б	АБ	В	Д	Е	Ж	З
В	Д	Н	РР	Б	ЗТТ	К
Г	РР	НР	ТТТ	Д	Г	А
А	З	А	АА	ММ	Δ	М
Е	Д	М	Б	Д	ВЗ	Н
Ж				С	З	Х
СЗ	П	Д	ЗС			Б
И	Б	В	ТТ	ТТ	Р	П
К			Р		Б	В
А	УУ	Ф	Т	Т	ДТ	Г
М	В	СБ	ММ		НР	Д
Н	З	Р	ПР	Т	ММ	С
О	Д	С	ВВ	Б	Т	З
П	ВБ	Т	А	В	Д	П
Р	РГ	Т	Т	Т	Г	Т
С		ВА	УВ	СД	СБ	К
Т		Т	М	Б	Т	П
У		Б	ТБ	Т		Р
Х				З		
Ц		Г	В	М	М	У
У		С	Б	Б	Т	Ц
Ш	А	В	Δ	Т		Ш
Щ	М			Т		
ЗБ	ЗЗ	Б	З	ТТ	З	З
Ы		В	А	Б	М	Ы
Ь				ВБ		
Ю				М		
Я		С		ММ	З	
Ъ				Т		
Ѡ				Δ		Л

Тайнопись, составляющая последние три строки надписи на Большом колоколе Саввино-Сторожевского монастыря, расшифровывается таким образом: «Изволением прелюбого и прещедрого бога нашего и заступничеством милостивой заступницы пресвятой владычицы нашей богородицы, и за молитву отца нашего и милостивого заступника преподобного Саввы-чудотворца, и по обещанию по повелению раба Христова царя Алексея от любви своей душевной и от сердечного желанья слит сей колокол в дом пресвятой богородицы честного и славного ее Рождества и великого и преподобного отца нашего Саввы-чудотворца, что в Звенигороде, нарицаемый Сторожевским».

чают диаметр колокола в 150 пудов, причем и здесь доли менее одной четверти откидываются».

Но это не что иное, как обычная геометрическая прогрессия aq^n — в первом случае с коэффициентом $q=1\frac{1}{4}$ (и первым членом $a=10\frac{3}{4}$ вершка), во втором случае — с коэффициентом $q=1\frac{1}{7}$. Оказывается, что такой логике подчиняются и все вышеупомянутые таблицы: экстраполируя прогрессию на вес 2000 пудов и более, получаем вполне приличное согласие по реальным диаметрам.

Правильнее же эту скрытую математическую логику сформулировать так: в за-

Шифр тайнописи на колоколе Саввино-Сторожевского монастыря.

маскированном виде «секретный» метод колокольного мастера соответствует — в современных терминах — равномерному приближению неизвестной функции $f(x)$ (у нас $G=f(\Phi)$) суммой степенных рядов, а именно функциональных геометрических прогрессий, в которых как первый член, так и знаменатель, являются функциями некоторого переменного x (в нашем случае диаметра)¹⁷, определенного для отдельных участков функции соответственно записи:

$$f(x) = \begin{cases} a(x_1), & a(x_1)q(x_1), & a(x_1)q^2(x_1), \dots \\ + & a(x_2), & a(x_2)q(x_2), & a(x_2)q^2(x_2), \dots \\ + & \dots & \dots & \dots \\ + & a(x_n), & a(x_n)q(x_n), & a(x_n)q^2(x_n), \dots \end{cases}$$

¹⁷ Воробьев Н. Н. Теория рядов. М.: Наука, 1979.

Таким образом, внутренняя логика метода соответствует разложению неизвестной функции в степенной ряд (функциональную геометрическую прогрессию) и определению последовательных членов ряда заданием начального члена (некоторого значения диаметра) и рекуррентных соотношений для соответствующих областей значений диаметров (коэффициентов геометрической прогрессии) в целях равномерного приближения по областям значений.

Методы разложения в асимптотические ряды, как известно, успешно работают в тех случаях, когда точные решения неизвестны, причем асимптотический ряд может быть для данной функции и расходящимся (как в нашем случае, так как при $q > 1$ прогрессии возрастают), что не мешает при надлежащей осторожности использованию асимптотических рядов для приближения и исследования функций.

Но вернемся в XVII в. В официальных русских учебниках XVII в. содержатся в лучшем случае задачи на прогрессии с целочисленными постоянными знаменателями¹⁸. И это тогда, когда «математическая грамотность среди людей самых разнообразных профессий распространена даже более широко, нежели умение читать и писать»¹⁹. Удивительно ли, что отдельным видам художественного технического ремесла оказывается по плечу взаимодействие с законами природы? Удивительно ли, что отдельные его виды стимулируют, исходя из своих потребностей, решение сложных естественнонаучных задач?

Профессия колокольного мастера считалась привилегированной в средние века — «литейщик среди литейщиков», и если так, то это привилегия по таланту и умению.

Далеко не в последнюю очередь к «секретам» колокольного мастерства относится и собственно литейная технология. Литье колоколов критично к температуре расплава, скорости литья, скорости охлаждения, состоянию расплава перед разливкой, температуре разливки. От быстрого охлаждения, например, немало зависит плотность и величина зерна, однородность отливки, внутренние напряжения, склонность сплава к газонасыщению. Насыщение

кислородом тем более неприятно появлением раковин и пустот, причем часть олова окисляется с нарушением состава из-за образования окисла олова SnO_2 , который портит и звук, и механическую прочность.

Для нашей задачи, однако, — а нас интересует не только уровень ремесленных знаний, но и их форма — важно и существенно то, что с неоспоримостью вытекает из сохранившихся документов, прямо или косвенно относящихся к литью. Вот что говорится, например, в челобитной Даниила Мастерова и сына его Емельяна, двух других замечательных мастеров, докладывавших перед началом отливки Большого кремлевского колокола: «А в прежних де литьях в колоколах бывало у них не гладко потому, что они в глине составу не знали и яиц в образец не клали, как состав делает иноземец Иван Фалька...»²⁰ Как правило, все такие документы сохраняют печать осмысленного опыта и дышат творческим поиском технических решений — при всем том, что XVII в. с полным основанием можно назвать высшей точкой в истории русского колокольного искусства.

В числе «секретов» и тот набор вспомогательных материалов, без которого нельзя было обойтись при исполнении ответственных заказов в XVII в., и та щедрость, с какой этот век на них не скупился: белая высококачественная глина, гжельская глина (кстати, именно эта глина использовалась в XVIII в. для получения первого русского фарфора), шерсть (10 пудов для Звенигородского колокола), говяжье и свиное сало (5 пудов), красный вар и пр. Топливом — сухие дрова — по преимуществу служили ветхие избы, иногда для этого сносились целые слободы.

И, наконец, самый скрытый «секрет» — скрытый невидимый механизм, приводивший в согласованное действие все отдельные звенья целостной ремесленной системы, в которой особая роль колокольного мастера обеспечена развитой дифференциацией трудового процесса и их продуманной упорядоченностью. На примере Большого звенигородского колокола мы узнаем, что царский указ об отливке приводел в движение отлаженный механизм Пушкарского приказа. Представитель высшей приказной администрации — дьяк, отдав «наказ» о выдаче необходимых ма-

¹⁸ История естествознания в России, т. I. М.: Изд-во АН СССР, 1957, с. 26.

¹⁹ Кузнецов В. К. Очерки развития естественно-научных и технических представлений на Руси в X—XVII вв. М.: Наука, 1976, с. 126.

²⁰ Архив Ленинградского отделения Ин-та всеобщей истории АН СССР (ЛОИИ), ф. 175, оп. 3, д. 27, с. 50. О Большом колоколе в Москве.

териалов и инструментов, сам направлялся к месту работ, где координировал все действия; он же осуществлял связь с заказчиком — царем. Вместе с ним из приказа в монастырь выезжали колокольный мастер с учениками и мастера других специальностей, будь то кузнец, печник или подъемщик. Привлечение к работам в качестве основной рабочей силы стрельцов гарантировало непосредственное исполнение всех операций, поскольку стрельцы имели и ремесленные специальности (среди них были кузнецы, плотники, молотобойцы). Свой вклад в исполнение работ вносил и монастырь — доставкой дров и кирпича, расчисткой территории, проведением расчетов со стрельцами и возчиками. Все здесь выглядит так, как если бы сама логика развертывания работ диктовала логику их исполнения, а исполнение, кроме всего прочего, было четким, ритмичным и просто-напросто очень быстрым. В любом случае 130 рабочих дней одного сезона для отливки колокола в 35 тонн — это сложная задача и для современной техники: так, итальянским мастерам в 60-х годах нашего века понадобилось 3 года для отливки 22-тонного колокола²¹.



В XVII в. подобные произведения путешественникам из чужих стран казались «чудом». Это и есть чудо, явленное сплавом таланта, вдохновения, труда, разносторонних знаний. А может быть, секрет в особом способе постижения и воплощения «секретов», в творческом методе колокольного мастера?

Ведь в таких произведениях сущность ремесленного мышления эпохи может быть понята лишь в связи со средневековым мировоззрением с его нерасчлененностью знания. Перед нами здесь не только история научных представлений и не только стремление творить на основе познанных законов природы, но весь средневековый мир, все средневековое бытие, представленное в специфическом ремесленном отражении.

В этом специфическом мировоззрении — это надо осознать современному человеку — «видеть, слышать и понимать» были единым целым. Любое мышление — художественное, геометрическое и т. д. — доведенное до предела, отражало все мы-

шление данной культуры вообще, более того, художественное мышление в пределе могло обнаружить в себе пространственное геометрическое мышление, философское и т. д.

Специфическое сознание художника-ремесленника того времени имело дело не только с материалом вещи, но и с идеей, замыслом вещи, данным ему как бы от бога. Поэтому его творчеству непременно сопутствовал технический герметизм, связанный с тем, что мастера оперировали с вещами (веществами) на уровне интуитивных физических знаний, более глубоких по сравнению с общеизвестными. Естественно, что такие знания требовали строжайшего засекречивания от любой профанации.

Вещь в то время была не мыслима без своего образца, данного в идее, существовавшей до вещи и оформившейся в виде рецепта, без пропорций составляющих частей. Принцип пропорции, рецепт-канон воспринимается как познанный закон природы, рецептурная непреложность — как доверие к истине, выверенной на живой практике.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Благовещенская Л. Д. ЗВУКОВЫЕ СПЕКТРЫ МОСКОВСКИХ КОЛОКОЛОВ.

— В кн. : Памятники культуры. Новые открытия. Еж. 1977 г. М., 1977.

ЛОКАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ АНАЛИЗА МАТЕРИАЛОВ.
М. : Металлургия, 1973.

Оловянишников Н. ИСТОРИЯ КОЛОКОЛОВ И КОЛОКОЛОЛИТЕЙНОЕ ИСКУССТВО. М., 1912.

Пухначев Ю. В. ЗАГАДКИ ЗВУЧАЩЕГО МЕТАЛЛА. М. : Наука, 1974.

Черепин В. Т., Васильев М. А. ВТОРИЧНАЯ ИОННО-ИОННАЯ ЭМИССИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ. Киев : Наукова думка, 1975.

ЭЛЕКТРОННО-ЗОНДОВЫЙ МИКРОАНАЛИЗ.
Пер. под ред. И. Б. Боровского. М. : Мир, 1974.

²¹ Петриченко А. М. Книга о литье. Киев: Техніка, 1972, с. 50.

Природа и первобытное сознание

В. Р. Кабо



Владимир Рафаилович Кабо, доктор исторических наук, старший научный сотрудник Института этнографии им. Н. Н. Миклухо-Маклая АН СССР. Занимается проблемами этногенеза коренного населения Австралии. Автор монографий: Происхождение и ранняя история аборигенов Австралии. М.: Наука, 1969; Тасманийцы и тасманийская проблема. М.: Наука, 1975. За эти работы Президиум АН СССР присудил В. Р. Кабо премию им. Н. Н. Миклухо-Маклая за 1978 г. В «Природе» опубликовал статью «Природа и первобытное общество: проблемы социальной адаптации» (1979, № 4).

Духовную культуру первобытного общества можно сравнить с айсбергом; лишь небольшая его часть доступна непосредственному изучению, вся остальная масса скрыта от наших глаз. И только совместные усилия археологов, этнографов и других специалистов постепенно раскрывают черты этого поистине необъятного мира. Особый интерес представляет для нас проблема освоения первобытным сознанием природного мира, содержание представлений человека той эпохи о времени и пространстве, способы фиксации и использования доступных ему знаний. В связи с этим возникает и более общий вопрос — насколько мышление первобытного человека отличалось от нашего. Осветить эти вопросы мы и попытаемся в дальнейшем изложении.

МЫШЛЕНИЕ ПЕРВОБЫТНОЕ И МЫШЛЕНИЕ СОВРЕМЕННОЕ

Считается, что мышление первобытного человека качественно отлично от нашего. По нашему мнению, это не так. Оно характеризуется не иной психической структурой, не иными мыслительными механизмами, а иным содержанием. Многочисленные факты убедительно показывают, что ум представителя любой общест-

венной формации потенциально подготовлен к усвоению достижений любой более развитой культуры, и, поставленный в благоприятные условия, он успешно овладевает ими.

«Жители Огненной Земли считаются одними из низших варваров,— писал Ч. Дарвин. — Между тем я должен был постоянно удивляться трем из этих туземцев, которые были взяты на борт корабля «Бигль», прожили несколько лет в Англии и говорили немного по-английски,— до такой степени они походили на нас по характеру и большинству наших умственных способностей»¹. В принципиальном единстве психики человека на всех ступенях исторического развития был глубоко убежден один из крупнейших этнографов нового времени Ф. Боас. Ум первобытного человека, полагал он, функционирует так же, как и ум человека цивилизованного. Способность к логическому мышлению — одно из фундаментальных свойств человека, наряду с членораздельной речью и употреблением орудий².

¹ Дарвин Ч. Происхождение человека и половой отбор. — Соч., т. 5. М., Изд-во АН СССР, 1953, с. 186.

² Боас Ф. Ум первобытного человека. М. — Л.: ГИЗ, 1926.

В свое время Л. Леви-Брюль стремился доказать, что мышление первобытного и цивилизованного человека качественно различны, что сознание первобытного человека расколото на сферу индивидуальных представлений, основанных на личном опыте, и сферу коллективных представлений, навязанных ему обществом и подчиненных особым, дологическим законам мышления³. В действительности, законы, управляющие коллективными представлениями и индивидуальным сознанием, в основе своей едины. Коллективные представления могут быть логически безупречными. По словам африканиста М. Глакмена, если в наш европейский дом, защищенный громоотводом, ударит молния, мы скажем, что мастер, сделавший громоотвод, никуда не годен, или провод плох, либо разорван. Если молния сожжет африканскую деревню, охраняемую против грозы колдовскими средствами, африканец скажет, что колдун никуда не годен, или его колдовские средства плохи, или было нарушено какое-то табу⁴. Логическая схема первобытных коллективных представлений может быть той же самой, что и наша. Различен лишь материал, с которым оперируют обе схемы. Этот материал детерминирован социально и культурно.

Часто утверждают, что в первобытном сознании отвлеченное, категориальное мышление играет ничтожную роль, что здесь преобладает мышление конкретное, практическое. Утверждение это опровергается многочисленными фактами, относящимися к области мифологии, религии и первобытной натурфилософии. Эти факты свидетельствуют о существовании в сознании отсталых охотничьих обществ целой системы сложных отвлеченных представлений. В своей совокупности они значительно шире того, что обычно вкладывается в понятие религия. Это своего рода энциклопедия первобытного человека, включающая немало таких представлений, которые со временем могли бы развиться в научные и философские идеи и концепции.

Издавна широко распространено мнение о бедности, ограниченности словарного запаса в языках отсталых обществ,

примитивности этих языков, в чем сказывается, якобы, убожество духовного и практического опыта их носителей. Данные лингвистики показывают, однако, что этим языкам свойственны многочисленные абстрактные понятия, что они не только богаты по своему словарному запасу, но и достаточно сложны по своей структуре.

В процессе познания первобытный человек руководствуется законами логики, и в этом смысле его ум ничем не отличается от нашего ума, утверждает К. Леви-Стросс. Первобытное сознание исторически предшествует современному научному мышлению. А наличие или отсутствие в языке слов, выражающих абстрактные понятия, говорит не о больших или меньших умственных способностях, а о различной направленности интересов, притом не только практических. «Жажда объективного познания — один из самых неисследованных аспектов мышления людей, которых мы называем примитивными... Вселенная для них — предмет размышлений в той же мере, как и средство удовлетворения потребностей»⁵.

ВРЕМЯ И ПРОСТРАНСТВО В ПРЕДСТАВЛЕНИЯХ ПЕРВОБЫТНОГО ЧЕЛОВЕКА

Расчлняя первобытную культуру на отдельные сферы общественного сознания, мы делаем это в известной мере произвольно. В эпоху первобытности преднаука, религия, искусство постепенно выкристаллизовывались из первоначально нерасчлененного целого. Одним из наиболее ярких проявлений первобытного синкретизма является мифология. Из нее постепенно развилась история как наука; это происходило по мере того, как историческое время отчлнялось от мифологического. Мифологическое время не знает ни прошлого, ни настоящего в нашем понимании. Аборигены Австралии не просто воспроизводят в драматической мистере мифологическое прошлое — оно само, вечное непрерывное время творения, вторгается в настоящее как живая реальность. Герои и события мифологического прошлого не менее реальны, чем люди и события настоящего. Для мифологического мышления существование едино и цельно. Мифологическое время безвременно, неизменно, обратимо. Ис-

³ Леви-Брюль Л. Первобытное мышление. М.: Изд-во Атеист, 1930.

⁴ Gluckman M. The logic of African science and witchcraft. — In: Readings in Anthropology. N. Y., 1955.

⁵ Levi-Strauss C. The Savage Mind. L., 1966, p. 3.

торическое время, в отличие от мифологического, замкнуто в себе, необратимо и дискретно — делится на ряд последовательных эпизодов. Историческая реальность, первоначально включенная в миф, постепенно отслаивалась от него, и это было одним из ранних и величайших завоеваний культуры. Знание того, как произошел мир, не только удовлетворяло интеллектуальные потребности первобытного человека — посредством этого знания он стремился овладеть силами, управляющими миром. Память о прошлом стала одним из важнейших средств культурной и социальной преемственности, условием сохранения достижений культуры и самого общества.

Индейцы дакота, не имевшие письменности, делали на шкурах бизонов рисунки, располагая их кругами — каждый рисунок рассказывал о каком-то реальном событии прошлого, и все вместе они представляли собой своеобразную историческую хронику. Более отвлеченное средство сохранения памяти о прошлом существовало в одном из индейских племен группы сиу. Это был шест, покрытый зарубками. Он передавался из поколения в поколение, и старики говорили, что в зарубках отразилась история племени более чем за тысячу лет. А. Маршак сообщает о памятной доске индейцев пима, запечатлевшей историю племени за 45 лет. Здесь каждая неокрашенная зарубка представляла один год, а окрашенные зарубки и точки — важнейшие события, случившиеся в том или ином году: набеги, метеоритные дожди, землетрясения, наводнения и т. д.⁶ В этих случаях знаки играли роль мнемонического средства. Носителями исторической памяти были сами живые люди. Существует предположение, что в такой же функции выступали загадочные цилиндрико-конические камни, найденные в Юго-Восточной Австралии; они обычно покрыты зарубками и другими знаками, нередко объединенными в группы, и эти знаки могли фиксировать какие-то события из жизни племени.⁷

С потребностью сохранения памяти о прошлом связана одна из главных функций пиктографии, в которой соединились искусство, зарождающаяся письменность и возникающая история. Наиболее

архаическая ступень развития письма представлена в австралийском племени валбири, где традиционные схематические рисунки на песке сопровождают и поясняют мифологические по содержанию рассказы. Процесс рассказывания ритмизован и, помимо рисунков, сопровождается традиционной жестикულიцией, сочетая, таким образом, мифологическое повествование с пантомимой, пением-речитативом и изобразительным искусством в функции пиктографии.⁸

Более высокую ступень развития пиктографии обнаружил на Новой Гвинее Н. Н. Миклухо-Маклай. Идеографическое письмо, как называет его Миклухо-Маклай, служило здесь для сохранения памяти о знаменательных общественных событиях.⁹ В этой функции оно соприкасается с пиктографической письменностью индейцев дакота или юкагиров. Правда, информационный эффект пиктографии достигается и здесь лишь тем, что изображение играет роль мнемонического средства, опираясь на которое память о прошлом передается непосредственно от одних людей к другим; за знаками еще не закрепились постоянное значение. На следующей стадии развития письма его символы устойчиво связываются с теми или иными понятиями и явлениями.

Но известна такая архаическая стадия в развитии символических средств передачи информации, когда символом является не знак на предмете, а сам предмет. Таковы, например, некоторые железные послания аборигенов Квинсленда. Здесь в операциях дистантного обмена железные, иногда со знаками, иногда без них, сопровождали посредника от одного контрагента к другому и возвращались вместе с приобретенными предметами. Один и тот же железный предмет мог применяться неоднократно в различных ситуациях и мог не иметь на себе никаких знаков — значение имел сам предмет, он сам символизировал определенную обменную операцию.¹⁰

Отчленение исторического времени от мифологического сопровождалось отчленением географического пространства от мифологического. Мифологическое пространство, подобно мифологическому времени, не знает границ, оба они бесконечно протяженны, в отличие от дис-

⁸ Munn N. D. *Walbiri Iconography*. Ithaca, 1973.

⁹ Миклухо-Маклай Н. Н. Соч. т. 3, ч. 1, М. — Л.: Изд-во АН СССР, 1951, с. 97—99.

¹⁰ Roth W. E. *North Queensland Ethnography*. Brisbane, 1906, p. 9—10.

⁶ Marshack A. *The Roots of Civilization*. N. Y., 1972, p. 139—140.

⁷ Black L. *Cylcons. The Mystery Stones of the Darling River Valley*. Sydney, 1942.

кретных исторического времени и географического пространства. Свидетельствами познания пространства — охотничьих территорий, ареалов расселения общин и племен, мест, где проходили и действовали герои мифологии — являются примитивные «географические карты».

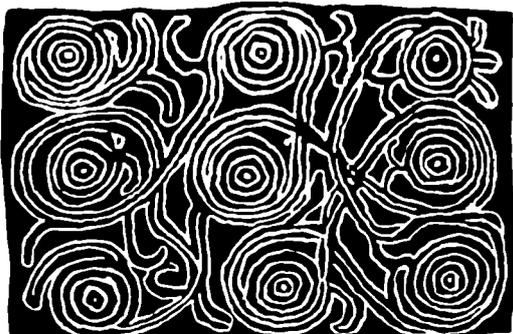
К наиболее ранним географическим схемам можно отнести условные изображения центров тотемического культа, расположенных на территории общины, вырезанные на австралийских чурингах и копьеметалках — своего рода тотемические карты местности. А так как эти святилища обычно совпадают с водоемами, такая тотемическая карта одновременно является и географической. Это лишь один из многих примеров полифункциональности первобытных орудий; совмещение в одном орудии (например, копьеметалке) нескольких производственных функций, использование его в религиозно-культовых целях и в функции отображения пространства, природы.

Географические схемы нередко вычерчиваются австралийцами просто на земле. Окружности обозначают стоянки своей и соседних общин, водоемы, места кочевок, тотемические святилища. Их взаимное расположение на поверхности земли примерно соответствует их действительному положению на местности. Каждая линия, соединяющая две соседние окружности, означает день перехода (обычно около 16 км), а протяженность всего пути выражается в количестве ночевок¹¹. Принцип таких схем — линейный или радиальный, соответствующий характеру освоения местности первобытными охотниками, но он, в то же время, этноцентричен — точкой отсчета всегда является община автора схемы. Поэтому такие схемы нередко имеют замкнутый характер, они заканчиваются там же, где начались, и одно и то же место может быть показано дважды — на пути туда и на пути обратно.

Географические знания закрепляются не только в материальных объектах. Существовали словесные географические карты и карты-песни. Стоянки, места ночлегов, горы, скалы, водоемы, тропы героев мифологии последовательно называются в этих повествованиях или песнях. Рассказывают, что однажды машина путешественников-европейцев сломалась в одной из центральноавстралийских пустынь. Провод-

ник-абориген успокоил путешественников, сказав им, что, хотя он никогда раньше не бывал в этой местности, он знает «ее песню». И, следуя указаниям песни, он вывел их к источнику. Таким было начало географии, еще тесно связанной с религией и мифологией.

У диери и некоторых других австралийских племен был обычай, покидая стоянку, оставлять так называемые тоа — вырезанные из дерева объемные изображения, на которых с помощью системы условных знаков, сделанных яркими крас-



Карта аборигенов северной Австралии. Концентрическими окружностями обозначены тотемические святилища, а связывающими их линиями — пути мифических предков.

ками, указывалось направление, в котором ушли люди, место, где они предполагали остановиться, и т. д. Причем форма тоа и знаки на них не только символизировали особенности той или иной местности, но и сообщали о том, что происходило в данной местности в мифические времена, когда здесь странствовали предки — культурные герои¹². Будучи первобытными средствами коммуникации, тоа стоят на грани письменности. В них объединены первобытное искусство и мифология, первобытная география и письменность в ее начальной стадии. Всему этому суждено стать самостоятельными ветвями культуры лишь с дальнейшим ее развитием.

¹¹ Tindale N. B. *Aboriginal Tribes of Australia*. Berkeley, 1974, p. 38—39.

¹² Morphy H. *Schematisation, meaning and communication in toas*. — In: *Form in Indigenous Art. Schematisation in the Art of Aboriginal Australia and Prehistoric Europe*. Canberra, 1977.

Первобытное сознание различает четыре основные стороны света, и некоторые названия австралийских племен образованы от слов, означающих «север», «юг», «запад» и «восток». Например, племя вадыари называет словом «малиара» («живущие к востоку», «восточные») группы племени будунгу, обитающие к востоку от них. Но для аборигенов, живущих к западу от вадыари, они сами — «малиара»¹³.

Структура обычного, немифологического времени и пространства первобытного человека не отличалась существенно от нашей. Различие состояло главным образом в том, что время и пространство мыслились не как свойства объективного мира, а как неотъемлемые элементы социального бытия. Счет времени был экологически обусловлен и включен в хозяйственную деятельность. С каждым сезоном года связывалось особое направление хозяйственной активности. Австралийское племя викмункан, по свидетельству Д. Томсона, делило год на пять сезонов, различающихся климатическими условиями, продовольственными ресурсами и образом жизни людей, и каждый сезон имел особое название. У многих племен, находящихся на более высоком уровне развития, лунные и звездные календари по-прежнему устойчиво связываются со сменой сезонов и соответствующей последовательностью хозяйственно-экологических циклов — созревaniem растений, рыбной ловлей, выпасом скота и т. д. Обусловленность структуры пространства и времени экологической и социальной средой обнаружил у нуэров Э. Эванс-Причард. Год нуэров делится на сезоны по чередованию хозяйственных занятий. Так же делются на части сутки. Длительные промежутки времени определяются промежутками между посвященными обрядами.

Расстояние между деревнями определяется степенью этнической близости их населения. Это пример не только этноцентризма, отмеченного выше для австралийцев, но и этнорелятивизма (этнической относительности). Нужны были огромные сдвиги в общественном и культурном развитии человечества, чтобы понятия пространства и времени стали отвлеченными, оторвались от социально-экологической матрицы, в которую они были непосредственно вплетены.

ЗНАНИЯ ОБ ОКРУЖАЮЩЕМ МИРЕ В ЖИЗНИ ПЕРВОБЫТНОГО ОБЩЕСТВА

Первобытный охотник интуитивно и с большим искусством использовал законы природы задолго до того, как они были научно сформулированы. Он учитывал действие земного тяготения, загона животных в ямы или сбрасывая со скалы; посылал стрелу выше цели, зная, что, описав дугу, она достигнет ее. В бумеранге и бола гениально использованы законы аэродинамики. Закон рычага, увеличивающий силу руки, применен в копьемедалке. Законы сохранения и превращения вещества и энергии и другие законы природы постигались первобытным человеком, когда он трением или высеканием добывал огонь, готовил пищу, растапливал снег, чтобы получить воду. Древние мореплаватели Океании находили путь в открытом море, руководствуясь расположением и склонением светил, и у них даже существовали примитивные карты звездного неба. А это, наряду с первобытными календарями, первый шаг к созданию астрономии. Календари, которые появились впервые не менее 30 тыс. лет тому назад, основывались на наблюдениях за движением небесных светил, сменой сезонов, циклическим развитием растений и животных. Одновременно с календарями появились и примитивные орудия счета, «счетные таблицы» палеолитического человека, основанные на обозначении чисел и отрезков времени определенными символами¹⁴. Космос вошел в жизнь и сознание первобытного человека много тысячелетий тому назад. Ритмическая организация жизни и хозяйственной деятельности первобытных охотников соответствовала природному и космическому ритму.

По мнению Л. Леви-Брюля, системы счета остальных племен покоились на недифференцированных «числах-совокупностях», конкретных выражениях определенного количества, неразлагаемых на единицы. А. Маршак показывает, что в сознании первобытного человека числа складывались в ряды, состоящие не только из совокупностей, но и из отдельных единиц, бывших результатом счета дискретных предметов или последовательных явлений — фаз луны, суток и т. д.

¹⁴ Marshack A. The Roots of Civilization, N. Y., 1972. Фролов Б. А. Числа в графике палеолита. Новосибирск: Наука, 1974; Он же. К истокам первобытной астрономии. — Природа, 1977, № 8, с. 96.

¹³ Tindale N. W. Aboriginal Tribes of Australia, p. 43—49.



Старейшины воспроизводят вслух мифологическую историю племени, запечатленную условными знаками на священной чуринге (чуринги — деревянные или каменные пластины, на которых с помощью символов фиксируются эпизоды из мифов). Северо-западная Австралия.

Это находит подтверждение и в данных этнографии.

В ходе освоения территорий, активной адаптации к естественного географическим условиям, смене сезонов первобытные люди все глубже познавали природную среду, ее особенности, ее ресурсы. Обширные этнографические материалы показывают, что экономика и в значительной мере общественная жизнь охотников и собирателей строятся, опираясь на полученные знания. Их передвижения в границах определенных территорий и в определенное время года не случайны, а экологически строго обусловлены. Знания, относящиеся к природному окружению, его возможностям, способам его использования — одно из важнейших средств взаимодействия первобытного общества и природы.

Накопление знаний, увеличение объема требовало их систематизации и классификации. Аборигены Австралии не только различают сотни видов растений и животных, но и классифицируют их. Ботанический словарь племени хануноо (Филиппины) достигает двух тысяч названий: клас-

сификация видов местной авиофауны состоит из 75 категорий; тысячи видов насекомых объединены в 108 групп, и каждая имеет свое название¹⁵. Явления известного первобытному человеку мира входили в ту или иную категорию системы классификации и соотносились с теми или иными общественными явлениями и институтами; на этом основан классификационный тотемизм. По мнению Леви-Стросса, первобытные классификации временами сопоставимы, с формальной точки зрения, с классификациями, которыми все еще пользуются зоологи и ботаники¹⁶. Классификация животных и растений, употребляемая австралийцами племени викмункан, по словам Д. Томсона, напоминает линнеевскую.

Деятельность американских индейцев в области селекции и гибридизации растений была необычайно продуктивной и дала миру около трети видов, повсеместно используемых в настоящее время в сельском хозяйстве, а лекарственные растения насчитывают сотни видов и применение их включает тысячи способов. Им были известны наркотические и психотропные средства, анестетики, жаропонижающие, разнообразные методы физио- и психотерапии. Подобно многим народам древности, они успешно осуществляли хирургические операции на черепе; а ведь

¹⁵Levi-Strauss C. The Savage Mind, p. 4—8.

¹⁶Ibidem.



Изображение лабиринта на дереве у могилы аборигена (Австралия). Лабиринты, как и спирали, служили символами раскрытого в бесконечность мира мифологии.

трепанация черепа — одна из сложнейших операций даже в современных условиях¹⁷. В Квинсленде охотники и собиратели-австралийцы хорошо знали и употребляли в пищу более 200 видов растений, из них около 40 видов использовались с лечебными целями. По подсчетам специалистов, от 25 до 50% растений, используемых первобытными племенами в медицинских целях, способствуют достижению желаемых результатов¹⁸.

Первобытные космогонические мифы тесно связаны с ритуалом. Функция ритуала — восстановление нарушенного равновесия как в мире физических явлений, так и во внутреннем психическом мире человека. Последняя функция ритуала ис-

следована С. Н. Давиденковым¹⁹. Первобытный шаман был не психопатом, каким его часто изображают. Его камлание, подобно заговору знахаря, имело терапевтический эффект. Такое воздействие в ряде случаев могло быть столь же эффективным, как и лечение, опирающееся на фармакологические средства. Первобытная медицина как бы предчувствует современные открытия в области взаимодействия психических и физико-химических процессов в организме человека.

Следует подчеркнуть, что и многие другие достижения человека каменного века — земледелие и одомашнивание животных, гончарство и ткачество — были подготовлены его далекими предшественниками, основывались на длительном наблюдении за природными процессами²⁰.

Восприятие окружающего мира первобытным человеком отмечено печатью социо- и антропоцентризма. В центре природного и социального универсума всегда человек и его непосредственное социальное окружение, его община; от них ведется отсчет времени и пространства. Это находит выражение в первобытной символике, в формах условного геометрического искусства. Круг и система концентрических кругов выступают в качестве фундаментального символа мира природного и мира социального. И если социум изображался в виде замкнутого круга, выражающего его самодовлеющую сущность, то изображение лабиринта или спирали связывалось с разомкнутым в бесконечность миром мифологии, миром представлений об обители мертвых и о вечном круговороте жизни. Эти древние символы как архетипы сохраняются затем на протяжении тысячелетий в сознании и искусстве многих народов.

Условные геометрические композиции, символы, воплощающие абстрагированные формы вещей и отвлеченные понятия, сочетаются в первобытном искусстве с произведениями, тяготеющими к реалистическому отображению явлений окружающего мира. Эти две основные формы первобытного изобразительного искусства отражают не этапы его эволюции, а различные требования к художественному освоению действительности, сложность общественного сознания и многоаспектность восприятия им мира.

¹⁷ Moerman D. E. American Medical Ethnobotany. N. Y., 1977.

¹⁸ Ackerknecht E. N. Problems of primitive medicine. — In: Reader in Comparative Religion. N. Y., 1965, p. 399.

¹⁹ Давиденко С. Н. Эволюционно-генетические проблемы в невропатологии. Л., 1947.

²⁰ Кабо В. Р. У истоков производящей экономики. — В кн.: Ранние земледельцы. Л.: Наука, 1980.



Композиция художника С. А. Надеина.

В 1974 г. автор этих строк познакомился на Сахалине с самобытным художником звенком Семеном Александровичем Надеиным. Творчество этого художника, человека вполне современного, тем не менее уходит корнями в традиции художественного творчества и мировосприятие первобытного охотника и помогает понять их. Содержание творчества Надеина тесно связано с жизнью и эпосом народов Севера. Оно географически и этнографически конкретно и в то же время свободно, фантастично, проникнуто стихийным пантеизмом первобытного охотника. На одной из его композиций изображено восточное побережье северного Сахалина, точнее — Ныйский залив Охотского моря. Разъясняя ее содержание, Надеин точно называет каждую бухту, устье каждой реки. Вдали вздымаются горы, покрытые снегом — это горы Даги. По заснеженному льду Охотского моря мчатся запряженные парой оленей сахалинские нарты, точнее нарты сахалинских звенков, обладающие своими особенностями;

и Надеин объясняет их устройство, показывая на рисунке и называет каждую их деталь. Для Надеина, как и для его предков — охотников и оленеводов — все в природном и бытовом окружении значимо, жизненно важно, отсюда его пристальный интерес к этому окружению во всей его конкретности. И в то же время восприятие им этого мира опозитизировано и одухотворено.

С. А. Надеин не только художник, но и поэт. Свои стихи он называет стихами-картинами. Стихи и картины Надеина связаны содержательно и эмоционально. «Картину и слова соединяю, — говорит он. — Когда рисую, рождаются слова». Устное и изобразительное творчество для него нечто цельное, единое, и это тоже сближает его с первобытными творцами.

Проблема освоения природного мира первобытным общественным сознанием бесконечно сложна, как сложен и беспределен духовный мир первобытного человека. Автор стремился осветить лишь те аспекты этой проблемы, которые, по его мнению, принадлежат к важнейшим, изучение которых представляется наиболее перспективным.



Стратегия защиты мест обитания морских млекопитающих¹

Дж. К. Рей,

профессор биологии Университета им. Дж. Гопкинса
(Балтимор, США)

Дж. А. Доббин,

глава Объединения по планированию использования прибрежных и морских ресурсов и ландшафтов
(Торонто, Канада)

Р. В. Салм,

научный сотрудник факультета биологии Университета им. Дж. Гопкинса
(Балтимор, США)

Мы хотим предложить читателям нашего журнала материалы по стратегии охраны морских млекопитающих, представленных на последней Генеральной ассамблее Международного союза охраны природы (Ашхабад, 1978 г.). Цикл исследований, выполненный под руководством профессора Дж. Карлетона Рея из Университета им. Дж. Гопкинса (США), посвященный разработке объективных методов определения так называемых критических местообитаний — тех мест, защита которых оказывается жизненно важной для сохранения того или иного вида животных, иллюстрирует новый подход на примере определения критических местообитаний для моржа в северной части Тихого океана. Дело, однако, не только в морже или даже в морских млекопитающих (численность тихоокеанского моржа, кстати, в результате совместного принимаемых СССР и США мер охраны возросла за последние десятилетия не менее чем в несколько раз), а в том, что этот подход открывает возможность научного определения положения заповедных территорий для всех без исключения мигрирующих видов животных. Таких видов среди млекопитающих, птиц, рептилий, рыб и даже беспозвоночных очень много. Недаром в 1979 г. несколько десятков государств заключили специальную Конвенцию об охране мигрирующих видов животных, известную как «Боннская конвенция» (подпись представителя СССР также стоит под этой конвенцией).

Профессор А. В. Яблоков,
председатель Секции охраны животного мира
Научного совета АН СССР «Биологические основы освоения,
реконструкции и охраны животного мира»,
член редколлегии журнала «Природа»

В сознании людей защита морских млекопитающих обычно связана с выделением участка, где обитает данный вид. Прежде чем охранять тот или иной вид животных в пределах выделенного участка, необходимо определить, какой именно

район имеет особое биологическое значение. С этой целью несколько лет назад Международный союз охраны природы и природных ресурсов (МСОП) разработал проект под названием «Критические места обитания морских животных».

Термин «критические места обитания» обычно применяют к последним оплотам вида, редко или находящегося под угрозой. Однако этот термин не обладает достаточной широтой, чтобы включать в

¹Сокращенный вариант статьи, опубликованной в журнале «Oseanus», 1978, v. 21, № 2, p. 55.

себя хотя бы мигрирующих морских млекопитающих или же тех животных, численность которых еще не достигла критического уровня. Например, в американском «Законе об угрожаемых видах» от 1973 г. среди основных его целей названо достижение «оптимальной устойчивой численности популяции» для всех видов морских животных. Однако неясно, как определить эту оптимальную численность. С другой стороны, оптимальная численность, очевидно, находится в полном противоречии с концепцией максимального устойчивого

районов, где отдельные особи данной популяции кормятся, размножаются, выращивают детенышей. Кроме того, мы также должны определить системы, которые жизненно необходимы для осуществления каждой из таких функций.

Более четырех лет назад Р. Салм собрал данные, относящиеся к 25 видам морских млекопитающих, встречающихся вдоль побережья США, и разработал схему, которая иллюстрирует концепцию критических мест обитания.

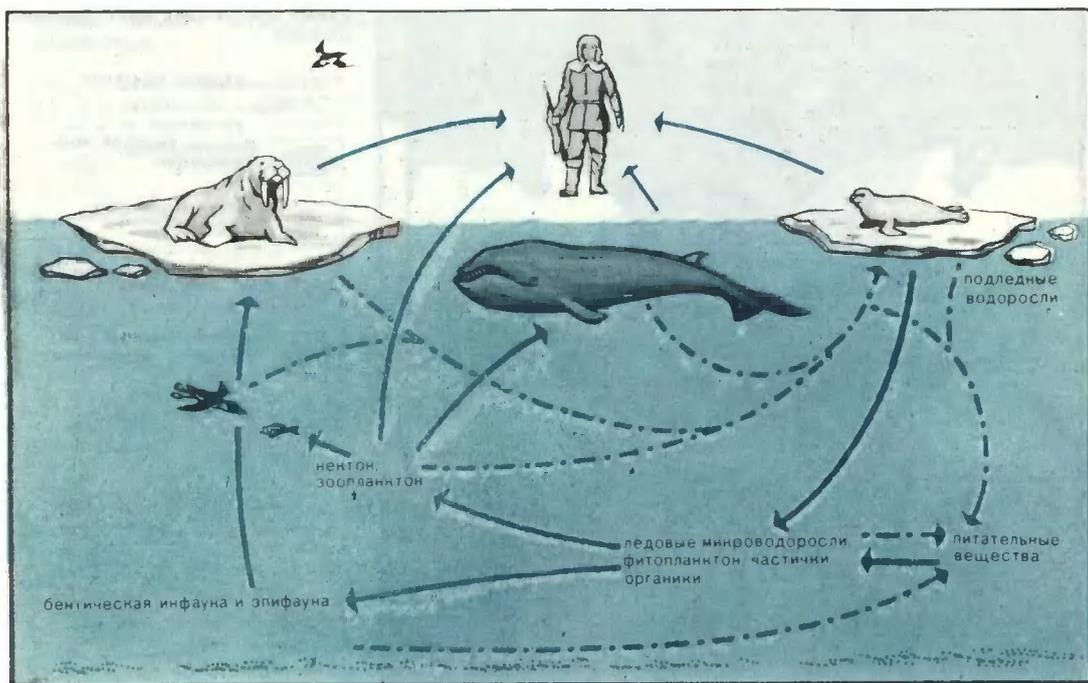
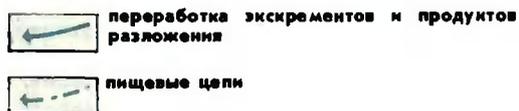


Схема пищевых связей морских животных, обитающих в Беринговом море.



улова, широко применяемой в рыболовстве. Первая из них имеет экологическую направленность, тогда как последняя предполагает сокращение численности нередко до такого уровня, который ставит вид в зависимость от колебаний условий природной среды.

Стратегия защиты мест обитания должна быть основана на знании всех

Однако эта первая попытка не вполне удалась. Примерно годом позже к нам присоединился Дж. Доббин, у которого уже был фактический материал, полученный в ходе морских исследований в Персидском заливе. Его система основывалась на методах, выработанных К. Стейнитцем и другими сотрудниками Гарвардского университета.

Параллели, которые обнаружались в них и в результатах наших исследований, были удивительными.

Для иллюстрации разработанной нами методики мы сосредоточим внимание на одном виде — на морже. Почему именно на морже? И хотя в этом выборе можно увидеть некоторую пристрастность (один из авторов Дж. К. Рей изучал моржей уже в течение примерно двух десятков лет),

истинные причины заключены совсем в другом.

Во-первых, Берингия, родина тихоокеанского моржа, включает в себя континентальные шельфы Чукотского и Берингова морей, т. е. один из величайших шельфовых районов в мире. Несмотря на то что эту область эксплуатируют веками, она до сих пор не была детально исследована. Мы решили, что, повторив и заново картировав в том же масштабе и в той же проекции все ранее проведенные наблюдения, мы сможем быстрее понять, что перед на-

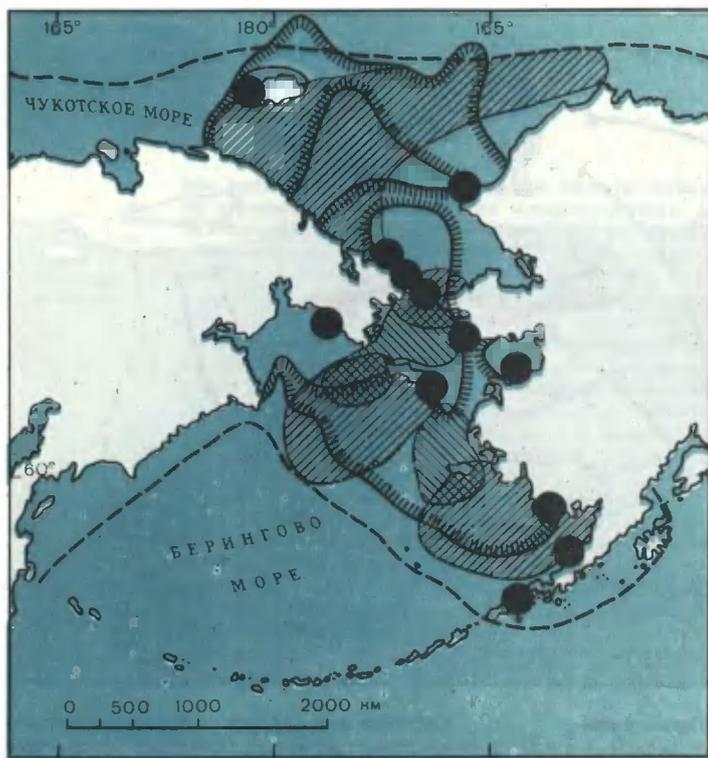


Схема критических мест обитания моржей.

-  границы обитания
-  районы высокой концентрации
-  места береговых лежищ
-  районы размножения
-  районы, бедные в пищевом отношении

ми нового и какие существуют пробелы в знаниях.

Во-вторых, система картирования зависит от уровня знаний; морж и его связи со средой изучены относительно хорошо по сравнению с большинством других морских млекопитающих.

В-третьих, моржи живут в постоянно изменяющейся среде, регулируемой морскими льдами. В настоящее время состояние льдов в основном оценивают при помощи искусственных спутников Земли. Значит для мониторинга условий обитания в региональном масштабе можно использовать новую технику.

В-четвертых, растущий устричный промысел, добыча нефти и других полезных ископаемых представляют большую угрозу моржам и всему сообществу этого региона.

В-пятых, любая успешно разработанная на материале моржей модель может оказаться полезной для реализации проекта «Морские млекопитающие» в рамках «Соглашения по охране природной среды», заключенного между США и СССР в 1972 г. Проблема состояния популяции моржей затрагивает как национальные, так и международные интересы, но на сравнительно

простой основе, так как только эти две страны обладают юрисдикцией над данным районом.

●
Где находятся решающие районы обитания моржей? Каким образом мы могли бы защитить их? Это — вопросы стратегии, которые, как мы надеемся, можно оперативно разрешить.

Для начала мы собрали комплект карт, содержащих сведения о глубинах, характере водных масс, зимних и летних течениях и ледовом покрове, прибрежных источниках питательных веществ и о морских осадочных породах района Берингии.

Затем мы сконцентрировали биологические показатели о распределении численности моржей, данные о привычках, присутствующих моржам при питании, и об их общественной структуре. Мы завели также «дело» о существующих и предполагаемых социально-экономических мероприятиях, в частности информацию о транспортной системе, рыболовстве, нефте- и газодобыче и о традиционном промысле местного коренного населения.

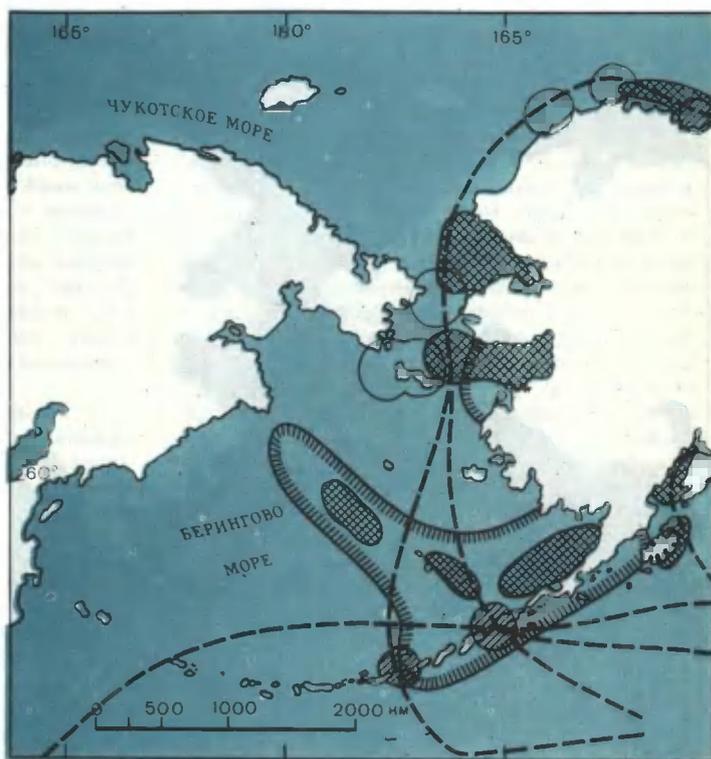
Наконец, последняя группа фактов касалась правовой стороны вопроса. Сюда

анализ данных с экологической, системной точки зрения. Например, каковы взаимодействия между физическими и биологическими факторами, или, иными словами, какова «уязвимость» животного в его природной среде обитания.

Для ответа на этот вопрос мы сперва определили участки, где моржи спариваются, выращивают детенышей, отдыхают, а также где проходят пути весенних и осенних миграций. Затем мы нанесли на карты районы с наименьшими запасами пищи, учитывая, что потребность в пище кормя-

Районы сильного антропогенного воздействия.

-  центры промысловой активности коренного населения
-  транспортные пути
-  районы рыболовства
-  акватории, перспективные на нефть и газ



включались сведения о 200-мильной экономической зоне (только небольшая часть Берингова моря является международными водами), о других вопросах юрисдикции в районах 3- и 12-мильной зон, а также предложениях по созданию парков и заповедников вдоль берегов Аляски, особенно в районах, которые влияют на воды Берингова моря или вклиниваются в них.

Сбор такой информации — дело довольно сложное. В качестве основного источника информации мы использовали многотомную «Программу энергетической оценки внешнего континентального шельфа Аляски». Но в ней практически отсутствует

щей самки моржа увеличивается вдвое. Всю информацию перенесли на прозрачные налагаемые друг на друга палетки, где различные сведения были показаны разными цветами.

Так были выявлены первые критические места обитания моржей. Они иллюстрируют не степень уязвимости этого вида, определенную на основе социально-экономической деятельности, а лишь уязвимость его в пределах естественного района обитания, определяемую по его биологическим функциям и запасам пищи. Эту модель можно уточнять, просто добавляя к полученной картине новые данные.

Определив районы высокой уязвимости моржа, мы сосредоточили свое внимание на тех многочисленных невыясненных вопросах океанографии, которые относятся к системам поддержки морской среды обитания. Для начала мы идентифицировали системы течений и береговые источники продуктов питания и снова, используя цветовую легенду, наложили эти данные на карту критических мест обитания, чтобы как-то оценить возможные взаимосвязи процессов.

На этой стадии мы ввели информа-

цию о социально-экономической деятельности, чтобы установить, где она в будущем может сосредоточиться. Каждый вид деятельности мы оценили с точки зрения его важности для жизни моржей.

Затем мы сопоставили эти районы с данными о юрисдикции, чтобы определить, кто отвечает за их охрану. Очевидно, что на всех уровнях можно было бы составить весьма длинный список таких учреждений. Например, если установлено, что система обитания моржа тесно связана с выносом рек, которые протекают в при-



Общая схема критических мест обитания, полученная в результате совмещения нескольких карт, учитывающих самые различные факторы. Схема указывает, что Берингов пролив и север центральной части Берингова моря — наиболее уязвимые места для популяции моржа.

-  районы максимальной угрозы
-  районы относительной угрозы

брежных районах Аляски, то в обязанности тех, кто несет ответственность за природные ресурсы побережья, входит контроль за качеством воды и поступлением питательных веществ в Берингово море.

Наша система предсказывает нахождение конкретных критических мест обитания моржа, которые могут оказаться в наиболее угрожаемых условиях под влиянием человека ныне или в ближайшем будущем.

Очевидно, что наиболее уязвимы места, где подрастает молодняк, вдоль южной кромки морских льдов (особенно к югу от о-ва Нунивак и юго-западнее

ныне повседневной заботой тех, кто руководит расположенными на суше парками и заповедниками (они в основном заняты проблемами сохранения наземных животных и туризмом), должно стать сохранение экосистемы в целом. В международном же аспекте необходимо заключить соглашение, охватывающее защиту всех живущих на льду морских млекопитающих и экосистему, частью которой

они являются. В настоящее время подобно-го соглашения не существует, хотя такая идея несколько раз выдвигалась. Еще более полезным было бы заключение соглашения, учреждающего региональное управление ресурсами. Начало могло бы быть положено путем картирования критических мест обитаний различных видов животных порознь, как мы это сделали с моржами, а затем интеграцией полученных результатов с тем, чтобы установить их связи.



Мы уже упоминали, что все данные в системе картирования были переведены на прозрачные цветные палетки. Они позволяли густотой цвета передавать количественные факторы. Например, в отношении биомассы бентоса наиболее темная окраска будет соответствовать районам с наименьшим количеством пищи. Реки могут обозначаться более темными и жирными линиями в зависимости от их стока и т. д. Таким образом, нашу модель можно считать порядково-количественной, так как она использует цветовые вариации для обозначения количества или же таких понятий, как «наибольшее», «среднее», «наименьшее».

Подчеркнем, что предлагаемая система дает основу стратегического планирования как на качественном, так и на количественном уровне. С ее помощью можно также установить систему обратной связи. Приведем пример. Увеличение промысла моллюсков в Беринговом море угрожает состоянию популяции моржей, так как моллюски составляют основу их питания. Встает вопрос: как нужно развивать промысел моллюсков, чтобы не нарушить оптимальной численности моржей? Для решения этой проблемы необходимо знать критические места обитания моржей.

Тем самым решение проблемы «моллюски — моржи» переплетено не только с такими факторами, как биомасса, продуктивность, численность популяции, экология бентоса, но также и с вопросами юрисдикции. В этой связи система налагаемых друг на друга карто-схем становится однозначным способом выявления взаимосвязей, существующих между экологическими, географическими и антропогенными факторами.

Несомненно, критические места обитания в открытом море будет нелегко использовать в качестве «убежища».

В чем ключ к защите среды обитания морских млекопитающих? Не в том, чтобы защищать критические места обита-

ния в старом смысле — выделить особые незатрагиваемые участки (в данном случае промыслом), а в необходимости экосистемного подхода к местам обитания и к поддерживающим их системам. Именно на это нужно направить усилия в области охраны морских млекопитающих. Всеобщая озабоченность прямым уничтожением животных также не решает дела. Совсем необязательно непосредственно убивать животных. Нарушать их среду обитания — как мы нарушаем свою собственную — куда более эффективный способ их уничтожения. Экологический подход к защите мест обитания морских животных требует соединения множества факторов и совместной групповой работы представителей самых различных дисциплин и ведомств.

Создавать убежища в определенных пунктах вдоль побережий и в океане без учета факторов, вызывающих изменения, и без учета комплексных проблем столь же нелогично в экологическом смысле, как и следовать нынешним морским законам об «разграничительных линиях». Например, Международная комиссия по китобойному промыслу устанавливала защищаемую область в Южном океане. Комиссия тем самым защищала китов во время их кратких посещений определенного района. Настоящее же решение проблемы состоит в том, чтобы сохранить область обитания каждой популяции в течение круглого года. Аналогично этому предлагаемые убежища для серого кита у берегов Мексики и для кита-горбача — на Гавайских о-вах могут защитить этих животных лишь в течение коротких отрезков времени. А что произойдет со всей областью обитания в течение целого года?

Нам пора отказаться от представления о критической области обитания как об особом месте, «отложенном в сторонку». Место распространения моржей — льды и открытое море — подвижный район; он перемещается вместе с господствующими местными ветрами в северной части Тихого океана и в южной части Арктики. Районы выведения детенышей и районы зимовки могут от года к году сильно изменяться.

Интегрированный, динамический подход к процессам в океане куда более приемлем, чем узкодисциплинарное исследование. Долгосрочное решение проблемы критических мест обитания лежит именно в пределах экосистемного подхода. Подход такого рода может быть также ключом и к вопросу сохранения критических мест обитания самого человека.

Космические исследования

Космический полет советско-румынского экипажа

14 мая 1981 г. в 21 ч 17 мин по московскому времени в Советском Союзе был осуществлен запуск транспортного космического корабля «Союз-40», пилотируемого международным экипажем в составе командира корабля летчика-космонавта СССР Л. И. Попова и космонавта-исследователя гражданина СРР Д. Прунаруи.

15 мая в 22 ч 50 мин «Союз-40» состыковался с научно-исследовательским орбитальным комплексом «Салют-6» — «Союз Т-4»; после проверки герметичности стыковочного узла Попов и Прунаруи перешли в помещение станции, где их встретил основной экипаж «Салюта-6» — космонавты В. В. Коваленок и В. П. Савиных.

Программа работ международного экипажа предусматривала проведение в течение 7 дней медико-биологических исследований, экспериментов в области космического материаловедения и экспериментов в целях изучения физических свойств космического пространства. Эти эксперименты были подготовлены совместно специалистами СССР и СРР. Космонавты продолжили также исследования, начатые в полетах предыдущих международных экипажей с использованием научной аппаратуры, созданной учеными социалистических стран — участниц программы «Интеркосмос» и ранее доставленной на орбитальную станцию «Салют-6».

Советско-румынский экипаж выполнил научную программу, выключавшую 18 экспериментов. Наиболее обширным



Командир корабля «Союз-40» летчик-космонавт СССР Л. И. Попов (справа) и космонавт-исследователь, гражданин СРР Д. Прунаруи. Фото ТАСС.

был комплекс медико-биологических исследований, состоящий из 11 экспериментов, в которых было продолжено изучение периода адаптации к невесомости и воздействия на организм человека различных факторов космического полета.

В этих экспериментах изучалась эффективность использования пережимных манжет для депонирования крови в нижних конечностях, что уменьшает кровенаполнение головы и сократительный объем сердца, улучшает венозный отток из полости черепа и снимает неблагоприятную субъективную симптоматику в острый период адаптации (эксперимент «Пневматик»), реографическое исследование состояния мозгового, центрального и периферического

го кровообращения как в условиях покоя, так и во время функциональных нагрузок (эксперимент «Рео»), проведение специального тестирования с целью выявить индивидуальную динамику процессов и функций, определяющих умственную работоспособность человека в космическом полете (эксперимент «Информация»).

Одним из наиболее существенных эффектов при воздействии невесомости на организм человека является перераспределение крови в верхнюю половину тела. Это ведет к усилению работы правых отделов сердца вследствие усиленного притока крови в легочные сосуды. Возникающий дисбаланс между деятельностью левых и правых отделов сердца постепенно уменьшается или полностью сглаживается по мере адаптации организма к условиям невесомости. Для выяснения степени возникающего в острый период адаптации к невесомости гемодинамического дисбаланса и быстроты его уменьшения космонавты провели эксперимент «Баллисто». Они также повторно выполнили эксперименты «Оператор», «Опрос», «Работоспособность», «Досуг», «Интерферон», «Нептун», «Воротник» и другие.

Большой интерес представляет эксперимент «Астро» по изучению частиц космического излучения в околоземном пространстве методом диэлектрических детекторов. Румынские специалисты создали два прибора, в которых для регистрации частиц применен чувствительный материал — нитрат целлюлозы. Один прибор был установлен в шлюзовой камере и таким образом экспонировался в открытом космосе; он позволял регистрировать ядра с энергиями 5—10 МэВ. Второй прибор располагался внутри станции; в нем использовался блок детекторов, состоящий из четырех неподвижных и одного подвижного детектора, синусоидальное движение

¹ Это последний корабль серии «Союз»; в дальнейшем будут использоваться космические корабли серии «Союз Т».

которого синхронизировано с перемещением станции по широте. Это позволяет осуществить привязку регистрируемых потоков космических частиц к географической широте.

Таким образом, в эксперименте «Астро» был осуществлен поиск и идентификация новых форм существования ядерной материи: неполностью ионизированных атомов в космических лучах или ядер с большим числом нейтронов.

В эксперименте «Нановесы» изучалось воздействие космической среды на материалы, находящиеся в открытом космосе. Для исследований была выбрана тонкая пленка двуокиси кремния — материала, широко применяемого в космосе (в частности, защитные слои двуокиси кремния покрывают поверхности активных оптических элементов, например, солнечных батарей). Слой двуокиси кремния отличается особой химической прочностью и стойкостью к воздействию космической среды (излучению, вакууму и т. д.). Кроме того, он прозрачен в очень широком спектральном диапазоне. Один из основных процессов, действующих на материалы в открытом космосе, — так называемое сухое испарение, или сублимация, при которой масса исследуемого материала постепенно уменьшается. Измерить то уменьшение массы (весьма незначительное) и должны были космонавты в ходе эксперимента «Нановесы». Был выбран остроумный косвенный способ измерения: тонкая пленка двуокиси кремния наносилась на поверхность кварцевого резонатора, включенного в специальную измерительную электрическую схему. Так как частота резонансных колебаний зависит от толщины пленки, то, измеряя частоту колебаний, можно определить изменение толщины пленки и, соответственно, ее массы в ходе эксперимента.

На советских электронагревательных установках «Сплав» и «Кристалл» был выполнен технологический эксперимент «Капилляр» с целью разработки технологии получения в космосе монокристаллов заданного профиля с помощью капиллярных сил. Впервые в

истории космического материаловедения проводилось изучение влияния сил поверхностного натяжения на равномерность распределения примесей по всей длине расплава в плоскости капилляра. В капсулу с исходным материалом вставлялась матрица с продольным капиллярным разрезом (сечением 1—2 мм). Расплавленный материал проникал в капиллярную полость и под воздействием сил поверхностного натяжения поднимался по капилляру. В земных условиях высота подъема обратно пропорциональна ускорению силы тяжести. Если высота самого капилляра над расплавом выбирается меньше, чем высота, на которую может под действием сил поверхностного натяжения подняться расплавленный материал, то он заполняет капилляр целиком и его небольшое избыточное количество распространяется по верхней поверхности матрицы. Затем с помощью затравки вызывается кристаллизация расплавленного материала в плоскости капилляра, и в итоге получается монокристалл, профиль которого воспроизводит внутреннюю поверхность матрицы.

При выращивании кристаллов с примесями (в случае, например, полупроводников) очень важно, чтобы примесь была равномерно распределена по всему кристаллу. На равномерность распределения примесей влияет гравитация. При применении вышеописанного метода даже в земных условиях распределение примесей в кристалле улучшается вследствие капиллярного эффекта. В условиях же значительного уменьшения гравитационного ускорения (остаточная гравитация на борту станции «Салют-6» составляет одну миллионную от гравитации на поверхности Земли) специалисты ожидают, что высота подъема расплава в капилляре значительно увеличится и существенно улучшится распределение примесей, а также повысится однородность питания через капилляр; это позволит получить кристаллы с однородными свойствами. В эксперименте «Капилляр» капиллярный эффект изучался на примере чистого германия и германия,

легированного галлием, в молибденовой матрице.

22 мая 1981 г. после выполнения программы исследований полет советско-румынского экипажа был завершен: в 17 ч 58 мин по московскому времени спускаемый аппарат корабля «Союз-40» с космонавтами Л. И. Поповым и Д. Прунариу совершил мягкую посадку в 225 км юго-восточнее Джезказгана.

Закончился важный этап в развитии программы «Интеркосмос». В течение трех лет — с марта 1978 г. по май 1981 г. — на советских космических кораблях «Союз» и орбитальной станции «Салют-6» совершили полеты девять международных экипажей; в их состав вместе с советскими космонавтами вошли представители всех братских социалистических стран — участник программы «Интеркосмос».

С. А. Никитин
Москва

Космические исследования

Завершена пятая основная экспедиция на «Салют-6»

В апреле — мае 1981 г. космонавты В. В. Коваленок и В. П. Савиных продолжили исследования, начатые ими в предыдущем месяце на борту орбитальной станции «Салют-6».

Изучалось влияние факторов космического полета на организм человека и развитие высших растений. Космонавты ухаживали за растениями, культивируемыми в космических оранжереях «Оазис», «Вазон», «Малахит», «Светоблок», поддерживали необходимые условия в них, регистрировали рост и развитие гороха, лука, орхидей, арабидопсиса. На установке «Магнитогравитат» исследовалось влияние неоднородного магнитного поля на ориентацию проростков креписа.

Систематически проводились медицинские обследования членов экипажа с помощью многофункциональной клинической аппаратуры «Полином-2М» и приборов «Реограф» и «Бета». В частности, исследовались сер-

дечно-сосудистые системы космонавтов, выполнялись антропометрические измерения, изучалась реакция системы кровообращения на дозированную физическую нагрузку. Был проведен также медико-биологический эксперимент по изучению динамики газового состава атмосферы в помещении станции.

Большое место в работе экипажа отводилось визуальным и инструментальным наблюдениям и фотосъемкам в соответствии с обширной программой исследования природных ресурсов Земли и изучения окружающей среды. Был продолжен сбор информации о минерально-сырьевых ресурсах Земли, об акватории Мирового океана с целью изучения его биологической продуктивности, рыболовства и условий мореплавания, о метеорологической обстановке в различных районах планеты; проводилась оценка пылевых и дымовых загрязнений атмосферы и состояния природной среды в крупных промышленных районах и городах. Используя фотоаппаратуру МКФ-6М, КАТЭ-140 и спектрометр «Спектр-15», космонавты провели фотосъемки отдельных районов Атлантического океана, Аральского и Каспийского морей, Казахстана и республик Средней Азии, юга Сибири, а также территории Монгольской Народной Республики.

На электроннагревательной установке «Сплав» были проведены эксперименты по выращиванию в условиях слабой гравитации монокристаллов полупроводниковых материалов кадмий — ртуть — теллур, арсенид и антимонида галлия, соединений галлий — висмут и германий — кремний, а также кристаллов металлических соединений свинец — цинк и висмут — сурьма. Был проведен эксперимент с целью получения нескольких образцов оптических материалов.

В эксперименте «Структура» с помощью технологической установки «Пион» исследовались процессы теплообмена и массопереноса при выращивании кристаллов из водных растворов. На установке «Лотос» отрабатывалась технология получения в условиях невесомости

элементов конструкций из пенополиуретана.

С помощью аппаратуры «Испаритель» была проведена серия экспериментов по нанесению металлических покрытий методом испарения и последующей конденсации в условиях космического вакуума и невесомости. Медь и серебро напылялись на образцы из титана; измерялась температура напыляемого образца для уточнения режимов проведения экспериментов. Работы выполнялись, когда орбитальный комплекс находился как на теневой, так и на освещенной Солнцем частях орбиты, и температура напыляемых образцов была различной. Цель подобных экспериментов — отработать технологию восстановления покрытий наружных элементов космических аппаратов в полете и создать установки для выполнения этих операций.

Космонавты использовали в своей научной работе субмиллиметровый телескоп БСТ-1М и малогабаритный гамма-телескоп «Елена». Экипаж выполнил калибровку телескопа БСТ-1М и измерения субмиллиметрового излучения земной атмосферы. Эти исследования позволят получить более полную информацию о строении земной атмосферы, а также уточнить методы прогнозирования физических процессов, происходящих в ней. Работа телескопа в субмиллиметровом диапазоне осуществлялась с использованием криогенной системы замкнутого цикла для охлаждения приемников излучения до температуры минус 269°С. С помощью гамма-телескопа «Елена» была выполнена серия измерений потоков гамма-излучения и заряженных частиц в околоземном пространстве.

С 16 по 22 мая космонавты В. В. Коваленок и В. П. Савиных работали вместе с членами советско-румынского экипажа — Л. И. Поповым и Д. Прунариу.

26 мая 1981 г. после успешного выполнения программы 75-суточный космический полет был завершен: спускаемый аппарат корабля «Союз Т-4» в 16 ч 38 мин по московскому времени с космонавтами В. В. Коваленком и В. П. Савиных

совершил посадку в 125 км восточнее Джекказгана.

Длительное функционирование научной станции «Салют-6», выведенной на орбиту 29 сентября 1977 г., — выдающееся достижение отечественной космической науки и техники, важный этап на пути создания постоянно действующих пилотируемых научно-исследовательских комплексов. На борту станции работало пять основных экспедиций длительностью 96, 140, 175, 185 и 75 суток и одиннадцать кратковременных экспедиций, в том числе восемь международных по программе «Интеркосмос». Время функционирования станции в пилотируемом режиме составило 676 суток. В совместных полетах со станцией успешно проведены испытания усовершенствованного транспортного корабля «Союз Т». Полностью оправдала себя эффективная система материально-технического снабжения пилотируемых комплексов с использованием автоматических грузовых кораблей «Прогресс», доставивших на станцию свыше 22 т различных грузов. Это обеспечило продолжительную работу экспедиций, позволило существенно пополнить состав научной аппаратуры и расширить программу исследований, провести комплекс ремонтно-профилактических мероприятий, значительно удлинивших срок функционирования станции на околоземной орбите.

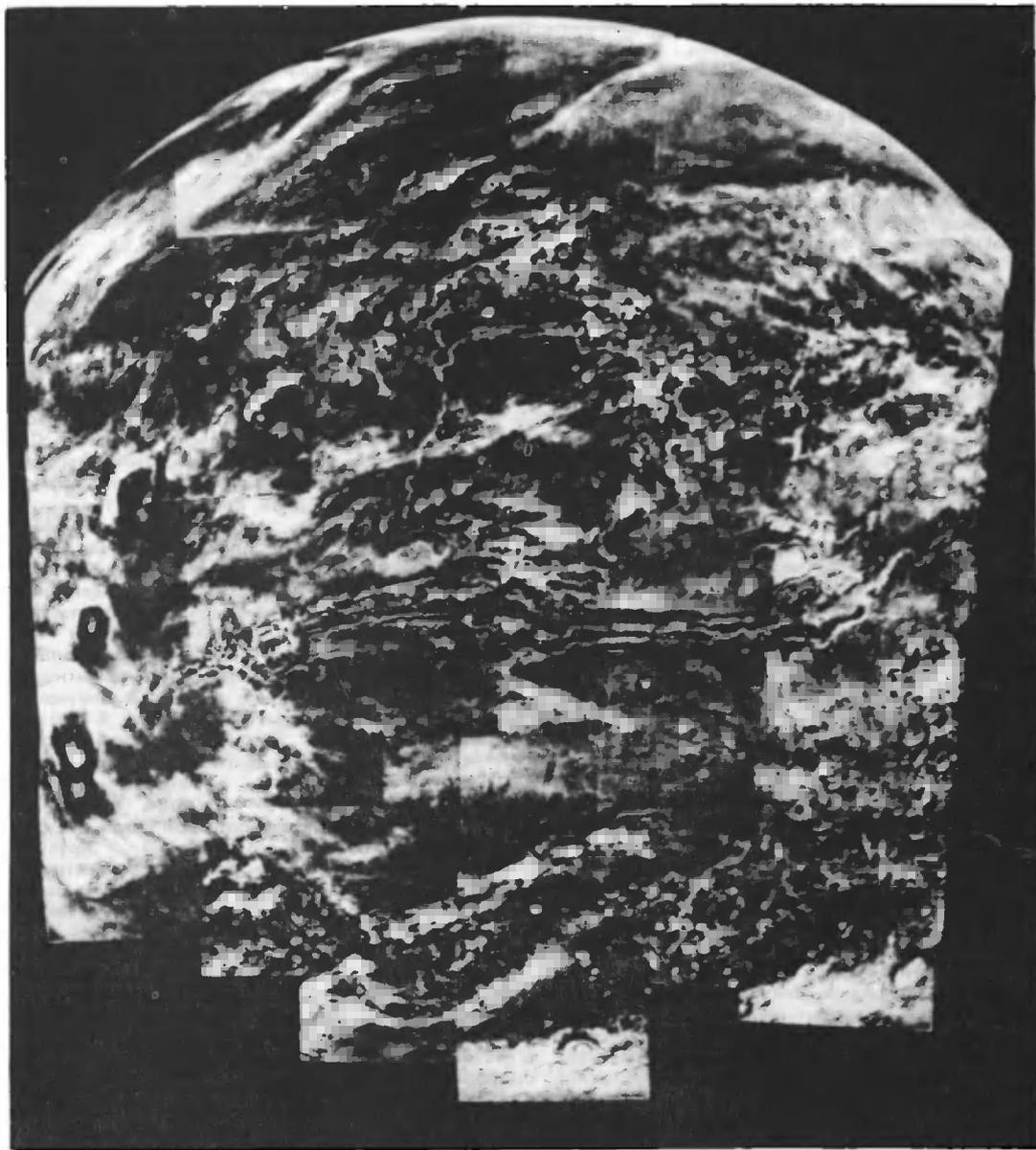
С. А. Никитин

Москва

Космические исследования

Завершена работа «Викингов»

7 августа 1980 г. закончилась четырехлетняя работа орбитального блока «Викинга-1». По команде с Земли был отключен его радиопередатчик, так как газ из системы ориентации, направляющей антенну на Землю, оказался полностью израсходованным. По той же причине 24 июля 1978 г. прекратил работу орбитальный блок «Викинга-2».



Одно из глобальных изображений Марса, полученное «Викингом-1». В центре снимка видны долины Маринер — система гигантских каньонов, протянувшаяся вблизи экватора. Три темных пятна у левого края снимка — крупнейшие вулканы на возвышенности Фарсида.

Чтобы предотвратить загрязнение планеты земными микроорганизмами, оба спутника будут вращаться вокруг Марса еще около 20 лет. Посадочный блок «Викинга-2», находившийся на равнине Утопия, был отключен 1 февраля 1980 г. в связи с истощением источников электроэнергии. Таким образом, только посадочный блок «Викинга-1»

на равнине Хриса продолжает работу. Он запрограммирован для сбора метеорологических данных (давление и температура воздуха, скорость и направление ветра) до конца 1994 г. Один раз в неделю на Землю передается панорамное изображение местности и накопленная за этот же период информация о погоде.

Космические исследования

Орбитальные блоки «Викинг-1 и -2» передали на Землю более 52 000 снимков марсианской поверхности. С июля по октябрь 1979 г. «Викинг-1» были получены снимки высокого разрешения района древней материковой местности протяженностью 5000 км и шириной 300 км, расположенной между равнинами Большой Сирт и Хриса. Качество этих снимков гораздо лучше, чем у полученных в начальной стадии работы в 1976 г. Это связано с прояснением атмосферы Марса после глобальной пылевой бури. С ноября 1979 г. были получены снимки среднего разрешения для различных областей планеты, не охваченных ранее удовлетворительной съемкой. Это позволило составить новую серию карт Марса масштаба 1:5 000 000. Были получены также снимки низкого разрешения для наблюдения измерений сезонных полярных шапок и облачных образований. Особый интерес представляют глобальные изображения планеты, сделанные в феврале и повторно в апреле 1980 г. Каждое из них состоит из трех мозаик снимков, полученных с направлений, различающихся на 120°. В мае 1980 г. «Викинг-1» вновь начал проводить съемку с высоким разрешением. Были сфотографированы участки к западу от возвышенности Фарсида, включая районы борозд Мемниония и долин Мангала, Аль-Кахира, Маадим. Обнаружены новые, не встречающиеся в более крупном масштабе формы рельефа, свидетельствующие о сложной геологической истории Марса.

В течение двух полных марсианских лет с орбиты проводились измерения температуры и яркости поверхности планеты, определялось содержание водяного пара в атмосфере и его сезонные изменения. Хотя полет «Викингов» и не дал определенного ответа на главный вопрос — о жизни на Марсе, он принес много новых сведений по метеорологии, геологии и геохимии планеты, позволив впервые увидеть поверхность Марса в непосредственной близости.

Новая программа спутника «Пионер-Венера-1»

В декабре 1980 г. «Пионер-Венера-1»¹ закончил продолжавшуюся два года съемку поверхности Венеры. Закартировано 93% поверхности, выделены основные черты строения рельефа, получено более 1000 изображений облачного слоя планеты в ультрафиолетовой области спектра.

В течение двух лет было проведено около 100 коррекций орбиты спутника, чтобы удерживать ее в постоянном положении относительно планеты — под углом 74° к плоскости экватора Венеры. С декабря 1980 г. «Пионер-Венера-1» переведен на орбиту с наклоном 17° и будет двигаться по ней без каких-либо коррекций, «плавающая» под воздействием солнечного ветра и гравитационных полей Венеры и Солнца. Суммарное действие этих факторов приведет к тому, что к 1986 г. орбита спутника постепенно сместится в плоскость экватора планеты, а минимальное удаление от Венеры увеличится со 150 до 2200 км. С 1986 по 1992 г. наклон орбиты спутника постепенно увеличится до 17°, однако точка минимального сближения с планетой уже будет располагаться не в Северном, как в 1980 г., а в Южном полушарии.

Измерения во время «плавания» спутника дадут возможность детально изучить особенности взаимодействия планеты с солнечным ветром, причем, если спутник проработает до 1992 г., будет прослежено изменение этого взаимодействия на протяжении всего 11-летнего цикла солнечной активности. По-видимому, уменьшение солнечной активности, максимум которой приходится на 1981 г., внесет значительные изменения в свойства верхней атмосферы Венеры. Наблюдения за характером изменения орбиты спутника помогут выявить аномалии гравитационного

поля Венеры и составить карту их распределения по поверхности планеты. По телеснимкам будут изучаться долгопериодические изменения в циркуляции атмосферы Венеры.

Lunar and planetary information bulletin, 1980, № 25, p. 8 (США).

Физика

Удержание плазмы амби-полярными ловушками

В 1976 г. Г. И. Димов (Институт ядерной физики СО АН СССР) предложил использовать для удержания термоядерной плазмы электрические поля, автоматически возникающие в плазме при неравных скоростях диффузии электронов и ионов¹. Устройство, названное Димовым амбиполярной ловушкой, представляет собой три последовательно соединенных ячейки — ловушки с магнитными пробками, в которых плотность плазмы неодинакова. В торевых ловушках быстрые ионы удерживаются магнитными пробками в течение времени, равного времени рассеяния ионов на большой угол в результате столкновений друг с другом. Так как электроны рассеиваются значительно быстрее, чем ионы, они должны первыми покинуть ловушку. Однако скорости ухода ионов и электронов выравниваются (говорят, что уход частиц становится амбиполярным) за счет возникновения положительного потенциала плазмы относительно торцов вакуумной камеры. Таким образом, электроны, не чувствуя магнитных пробок, удерживаются лишь пространственным зарядом ионов. При этом электроны являются общими для всех трех ячеек амбиполярной ловушки.

Перераспределение электронов между Центральной и крайними ячейками в соответствии с плотностями ионов в них

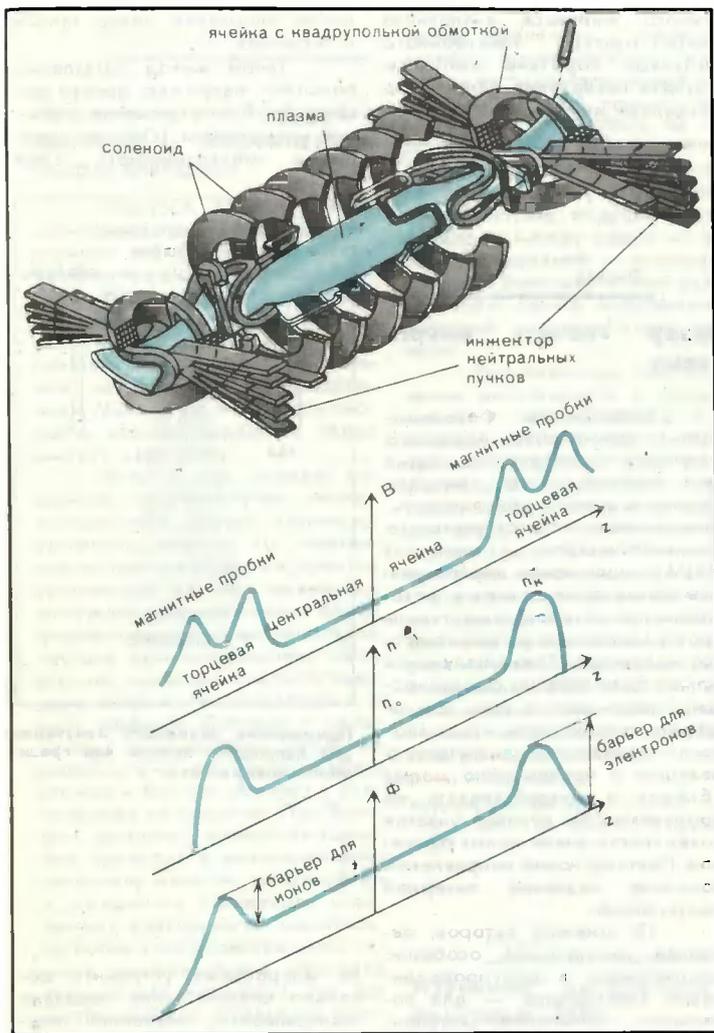


Схема амбиоплярной ловушки.

Распределение величины магнитного поля $[B]$, плотности частиц $[n]$ и потенциала $[\Phi]$ по оси Z амбиоплярной ловушки.

обеспечивается возникающим внутри плазмы электрическим полем: разность потенциалов между центральной и крайними ячейками пропорциональна температуре электронов и логарифму отношения плотностей

частиц в этих ячейках. Если за счет инъекции быстрых нейтральных атомов в крайних ячейках плотность будет выше, чем в центральной, то возникающий амбиоплярный потенциал будет выталкивать электроны из центральной ячейки и удерживать в ней ионы, которые теперь будут находиться в ней до тех пор, пока в результате столкновений не наберут энергию, достаточную для преодоления электростатического барьера. Это время значительно больше, чем время рассеяния на большой угол. Более того, если торцевые

ячейки сделать максимально короткими, а центральную — достаточно длинной, то улучшение удержания ионов в центральной ячейке с избытком перекроет затраты энергии на поддержание увеличенной плотности в крайних ячейках. В результате общий энергетический баланс амбиоплярной ловушки оказывается примерно на порядок лучше, чем у простой ловушки с магнитными пробками. В 1979 г. на установке «Гамма-6» (Япония) было получено требуемое распределение амбиоплярного потенциала. Недавно на установке «ТМХ» (Tandem Mirror Experiment) в Ливермор, США, получены первые доказательства улучшенного удержания ионов в амбиоплярной ловушке.

Центральная ячейка представляет собой длинный соленоид с относительно слабым магнитным полем 0,1–0,2 Т. Торцевые ячейки с полем в пробках до 2 Т имеют специальные квадрупольные обмотки, обеспечивающие МГД-устойчивость плазмы. Инжекция потока быстрых атомов водорода со средней энергией 13 кэВ и интенсивностью до 200 эквивалентных (по числу частиц) ампер в каждую торцевую ловушку создает в них плазму плотностью $2 \cdot 10^{13}$ ионов/см³ с температурой ионов 10 кэВ и температурой электронов 260 эВ. В центральной ячейке плазма возникает в результате ионизации электронами нейтрального водорода. Плотность плазмы в центральной ячейке меняется путем изменения скорости поступления газа от 1/2 до 1/7 плотности в крайних ячейках. Время удержания ионов в центральной ловушке росло с увеличением отношения плотностей в крайних и центральной ловушке и при величине этого отношения, равной 3, была в 9 раз лучше, чем в аналогичных условиях в ловушке с пробками без торцевых ячеек. При дальнейшем уменьшении плотности в центральной ловушке удержание плазмы ухудшалось, так как в крайних ловушках возникали сильные электростатические колебания на циклотронной частоте ионов.

Физика

Получение пучка фотонов высоких энергий

Для многих прикладных задач физики твердого тела, например литографии, необходимы интенсивные потоки монохроматического электромагнитного излучения в рентгеновском и гамма-диапазонах. Кроме того, в ряде фундаментальных исследований, например при изучении фотоядерных реакций вблизи и выше так называемых гигантских коллективных резонансов, требуются фотонные пучки с энергией от единиц до сотен мегаэлектронвольт.

С этой целью в Национальной лаборатории Фраскатти (Италия) на электронном накопительном кольце с максимальной энергией 1,5 ГэВ проведен эксперимент по обратному комптоновскому рассеянию лазерного света ($\lambda = 5145 \text{ \AA}$). Ток электронов в накопительном кольце достигал 100 мкА. Энергия лазерного пучка в импульсе составила $3 \cdot 10^{-7}$ Дж (или $20 \text{ Вт} \times 15 \text{ нс}$).

В результате был получен пучок фотонов, энергию которого можно было непрерывно изменять от 5 до 78 МэВ (длина волны излучения $2,42 \cdot 10^{-11}$ — $1,55 \cdot 10^{-12}$ см), изменяя энергию электронов в диапазоне от 0,37 ГэВ до 1,5 ГэВ. Интенсивность пучка составляла 10^4 — 10^5 фотонов/с (что приблизительно соответствует $1,3 \cdot 10^{-6}$ Вт) в зависимости от энергии электронов, электронного тока, мощности лазера и диапазона энергий фотонов в пучке. Полученная интенсивность фотонного пучка достаточна для проведения фотоядерных исследований. Кроме того, достигнута почти полная линейная поляризация пучка ($\sim 0,99 \pm 0,02$); фон от фотонов других энергий очень низок. Временная микроструктура фо-

тонного импульса аналогична микроструктуре электронного импульса: короткие импульсы порядка нескольких наносекунд разделены интервалом в 117 нс.

Nuovo cimento, 1981, v. 59B, № 2, p. 247—256 (Италия).

Физика

Лазер «лечит» микросхему

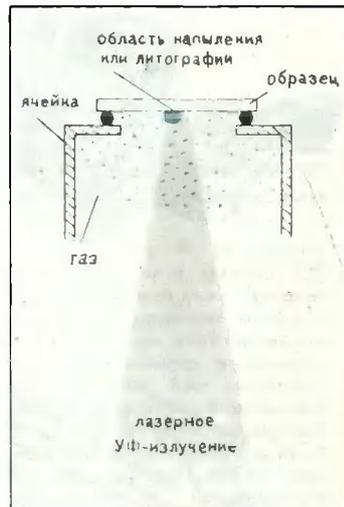
Большинство фотохимических применений лазерного излучения основано на таких его свойствах, как высокая мощность и монохроматичность. Специалисты Массачусетского технологического института (США) нашли новое перспективное применение лазера в фотохимии, при котором существенна пространственная когерентность его излучения. Такое излучение может быть хорошо сфокусировано, например, в газе вблизи твердой поверхности, что позволяет проводить химическую реакцию в чрезвычайно малых объемах и воздействовать ее продуктами на нужный участок поверхности очень малых размеров. Поэтому новое направление получило название лазерной микрохимии.

По мнению авторов, лазерная микрохимия особенно перспективна в полупроводниковой электронике — для локального напыления металлических пленок на поверхность полупроводников или изоляторов, для фотолитографии.

Металлические пленки получают следующим образом. Над твердой поверхностью проводится лазерный ультрафиолетовый фотолит (диссоциация) молекулярного соединения, содержащего атом нужного металла. Металлические атомы диффундируют к поверхности, которую часто локально нагревают излучением другого, более мощного лазера, и осаждаются на ней. Минимальный достигнутый линейный размер напыленной пленки составляет 1 мкм; скорость напыления при плотности мощности лазерного излучения 10^4 Вт/см² превышает 0,1 мкм/с. Уже получены пленки

олова, алюминия, цинка, галлия и германия.

Такой метод напыления помогает, например, просто решить проблему ремонта сложной микросхемы. (Обычно нарушение металлического слоя



Применение лазерного излучения для напыления пленок или гравировки поверхности.

на микросхеме устранить довольно сложно.) Как показали эксперименты, «лечение» микросхемы лазерно-фотохимическим методом дает хорошие результаты.

Другой пример применения нового метода — лазерная фотолитография. Над поверхностью полупроводника с помощью лазерного излучения осуществляют локальный фотолит какого-либо галондсодержащего соединения, например $\text{C}_2\text{H}_5\text{Br}$. Поскольку атомы брома химически очень активны, то происходит травление поверхности полупроводника. В результате можно получать сложные полупроводниковые структуры с пространственным разрешением 1-2 мкм.

IEEE Journal of Quantum Electronics, 1980, v. QE — 16 № 11, p. 1233 (США).

¹ Эффект Комптона — упругое рассеяние электромагнитного излучения на свободных электронах. Наибольшее изменение длины волны излучения происходит при обратном рассеянии, т. е. при рассеянии на 180°.

Физика

Компенсация эффекта Доплера и направленное сверхизлучение

Известно, что спонтанное излучение газа возбужденных атомов в обычных условиях изотропно и в силу эффекта Доплера имеет большой разброс наблюдаемых частот (так называемую доплеровскую ширину спектральной линии). Форма линии описывается распределением Максвелла, в котором скорость атомов выражена через частоту излучения.

Если в газе создать инверсию населенностей между какими-либо двумя атомными уровнями энергии, то спонтанное излучение будет когерентно усиливаться за счет механизма вынужденного излучения. Коэффициент усиления на некоторой частоте пропорционален числу атомов, имеющих соответствующую скорость и находящихся в силу эффекта Доплера в резонансе с этой частотой. Усиление максимально для неподвижных атомов и быстро убывает с увеличением их скорости. При больших начальных инверсиях усиление приводит к возникновению сверхизлучения — многократно и когерентно усиленного спонтанного излучения со значительно более узкой спектральной линией, нежели линия обычного спонтанного излучения. Так как распределение Максвелла изотропно, изотропен и коэффициент усиления спонтанного излучения, а следовательно, изотропно и сверхизлучение.

Однако, как показали специалисты из Массачусетского технологического института (США), можно создавать направленное сверхизлучение, искусственно вызывая анизотропию коэффициента усиления путем компенсации эффекта Доплера для группы атомов, движущихся в одном направлении, и наоборот усиления эффекта Доплера для атомов с противоположно направленными скоростями. Это достигается путем сдвига одного из атомных уровней, участвующих в сверхизлучении, как раз настолько, чтобы изменение частоты атомного перехода (для неподвижного

атома) равнялось с обратным знаком доплеровскому изменению частоты излучаемой этим атомом световой волны. Такой сдвиг можно получить за счет радиационного взаимодействия атомов с сильным монохроматическим полем, возбуждающим быстрые индуцированные переходы между одним из двух рабочих уровней и некоторым третьим. Величина и знак радиационного сдвига определяются частотой и амплитудой этого поля.

Направленное сверхизлучение наблюдалось в экспериментах с парами натрия. В качестве рабочих были взяты уровни $3D_{3/2,5/2}$ и $3P_{3/2}$; компенсирующее излучение связывало нижний $3P_{3/2}$ -уровень с дублетом $4D_{5/2,3/2}$. Инверсия населенностей между $3D$ - и $3P$ -состояниями и компенсирующее излучение создавались двумя лазерами на красителях, приводимых в действие одним и тем же лазером на алюмоиттриевом гранате с неодимом, работавшим в режиме переменной добротности. Точная настройка этого излучения обеспечивалась компьютером.

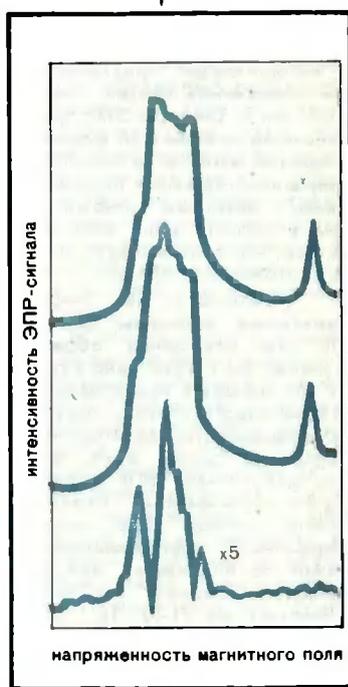
Physical Review Letters, 1980, v. 45, № 15, p. 1242—1245 (США).

Физика

Изучение дислокации с помощью ЭПР

В. В. Кведер и Ю. А. Осипьян (Институт физики твердого тела АН СССР), исследуя спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) от дислокаций в пластически деформированных монокристаллах кремния, обнаружили, что число парамагнитных центров в изучаемых образцах заметно увеличивается при освещении монохроматическим светом. При больших интенсивностях света наблюдается насыщение эффекта.

Дислокации — линейные дефекты кристаллической решетки, нарушающие правильное чередование атомных плоскостей. Образование дислокаций (например, в результате пластической деформации образца)



Спектры электронного парамагнитного резонанса (ЭПР) от дислокаций в кремнии до (вверху) и после освещения (в центре). Разность этих спектров при пятикратном увеличении по вертикали дана на нижнем графике. Справа видна линия эталона.

приводит к разрыву межатомных связей, в результате в кристалле появляются парамагнитные центры, число которых соответствует числу оборванных связей. Введение в образец дислокаций искажает зонную структуру полупроводников: в запрещенной зоне появляются новые электронные уровни.

В экспериментах использовались монокристаллы кремния размером $3,5 \times 4 \times 9$ мм³, содержащие $2 \cdot 10^{13}$ см⁻³ бора. Дислокации вводились в образец путем его пластической деформации (сжатия) при постоянной нагрузке и температуре 690°C в атмосфере аргона. Когда степень деформации состав-

ляла 3-5%, плотность дислокаций достигала $(3-5) \cdot 10^9 \text{ см}^{-2}$, а концентрация дислокационных оборванных связей $(3-6) \times 10^{16} \text{ см}^{-3}$. Спектры ЭПР практически не менялись по форме в интервале температур 80—300 К. Облучение образцов осуществлялось с помощью монохроматора в области длин волн 1—2,5 мкм, что соответствует энергии фотонов 1,2—0,2 эВ.

Небольшое (на 3—5%) возрастание величины сигнала ЭПР при освещении образца не может быть объяснено в рамках сложившихся представлений о схеме энергетических уровней дислокационного электронного спектра. В самом деле, если величина сигнала ЭПР определяется количеством парамагнитных центров, т. е. числом оборванных дислокационных связей, то получается, что при освещении образца это число возрастает на $(1-3) \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$. Наиболее простое объяснение этого факта могло бы состоять в том, что электроны, первоначально захваченные с оборванных связей дислокаций на акцепторные уровни бора, возбуждаются светом обратно на оборванные связи, повышая число нескомпенсированных спинов, что ведет к увеличению сигнала ЭПР. Однако на самом деле этот процесс не может обуславливать наблюдаемую интенсивность сигнала, поскольку концентрация акцепторных примесей бора составляет лишь $2 \cdot 10^{13} \text{ см}^{-3}$, а возрастание числа парамагнитных центров, дающих сигнал ЭПР, происходит на величину, в 100 раз большую.

По мнению авторов, акцепторные центры, с которых электроны в количестве не менее $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ при освещении переходят на дислокационные уровни, образуются так же, как и собственно дислокационные уровни, т. е. непосредственно при пластической деформации. На основе этого предположения построена оригинальная схема энергетических уровней дислокационного электронного спектра, позволяющая непротиворечиво и последовательно объяснить всю совокупность известных на сегодня экспериментальных данных.

ЖЭТФ, 1981, т. 80, вып. 3, с. 1206.

Физика

Обнаружен мезон η_c

В Станфорде в экспериментах на встречных электрон-позитронных пучках наблюдалась частица, для которой давно заготовлено название — η_c . Это мезон, представляющий собой очарованную кварк-антикварковую пару $c\bar{c}$, — одно из состояний «чармония»¹. Благодаря тому, что с-кварки имеют большую массу, их движение в чармонии нерелятивистское. Состояние нерелятивистской пары $c\bar{c}$ классифицируется по орбитальному угловому моменту относительного движения кварков L , их суммарному спину S , полному угловому моменту $J = S + L$ и записываются в виде символа $^{2S+1}L_J$, причем, по аналогии с атомной физикой, значения L обозначаются не цифрами, а буквами: $L=0$ буквой S , $L=1$ буквой P и т. д. Так, знаменитая J/ψ -частица, открытие которой в 1974 г. подтвердило кварковую структуру адронов, есть 1^3S_1 -уровень чармония (первая цифра нумерует уровни с названными квантовыми числами в порядке возрастания энергии), а частица ψ' — уровень 2^3S_1 .

Частица η_c — основной уровень состояния с нулевым спином $S=0$ (парачармония) — уровень 1^1S_0 . Согласно теории масса η_c -мезона должна быть порядка 3 ГэВ. В 1977 г. группа исследователей, работающих в Гамбурге на накопительном кольце DORIS, сообщила о наблюдении состояния с массой 2,83 ГэВ, которое они рассматривали как кандидата на роль η_c . Настораживала, однако, большая разница между теоретически предсказываемой массой и тем, что наблюдалось в эксперименте; кроме того, в эксперименте отсутствовали ожидавшиеся распады на адроны.

Реакция, в которой можно обнаружить η_c , — двухступенчатый процесс: сначала обра-

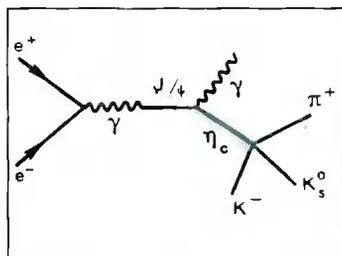


Схема одного из процессов, в котором может быть обнаружен η_c -мезон.

зовавшийся в процессе аннигиляции электрона и позитрона J/ψ -мезон (или ψ'), испуская γ -квант, превращается в η_c . Затем η_c распадается, например, на пару странных частиц (каонов) и пион. Сигналом рождения η_c будет преимуществовое наблюдение γ -квантов определенной энергии, равной разности масс J/ψ и η_c (либо ψ' и η_c). Сложность эксперимента в том и состоит, что эта разность очень мала.

Для одной серии экспериментов был создан сцинтилляционный детектор специальной сферической формы, состоящий из 672 кристаллов NaI(Tl), расположенных перпендикулярно к поверхности сферы. Сферическая конфигурация детектора, окружающего зону e^+e^- -столкновений, и обеспечивает регистрацию вылетающих под разными углами продуктов реакций. В экспериментах, проведенных на этой установке, во-первых, не подтвердилось существование состояния с массой 2,83 ГэВ, во-вторых, в распадах с испусканием γ -кванта J/ψ (752 тыс. случаев) и ψ' (775 тыс. случаев) наблюдалось состояние с массой $2978 \pm 9 \text{ МэВ}$.

В серии экспериментов на другом детекторе изучался процесс $\psi' \rightarrow \gamma \eta_c$ (около 1 млн событий) с последующим распадом η_c на различные адроны ($K^+K^-\pi^+$, $2\pi^+2\pi^-$ и т. д.). В них также обнаружено состояние с массой $2980 \pm 8 \text{ МэВ}$.

Окончательная идентификация наблюдавшейся частицы зависит от определения ее спина, четности и других свойств, предсказываемых теорией.

Physical Review Letters, 1980, в. 45, № 14, p. 1146; 1150 (США).

¹ О свойствах чармония см.: Волошин М. Б. Спектр чармония и взаимодействие кварков. — Природа, 1979, № 1, с. 54.

Физическая химия

Пленки из оксидов металлов повышают прочность стекла

При изготовлении стекла часто для большей прочности их покрывают пленкой из оксидов металла. Так, покрытие из оксидов олова, нанесенное на поверхность стеклянных бутылок, увеличивает их сопротивление внутреннему давлению на 25—30%, а стойкость к удару — на 50%. Если же стандартное листовое стекло покрыть пленкой из оксидов железа, то оно становится прочнее на 10%; еще больший эффект дают пленки из оксидов титана (50%) и олова (80%). Однако хотя такой метод увеличения прочности стекла используется в промышленности с конца 60-х годов, механизм упрочняющего действия таких покрытий до сих пор не ясен.

С. И. Сильвестрович, Г. Е. Мурашова (Московский химико-технологический институт им. Д. И. Менделеева), исследуя пленки оксидов титана, олова и железа толщиной 0,05–0,4 мкм, нанесенные на поверхность стекла, выявили три группы физико-химических факторов, обуславливающих упрочнение стекла. Прежде всего — это прочность самой пленки, определяемая ее фазовым составом, структурой и размером кристаллов. Оказалось, что пленки из оксидов олова, дающие максимальную прочность, по данным рентгеновского анализа однофазны и имеют кристаллическую структуру касситерита. В пленках оксиды олова наблюдается текстура, причем преимущественная ориентация кристаллитов в них меняется в зависимости от температуры синтеза и концентрации подаваемого на подложку вещества. Пленки оксиды железа, напротив, двухфазны, состоят из гематита и магнетита; двухфазными, состоящими из кристаллов анатаза и рутила, оказались и покрытия из оксидов титана.

Прочность стекла зависит также и от природы физико-химического взаимодействия пленок с его поверхностью. С помощью инфракрасной

спектроскопии и термографического анализа удалось показать, что окисные пленки образуют с поверхностью стекла прочные связи $Si-O-Me$ (где $Me: Sn, Ti, Fe$). Такое химическое взаимодействие обеспечивает высокое сцепление (адгезию) пленок со стеклом. В результате достигается эффективная передача пленке напряжения растяжения, прикладываемого к стеклу.

Помимо поверхностных процессов взаимодействия наблюдается еще проникновение ионов металла из окисных покрытий в приповерхностные слои стеклянной подложки. Как показал рентгеновский микроанализ, глубина диффузионного слоя для пленок оксидов олова, титана и железа составляла 5–6 мкм. Причем, по-видимому, в диффузии принимают участие не только ионы, но и нейтральные атомы, диффундирующие на большую глубину.

Таким образом, изменение приповерхностного слоя стекла в результате диффузии металла из окисной пленки, высокая адгезия к стеклу в результате хемосорбции и прочность самой пленки оксиды олова определяют ее максимальный упрочняющий эффект. Пленка, прочно сцепленная с поверхностью стекла, воспринимает усилия, прикладываемые к стеклу, не разрушаясь и уменьшает напряжения у вершин микротрещин, предотвращая тем самым разрушение стекла.

Доклады АН СССР, 1980, т. 255, № 3, с. 678.

Биофизика

Воздействие света на зрительную клетку

М. А. Островский с соавторами (Институт химической физики АН СССР) исследовали механизм повреждения под воздействием света основных молекулярных компонентов фоторецепторной мембраны зрительной клетки: пигмента родопсина и фосфолипидов. Родопсин — уникальный светочувствительный белок, хро-

морфной группой которого служит 11-цис-ретиналь. На долю родопсина приходится около 90% всего белка фоторецепторной мембраны. Хотя родопсин открыт более ста лет назад, до сих пор не установлена его первичная структура, нет однозначного взгляда на природу основной функции родопсина, не известен механизм корреляции между поглощением кванта света и возникновением зрительного сигнала.

Установлено, что при действии видимого света умеренной интенсивности происходит обезцвечивание молекулы родопсина: максимум его поглощения сдвигается от 500 к 380 нм. За несколько пикосекунд проходит первая фотохимическая реакция — превращение 11-цис-изомерной формы ретиналя в транс-форму, которое и обуславливает сдвиг спектра поглощения родопсина. В ходе последующих химических реакций белковая часть молекулы родопсина (опсин) претерпевает конформационные перестройки, на которые указывает появление трех-четырех дополнительных идентифицируемых (титруемых) SH-групп. Эти «световые» SH-группы расположены в гидрофобной части опсина, внутри липидного слоя мембраны. В отсутствие же освещения выявляются лишь две «темновые» SH-группы, расположенные на расстоянии нескольких ангстрем друг от друга и находящиеся на поверхности фоторецепторной мембраны и гидрофильном фрагменте опсина. Таким образом, при конформационных перестройках молекулы белка как бы разворачиваются. Такие перестройки обратимы и присущи лишь нормально функционирующей мембране¹.

А что приводит к нарушению в ее работе? Оказалось, что интенсивный длительно действующий видимый свет приводит в фотоокислению SH-групп родопсина с образованием межмолекулярных S-S-связей и накоплением продуктов перекисного окисления липидов. В результате возникает необра-

¹ Островский М. А. и др. Биофизика, 1980, т. 25, № 4, с. 634.

тимая агрегация молекул родопсина и нарушается структура липидного бислоя мембраны.

По мнению авторов, фотоокисление вызвано ретиналом, связанным с продуктами химических реакций, протекающих в мембране. На это указывает, в частности, то, что наиболее интенсивное фотоокисление белка и липидов фоторецепторной мембраны происходит под действием света с $\lambda = 380$ нм, а это область поглощения продуктов фотохимических реакций.

Таким образом, наибольшую опасность для зрения может представить коротковолновая (синяя) часть интенсивного видимого света. Интенсивное облучение видимым светом приводит к необратимой потере функциональных свойств родопсина.

В ходе фотоиндуцированного ретиналом окисления белка и липидов образуются свободные радикалы. Как считают авторы, в качестве фотопротекторов, предохраняющих органы зрения, можно использовать антиоксиданты — ингибиторы свободнорадикальных процессов, предложенные и подробно изученные ранее Н. М. Эмануэлем². Это позволит предотвратить окисление липидов, снизить скорость окисления SH-групп и защитить зрительные клетки сетчатки.

Биофизика, 1981, № 26, с. 5.

Биохимия

Изменения поверхности лимфоцитов при сахарном диабете

Одно из частых осложнений при сахарном диабете — нарушение иммунологического состояния организма и предрасположенность к воспалительным заболеваниям. А, как известно, развитие бактериальных ин-

фекций и процессы защиты против них контролируются различными видами лейкоцитов, в том числе лимфоцитами.

Группа сотрудников Киевского научно-исследовательского института эндокринологии и обмена веществ с помощью сканирующего электронного микроскопа исследовала рельеф поверхности лимфоцитов у здоровых людей и больных сахарным диабетом. Исследование проводилось на двух группах больных: первично выявленных (т. е. не подвергавшихся ранее лечению) и лечившихся сульфонидами или бигуанидами. В контрольной группе были здоровые доноры. Лимфоциты выделяли методом дифференциального центрифугирования.

Как удалось установить при электронномикроскопическом исследовании, строение поверхности лимфоцитов весьма разнообразно: обнаружены ультраструктурные образования типа микроворсинки, пузырьки, гофрированные манжеты, гребней и других микровыступов. По особенностям рельефа поверхности лимфоциты крови были условно разделены на 6 групп: 1 — клетки с гладкой поверхностью; 2 — с волнистой уплощенной поверхностью; 3 — с пузырькоподобными образованиями в сочетании с микроворсинками, 4 — с гребнеподобными выростами, 5 — с малым числом микроворсинок на гладкой поверхности, 6 — с густорасположенными микроворсинками. Последняя группа преобладает у здоровых людей; ее содержание достигало 45-55%. В лимфоцитах у первично выявленных больных сахарным диабетом с уровнем сахара в крови от 200 до 300 мг обнаружено преобладание клеток с гребнеподобными образованиями. Содержание лимфоцитов с таким рельефом поверхности колебалось в пределах 40-60%. Аналогичная, но несколько менее выраженная картина, была выявлена при исследовании лимфоцитов больных, получавших сульфонидами или бигуанидную терапию.

Таким образом, у лимфоцитов больных сахарным диабетом по сравнению с лимфоцитами здоровых людей существенно изменен рельеф клеточной поверхности. По мнению

исследователей, подобные изменения отражают нарушения внутриклеточного обмена и функционального состояния лимфоцитов при сахарном диабете.

Доклады АН СССР, 1980, т. 255, № 4, с. 1019.

Биохимия

Новые возможности использования липосом

С помощью липосом (липидных пузырьков) можно доставлять внутрь клетки разнообразные вещества — ферменты, белки, лекарственные препараты¹. Перед специалистами, работающими с липосомами, стояла проблема: как увеличить избирательность их действия, т. е. заставить липосомы доставлять их содержимое только в тот орган или участок ткани, в какой это необходимо. Одна из возможностей направленного транспорта — создание липосом, чувствительных к повышению температуры или к изменению pH среды.

Липосомы первого типа высоко чувствительны к температуре и распадаются даже при незначительном превышении температуры тела теплокровного животного или человека, освобождая при этом содержимое в участке своего расщепления. Эффективность направленного транспорта такого рода липосом проверялась в опытах на мышах, имеющих злокачественные опухоли. Животным вводили температурочувствительные липосомы, содержащие противоопухолевые препараты (метатрексат или цис-дихлордиаминплатину), а затем повышали температуру в том участке тела, где была локализована опухоль. Высвобождение заключенных в липосомы препаратов в области с повышенной температу-

² Эмануэль Н. М. Первичные механизмы биологического действия ионизирующего излучения. М.: Наука, 1963, с. 73.

¹ Подробнее об этом см., например, Торчилин В. П. Липосомы в медицине. — Природа, 1980, № 2, с. 2.

рой происходило в 4 раза эффективнее, чем в контрольных опытах. Развитие опухоли подавлялось. К сожалению, такие липосомы малоэффективны при метастазах у человека. В этом случае используются липосомы, чувствительные к изменению pH. В основе этого метода лежит тот факт, что pH в опухолях и метастазах бывает заметно ниже, чем в здоровых участках тела.

М. Ятвин с коллегами (лаборатория радиобиологических исследований Висконсинского университета, США) разработали метод получения липосом, распадающихся в зоне с пониженным значением pH. В качестве чувствительного к pH компонента было предложено использовать N-пальмитоил- α -гомоцистеин, который существует в двух формах в зависимости от значения pH окружающей среды. В открытой форме это соединение ведет себя как свободная жирная кислота и хорошо включается в состав двухслойной липосомной мембраны. В закрытой форме (так называемый незаряженный тиолактон) это соединение приближается по своим свойствам к нейтральному липиду, разрушающему двухслойную мембрану липосомы. Равновесие между открытой и закрытой формами сдвигается при изменении pH среды. Липосомы, содержащие в качестве составного компонента N-пальмитоил- α -гомоцистеин, эффективно освобождают содержимое при подкислении среды до pH 6,5-6,0.

Science, 1980, v. 210, p. 1253—1255 (США).

Биохимия

Еще один способ диагностики рака

Сотрудники Крымского государственного медицинского института (Симферополь) и Института белка АН СССР (Пушино) установили, что рак печени сопровождается специфическим химическим изменением белков крови, в том числе сывороточного альбумина.

Такие изменения при патологических процессах в организме отмечались и ранее; так, при различных заболеваниях в альбуминах крови, помимо собственной здоровым людям формы, обнаруживали модифицированную, отличающуюся иммунохимической активностью и рядом физико-химических характеристик. Однако строение этой формы и специфика ее модификации не были раскрыты.

Теперь, благодаря более глубокому фракционированию препаратов альбумина, удалось выявить ряд интересных особенностей его модифицированных форм. Сравнивались препараты альбумина, выделенные из организма здоровых людей и больных раком и циррозом печени. Молекулярные веса нормально и модифицированного альбуминов не отличались. Аминокислотный состав альбумина при циррозе печени оказался таким же, что и в здоровом организме, а в альбумине онкологических больных было обнаружено меньшее число тирозиновых остатков — 10 вместо 18, характерных для здоровых людей и больных циррозом печени.

Изучение концевых¹ аминокислот показало, что во всех изученных образцах альбумина как здоровых, так и больных людей, С-концевой аминокислотой является лейцин. В то же время N-концевые аминокислоты альбумина здоровых людей и больных циррозом отличались от N-концевых аминокислот альбумина онкологических больных. Однако это отличие установлено только для одной из фракций патологически модифицированного альбумина. В ней N-концевые аминокислоты оказались блокированными. По мнению авторов работы, это связано с тем, что альбумин онкологических больных связывается с сахарами, например с фукозой. Действительно, в составе альбумина больных раком печени обнаружено значительное содержание углеводов.

¹ Как известно, у пептида различают N-конец (аминокислота оканчивается аминогруппой) и противоположный С-конец (аминокислота оканчивается углеводом или кислотной группой).

Таким образом, если раньше термин «модифицированный» альбумин подразумевал лишь неспецифические физико-химические изменения этого белка, то теперь можно говорить о конкретном изменении тирозиновых остатков и N-концевой аминокислоты альбумина онкологических больных.

Доклады АН СССР, 1980, т. 255, № 1, с. 222.

Медицина

T-лимфоциты в борьбе с опухолями

Согласно существующим представлениям, основная тяжесть борьбы с новообразованиями падает на T-лимфоциты, которые наряду с B-лимфоцитами и макрофагами являются главными компонентами иммунной системы. Популяция T-лимфоцитов неоднородна¹. В частности, в нее входит субпопуляция «клеток-убийц» (или T-киллеров), способных уничтожать чужеродные клетки, в том числе опухолевые. Хотя T-киллеры легко обнаруживаются у животных при развитии опухоли, экспериментально вызываемой онкогенными вирусами, они не найдены при развитии рака у людей.

Возможно, это связано с подавлением активности T-киллеров в организме больного раком. В пользу этого свидетельствуют недавно проведенные Ф. Баком (США) и группой Д. Загури (Франция) исследования больных лейкемией. Лимфоциты этих больных не имели противолейкемической активности, однако при культивировании в пробирках от 5 до 20% их приобретали способность убивать лейкемические клетки тех больных, из крови которых они были получены, т. е. оказались T-киллерами.

Обычно действие T-киллеров происходит в несколько

¹ См., например: Галактионов В. Г. Дарвиновский принцип в иммунологии.— Природа, 1980, № 8, с. 28.

этапов. I этап — вступление этих клеток в контакт с клетками-мишенями (в данном случае — с лейкемическими клетками). Минимальное время, необходимое для вступления в контакт и осуществления последующей киллерной функции, составляет около трех минут. При этом необходимо присутствие ионов Ca^{2+} ; возрастает также потребление глюкозы и расход энергии. II этап — осуществление «смертоносного» удара, что, по-видимому, происходит путем выделения в зоне контакта гидролитических ферментов, содержащихся в лизосомах клеток-киллеров. После этого наступает III этап — распад клетки-мишени.

Не так давно научились поддерживать культуры лимфоцитов в течение длительного времени — нескольких месяцев и более — путем введения в культуру этих клеток так называемого фактора роста. В результате количество лимфоцитов может быть увеличено до 10^6 — 10^9 клеток в одном миллилитре среды. Оказалось, что возникшая убивающая активность сохраняется во время всего периода культивирования. Научились также получать клоны Т-киллеров, т. е. популяции клеток-потомков одной исходной клетки.

Все это позволяет надеяться на использование лимфоцитов, размноженных в культуре, для лечения опухолей путем введения клеток-киллеров обратно в кровеносную систему доноров, страдающих онкологическими заболеваниями.

Comptes rendus des séances de l'Académie des sciences, 1980, v. 280, p. 24 (Франция).

Медицина

Норадреналин и шизофрения

До сих пор мало понятны причины, вызывающие шизофрению, и механизм ее развития. В последние годы в мозгу умерших людей, болевших шизофренией, обнаружено повышенное содержание нора-

дреналина — гормона, выделяемого надпочечниками¹.

В 1980 г. в Клиническом центре Национального института здравоохранения (США) исследовалось содержание норадреналина в спинномозговой жидкости у больных шизофренией. Было госпитализировано 35 больных разными формами шизофрении и 29 здоровых добровольцев. Все они получали одну и ту же диету, особенность которой состояла в уменьшении количества моноаминов, отсутствии алкоголя и ограничении кофеина, способных мешать определению норадреналина. Больные шизофренией перестали получать специализированное лечение за две недели до начала исследования. В результате у всех больных в спинномозговой жидкости было обнаружено повышенное содержание норадреналина по сравнению с его концентрацией в спинномозговой жидкости у контрольной группы здоровых людей. Особенно высоко было содержание норадреналина у больных с параноидной формой шизофрении.

Норадреналин разрушается (инактивируется) в организме при участии фермента моноаминоксидазы. Имеются данные, что у больных шизофренией активность этого фермента снижена, в особенности у больных параноидной формой.

Таким образом, поступление норадреналина в мозг больных шизофренией может быть нормальным, но если его дальнейшие превращения, осуществляемые с помощью моноаминоксидазы, замедлены, то концентрация норадреналина в мозгу становится повышенной. По мнению авторов, избыток норадреналина может способствовать появлению психоза и быть одной из причин возникновения шизофрении. Для проверки этого предположения необходимо провести дальнейшие исследования.

Science, 1980, v. 207, № 4428, p. 331—332 (США).

Психология

Генетические основы интеллекта

Психолог Р. Пломин и генетик Дж. Де Фриз (Университет штата Калифорния, США) сообщили о результатах последних исследований роли генотипа в формировании индивидуальных различий по уровню умственных способностей. Они обобщили данные по 4639 семьям, 2164 парам близнецов, 345 парам разлученных родственников и 2095 парам неродственников, живущих в одной семье. При этом оценка умственных способностей проводилась по показателю так называемого теста IQ [Intellectual Quotient — коэффициент умственного развития].

(Такой тест представляет собой набор задач, которые необходимо решать в ограниченное время — обычно 30 мин. Задачи составлены так, что на их решение практически не влияет уровень знаний, например тесты для взрослых требуют знаний всего лишь в объеме начальной школы. Задач в тесте много, и испытуемый сам выбирает, какие из них он будет решать. Оценка IQ соответствует количеству решенных задач. Такие тесты используются в мировой психологической науке более полувека, однако при интерпретации их результатов следует учитывать возможные неточности, возникающие по следующим причинам: 1) различия в темпе: «медленно думающие» могут иметь неадекватно низкую оценку; 2) на результаты некоторых разделов теста может влиять эмоциональное состояние испытуемого; 3) тесты плохо дифференцируют людей с очень высоким уровнем интеллекта.)

Если в более ранних исследованиях коэффициент генетической детерминации умственных способностей достигал 0,7—0,8, то анализ новых данных показывает существенно меньшую цифру — около 0,5. Это означает, что генетические различия между людьми обуславливают примерно 50% различий по уровню умственных способностей. Этот показатель очень высок (для сравнения:

¹ Grow T. Y. et al. British J. Psychiatry, 1979, № 134, p. 249.

В серии экспериментов участвовали дети в возрасте от 3 до 10 лет. В каждой пробе один ребенок производил какое-либо действие, а другой — того же возраста — отвечал на вопрос, действовал ли он «нарочно» или «нечаянно». Например, ребенка просили взять со стола блестящую монету (на столе лежали две монеты — блестящая и тусклая); в параллельной ситуации «действующему» ребенку надевали призматические очки, искажающие восприятие, в результате чего он брал по ошибке не ту монету. В других опытах сопоставляли произвольное поднимание рук с пассивным; ребенка просили нажимать руками снизу на руки экспериментатора; когда тот внезапно убирал свои руки — руки ребенка поднимались. Третья ситуация: ребенок должен был сопоставить произвольные и рефлекторные движения (например, произвольное разгибание ноги в коленном суставе и такое же движение в ответ на удар молоточка — коленный рефлекс).

Анализ ответов детей показал, что уже в трехлетнем возрасте они отличают намеренные действия от ошибочных; с 5—6 лет дети начинают отличать активные движения от пассивных и рефлекторных. Правильность ответов детей не зависит от того, находились ли они сами в аналогичных ситуациях в роли «действующих». Все дети, правильно отвечавшие на вопрос типа: «Нарочно ли он(а) сделал(а) это?», могли правильно ответить и на более общий вопрос типа: «Почему он(а) сделал(а) это?».

Проблема целенаправленного действия посвящена большая литература, поскольку эта проблема имеет особую важность в правовом и моральном аспектах (человек не несет ответственности за действия, совершенные непреднамеренно). Ранние исследования восприятия намеренности действия у детей проводились именно в связи с изучением развитости у них морального сознания. Так, швейцарский психолог Ж. Пиаже рассказывал детям две истории: в одной поступок, задуманный как хороший, вел к плохому концу, а во второй злонаме-

ренный поступок не приводил ни к каким неприятностям. При оценке поступков ориентация на намерения, а не на результат действия обнаруживалась у детей только начиная с 9—10-летнего возраста.

Исследование Шульца с сотрудниками — первое, в котором восприятие детьми намеренности действия изучалось непосредственно, вне зависимости от моральной оценки. Оно показало, что дети умеют отличать намеренные действия от случайных в гораздо более раннем возрасте, чем считалось прежде.

British Journal of Social and Clinical Psychology, 1980, v. 19, p. 301 (Великобритания).

Физиология

Связь эмоциональной реакции на алкоголь с последующим алкоголизмом

Известно, что, предложив крысам на выбор воду или 15-процентный раствор этилового спирта, можно выявить у них существенные индивидуальные различия в степени влечения к алкоголю: одни устойчиво стремятся к раствору спирта и требуют все больших доз (модель алкоголизма), другие предпочитают воду даже в том случае, если их предварительно долгое время приучали к алкоголю. В экспериментах на крысах, принадлежащих к генетически чистым линиям, физиологи С. А. Борисенко и А. Б. Кампов-Полевой (Институт фармакологии АМН СССР) показали, что влечение к алкоголю или отсутствие влечения связано с тем эмоциональным состоянием, которое возникает у крыс при первичном введении алкоголя.

В первом опыте двум крысам предоставлялась возможность избежать удара током, спрятавшись на одной из площадок: большой, где они размещались свободно, или маленькой, где им приходилось драться за место. В другом опыте тем же животным вживляли электроды в «эмоцио-

нально положительные зоны» мозга и приучали их самостоятельно замыкать цепь (реакция самостимуляции). В обоих опытах крысам внутрибрюшинно вводился раствор спирта.

У разных животных наблюдались прямо противоположные изменения в поведении. Одни с введением спирта прекращали драки на маленькой площадке; реакция самостимуляции у них возникала быстрее, а частота самораздражения (при низких дозах алкоголя) была выше, чем обычно. У других, наоборот, в первом опыте возникали драки даже на большой площадке (что говорит о повышении агрессивности), а во втором опыте спирт, независимо от дозы, тормозил самостимуляцию. В условиях выбора — вода или 15-процентный алкоголь — первые сразу выбирали алкоголь, а вторые пили в основном воду и лишь изредка «прикладывались к спиртному»: потребление раствора спирта у них составило менее 2 г на 1 кг веса в сутки против 28 г/кг у крыс первой группы.

По-видимому, однократное введение алкоголя сопровождалось у крыс первой группы успокаивающим эффектом (снижение агрессивности) и вызывало положительные эмоции (типа эйфории), что и способствовало формированию у них влечения к алкоголю.

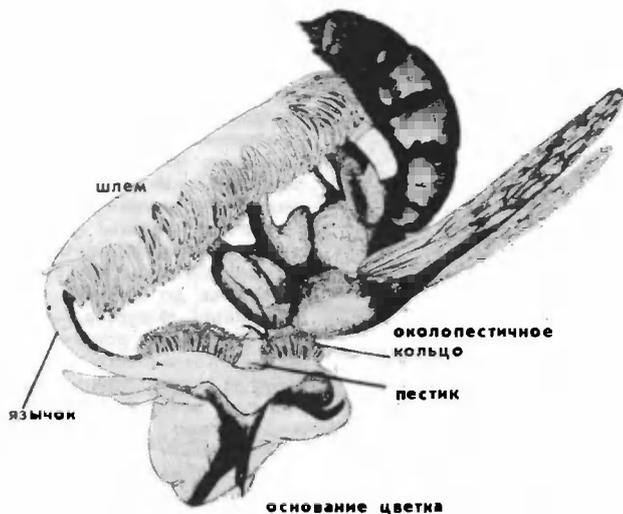
Журнал высшей нервной деятельности, 1980, т. 30, № 3, с. 513.

Ботаника

Два типа пыльца в одном цветке

Бразильские ботаники С. Мори (S. Morigi), Дж. Орчард (J. Orchard) и американский исследователь Г. Франс (G. France) установили, что у растений из семейства Lecythidaceae внутри одного цветка имеется пыльца двух типов, различающаяся по своему функциональному назначению.

Цветки у растений этого семейства имеют ассиметрич-



Строение цветка *Lecythis pisonis* и положение пчелы, которая собирает пыльцу из тычинок шлема и в то же время производит перекрестное опыление цветка пыльцой из тычинок околопестичного кольца.

ное строение и состоит из основания, шлема и связующего их язычка (см. рис.). В основании цветка расположены пестик и околопестичное кольцо из большого числа коротких тычинок. Шлем, на котором находится множество крупных тычинок (а у некоторых видов — и нектарники), представляет собой массивный плоский вырост, прикрывающий сверху основание цветка.

Цветки этих растений посещают главным образом пчелы. Пчела садится на край внутренней поверхности шлема и, собирая пыльцу из его тычинок, передвигается внутрь цветка. Когда голова и спинка пчелы оказываются против тычинок околопестичного кольца и соприкасаются с пыльниками, пчела захватывает эту пыльцу. Одновременно она касается пестика и переносит на него пыльцу с других растений. Попадая на рыльце пестика, пыльца прорастает и вызывает опыление цветка.

Уже само строение цветка и поведение на нем пчелы позволяют предположить, что опыление осуществляется только пыльцой из тычинок околопестичного кольца, а пыльца из тычинок шлема служит для привлечения насекомых-опылителей. Физиологические и морфологические исследования пыльцы подтвердили это предположение.

Исследователи установили, что у всех изученных ими видов растений семейства *Lecythidaceae* пыльца из шлема, будучи помещена на специальные питательные среды, прорастать неспособна, а в тех же самых условиях 21—48% пыльцы из околопестичного кольца прорастает. Кроме того, у некоторых видов растений обнаружены и морфологические различия. Так, в цветках у растений *Couroupita guianensis* пыльца из околопестичного кольца имеет вид отдельных пыльников с гладкой поверхностью, а пыльца из шлема образует тетрады — четверки сцепленных между собой пыльников с шероховатой поверхностью. У растений *Lecythis pisonis* при отсутствии заметных различий в размерах и форме двух типов пыльцы наблюдаются различия в окраске: через 24 часа после распускания цветков пыльца из шлема приобретает черный цвет, а пыльца из околопестичного кольца остается желтой.

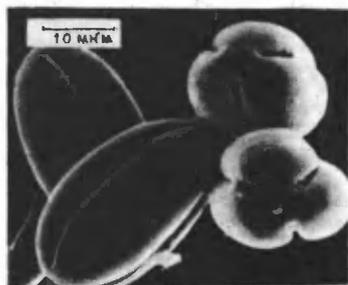
Science, 1980, v. 209, № 4454, p. 400—403 (США).

Цитология

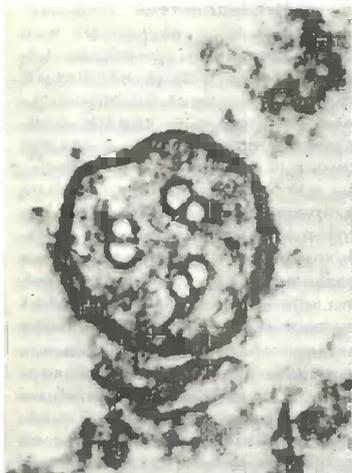
Простейшая структура жгутиков

Французские зоологи Ж. Прансье, Е. Вивьер, С. Голдстейн и Ж. Шрвел обнаружили, что жгутики мужских гамет у паразитического одноклеточного организма *Diplauxis haffi* имеют необычную структуру.

Мужские гаметы этого простейшего организма представляют собой сферическое тело размером около 4 мкм, снабженное одним цилиндрическим выростом (жгутиком) длиной до 20 и диаметром 0,11—0,13 мкм. Снаружи жгутики покрыты сплошной цитоплазматической мембраной, а внутри них находится аксонема — сложная структура, состоящая в основном из микротрубочек. Нижняя часть жгутика погружена внутрь тела и заканчивается вблизи клеточного ядра. На поперечном срезе жгутика хорошо различимо кольцо из ци-



Два типа пыльцы из одного цветка *Couroupita guianensis*: пыльца из тычинок околопестичного кольца [одиночные пылинки с гладкой поверхностью] и пыльца из тычинок шлема [тетрады — четверки сцепленных между собой пыльников с шероховатой поверхностью].



Поперечные срезы подвижных жгутиков мужских гамет паразитического простейшего *Diplauxis hattii* (слева — в свободной, справа — в погруженной внутрь тела гаметы частях). Внутри аксонемы, ограниченной кольцом из плотной цитоплазматической мембраны, хорошо видны три дублета микротрубочек.

топлазматической мембраны, окружающее аксонему.

У большинства эвкарриотических клеток в составе аксонемы жгутиков выявляются 9 дублетов периферических и пара центральных микротрубочек. В целом такую систему микротрубочек жгутиков описывают формулой «9+2». Однако в аксонеме жгутиков мужских гамет *Diplauxis hattii* французские зоологи выявили только 3 дублета периферических микротрубочек (они наблюдаются как в свободной, так и в погруженной в тело гаметы частях жгутика). Несмотря на столь простую организацию, жгутики функционируют, их движения вызывают вращение тела гаметы с незначительным перемещением вперед (спиралеобразные движения распространяются от основания к кончику жгутика). Частота колебаний жгутиков — около 1,5 Гц.

Жгутики мужских гамет *Diplauxis hattii* с ультраструктурой аксонемы «3+0» — самые простые из известных в настоящее время подвижных жгутиков эвкарриотических клеток. Science, 1980, v. 207, № 4438, p. 1493—1494 (США).



Зоология

Кваква — новый зимующий вид на территории Европейской части СССР

Кваква (*Nycticorax nycticorax*) — небольшая цапля, по размерам чуть крупнее вороны. Основные места ее гнездования на территории Европейской части СССР — низ-



Кваквы (слева — взрослая, справа — молодая особи); добыты авторами в районе Новотроицкого водохранилища.

менности по Дунаю, дельты Кубани, Волги, Терека; гнездится также в Азербайджане, а в последние десятилетия кваква стала обычным, хотя и немногочисленным, видом в центральном Предкавказье (интенсивное обводнение этого района улучшило условия ее обитания здесь). Кваква — теплолюбивый вид и на зимовку улетает из Восточной Европы в тропическую Африку, Ирак, Средиземноморье. Иногда кваквы задерживаются до декабря в Азербайджане. Известно, что зимой они никогда не встречаются севернее Кавказского хребта. Однако на Новотроицком водохранилище, расположенном на северо-западе Ставропольского края, зимой 1979/80 г. нам удалось обнаружить пять молодых квакв.

На этом водохранилище много островов, поросших ивой, тростником, рогозом, а его берега густо и на значительном расстоянии обсажены различными видами деревьев. В эту зиму неоднократно в сумеречное время в разных местах водохранилища можно было слышать характерные крики квакв. Возможно, их зимовало и больше пяти. В дневное время кваквы держались в одной из густых лесных полос (из сосны и гледичии) вместе с ушастыми и болотными совами.

В 1980/81 г. на водохранилище зимовало около 20 квакв, что объясняется, вероятно, необычно теплой зимой. Добытая в декабре молодая кваква-самец весила 770 г и имела мощные жировые отложения — это говорит о благоприятных условиях зимовки.

Возможность пребывания квакв зимой на Новотроицком водохранилище обусловлена тем, что здесь в последние годы появилась незамерзающая акватория площадью до 10-15 км², образовавшаяся в связи с созданием крупнейшей на Северном Кавказе Ставропольской ГРЭС (вода Новотроицкого водохранилища использу-

¹ Салетин Я. В. Миграция кваквы в СССР. — В кн.: Миграции птиц Восточной Европы и Северной Азии. М.: Наука, 1978, с. 114—123.

ется для охлаждения турбин электростанции).

Обнаружение кваквы на зимовке в центральном Предкавказье — пример адаптации теплолюбивого вида к изменившимся под влиянием антропогенного фактора природным условиям.

А. П. Бичерев, А. Н. Хохлов,
ассистенты кафедры зоологии
Ставропольского
педагогического института
Ставрополь

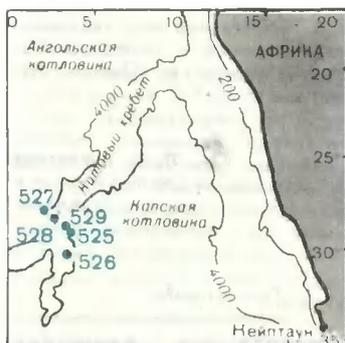


Схема расположения скважин в 74-м рейсе научно-исследовательского бурового судна «Гломар Челленджер». Глубины океана в районе скважин 525—2467 м, 526—1054 м, 527—4428 м, 528—3815 м и 529—3035 м.

Геология

74-й рейс «Гломара Челленджера»

Очередной рейс научно-исследовательского бурового судна «Гломар Челленджер» начался 6 июня 1980 г. в Кейптауне и завершился 24 июля в Уолфиш-Бее (Намибия)¹. В работе экспедиции принимали участие специалисты из США, Франции, ФРГ и Великобритании; научное руководство осуществляли Т. Мур (Университет штата Род-Айленд, США) и Ф. Рабинович (Ламонтская обсерватория Колумбийского университета, США). Район работ расположен примерно в 800 км от западного побережья Африки.

Новый рейс был естественным продолжением предыдущего² и в качестве основной его задачи было дальнейшее изучение истории глубинных вод Южной Атлантики, природы и тектонической эволюции Китового хребта. Этот хребет состоит из блоков коры, в совокупности образующих линейно вытянутую структуру, которая простирается в северо-восточном направлении; в районе 20° ю. ш. хребет сочленяется с континентальной окраиной Африканского материка. Восточные склоны хребта круто обрываются в сторону Капской котловины, а запад-

ные полого погружаются в Ангольскую. Существует гипотеза, что хребет имеет вулканическое происхождение и в отдаленную геологическую эпоху частично возвышался над уровнем моря, а следовательно, играл роль барьера для антарктических вод. Образцы осадочных пород и содержащиеся в них остатки ископаемых организмов и пыльцы растений позволяют реконструировать процесс погружения Китового хребта и связанные с этим изменения в океанической циркуляции и климате.

В рейсе вдоль 200-километрового траверса через Китовый хребет от Капской до Ангольской котловины было пробурено 5 скважин. Осадки во всех скважинах оказались достаточно однородными. Сверху вниз по разрезу нанопланктонные или фораминиферо-нанопланктонные илы постепенно замещаются толщами ила и писчего мела, при этом в нижней части колонки количество прослоев мела, как и содержание в них вулканического пепла, постепенно возрастает, что свидетельствует о более мелководных условиях осадконакопления. Во всех скважинах фундамент осадочного чехла представ-

лен базальтами с чередующимися толщами нанопланктонового мела, известняка и вулканокластических отложений. По предварительному заключению, базальты имеют толентовый состав.

Накопление осадков в исследуемом районе Китового хребта началось в позднем кампане (верхний мел). В осадках этого возраста (75—70 млн лет) встречаются многочисленные обломки иноцерамов (вымерших двусторчатых моллюсков) и других представителей мелководья. В четырех скважинах (525, 527, 528, 529) получен прекрасный материал для изучения и датировки границы между меловой и третичной системами, т. е. того временного рубежа, который характеризовался резкой сменой типов ископаемой фауны на континентах (~ 65 млн лет назад). Ниже этой границы в осадках обнаружена теплолюбивая фауна; это свидетельствует о том, что более теплые поверхностные воды проникли в этот район примерно в конце мелового периода.

В палеоценовых осадках (65—53 млн лет) обнаружены представители фауны, типичной для средних широт. Ископаемая фауна в осадках раннего эоцена (57—45 млн лет) представлена теплолюбивыми видами; эти осадки накапливались в условиях промежуточных глубин. В илах среднего эоцена сохранность ископаемых остатков значительно хуже, что в целом характерно для Южной Атлантики. В скважине 527, заложенной на глубине 4428 м, вскрыты верхнеэоценовые отложения, которые формировались ниже критической глубины накопления карбонатов³. Большая часть фораминифер здесь растворена, что указывает на продолжавшееся погружение этого района. В других скважинах осадки этого возраста маломощны. Отметим, что, судя по большому количеству переотложенных мелководных осадков, вскрытых скважиной 526, этот район располагался в зоне сочленения шельфа с континентальным склоном. Во

¹ JOIDES (Joint Oceanographic Institutions on Deep Earth Sampling) Journ., 1981, v. VII, № 1.

² Природа, 1981, № 7, с. 116.

³ Подробнее см. там же.

всех скважинах, за исключением 529, устанавливаются перерывы в накоплении осадков продолжительностью от 1 до 3 млн лет.

В скважине 529 получен непрерывный разрез олигоценых отложений (35—25 млн лет), характерных для умеренного климатического пояса, но вместе с тем осадки включают несколько хорошо сохранившихся бореальных видов фауны. В среднем олигоцене отмечается регрессия моря — на это указывает повышенная эрозия в мелководных районах, а также наличие бентосных фораминифер, что предполагает обмеление. В осадках среднего миоцена (20—15 млн лет) микрофауна теплых вод отсутствует — седиментация шла в условиях заметного похолодания климата, что совпадает со временем образования Антарктического ледового щита. Лежащие выше по разрезу плиоценовые илы содержат бореальную фауну, сменяющуюся формами умеренных широт.

Таким образом, накопление осадков в пределах Китового хребта начиная с позднемелового времени происходило в непостоянных климатических условиях. Судя по фауне и флоре, в конце позднего маастрихта и в раннем эоцене они были умеренно теплыми, а в среднем миоцене — нижнем плиоцене холодными. Бореальные виды нижнеплиоценовой фауны замещаются в среднем плиоцене видами, характерными для более умеренных широт.

Выясняется, что до палеоцена отдельные блоки Китового хребта выступали как острова и погрузились по крайней мере на 1 км, лишь в позднем палеоцене, т. е. хребет действительно играл роль барьера для холодных антарктических вод, обуславливая особенности накопления осадков в Южной Атлантике. По магнитным аномалиям можно предположить, что исследуемая часть Китового хребта образовалась в центре спредингового океанического хребта. Возраст фундамента приблизительно 69–71 млн лет (магнитные аномалии 31 и 32).

Последующая обработка материалов, полученных в 73-м и 74-м рейсах, а также данные 75-го рейса позволят предста-

вить полную картину эволюции этого региона и палеоэкологическую среду в Южной Атлантике.

Л. А. Торчигина

Институт литосферы АН СССР
Москва

Геотектоника

Вертикальные движения земной коры на Сахалине

Сотрудники Сахалинского комплексного научно-исследовательского института ДВНЦ АН СССР и Главного управления геодезии и картографии при Совете Министров СССР создали карту современных вертикальных движений о-ва Сахалин¹, используя океанографические, геодезические и геолого-морфологические данные. Абсолютные скорости движений определялись с погрешностью 0,4–0,7 мм/год по результатам 8 постов наблюдений над уровнем моря, 4 из которых приняты в качестве исходных для сети повторного нивелирования. Геодезической основой карты послужила сеть повторного нивелирования общей протяженностью 2600 км (первичные измерения относятся к 1951—1960 гг., повторные — к 1974—1977 гг.).

На карте показаны три неотектонических района, различающиеся по структуре и размерам основных структурных элементов.

Северо-Сахалинский район — это удлиненный асимметричный пологий свод. По нему в субмеридиональном и северо-западном направлениях тянутся узкие новейшие поднятия, разделенные слабо выраженными прогибами. Этот район опускается со скоростью от 2,3 до 8,0 мм/год.

В Средне-Сахалинском районе выделяются три крупных неотектонических структуры:

Западно- и Восточно-Сахалинское поднятие и разделяющий их Тымь-Поронайский прогиб. Большая часть Западно-Сахалинского поднятия неравномерно поднимается со скоростью 0,2—7,3 мм/год и лишь его крайняя и юго-восточная части опускаются со скоростью 4,0 мм/год. Большая часть Тымь-Поронайского прогиба опускается, причем наиболее интенсивно — прибрежные участки. Самые большие скорости поднятия — в северо-западной части прогиба.

Южно-Сахалинский район состоит из трех поднятий и двух разделяющих их прогибов. Большая часть этого неотектонического района опускается со скоростью до 3,8 мм/год. Осевая линия максимального современного опускания ориентирована на юго-восток и пересекает основные неотектонические структуры района.

Доклады АН СССР, 1981, т. 257,
№ 1, с. 202—204.

Геотектоника

Радиоуглеродный анализ на службе сейсмотектоники

А. А. Никонов (Институт физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР) попытался расширить область применения радиоуглеродного анализа, широко используемого для обеспечения геохронологической основы в стратиграфических, археологических, палеогеографических и других исследованиях. Датировки голоценовых (последние 10 тыс. лет) отложений в зонах разломов он использовал для определения возраста молодых тектонических и сейсмотектонических подвижек и породивших их землетрясений.

Работы проведены в горных районах Средней Азии, в зонах Рушано-Пшартского, Дарваз-Каракульского, Гиссаро-Кокшаальского и других крупных разломов. Подвижки сбросового, надвигового, сдвигового и иного характера выражаются в рельефе в виде уступов, валов выдавливания, смещенных линейных форм. В большинстве

¹ Карта современных вертикальных движений земной коры острова Сахалин. Главное управление геодезии и картографии при Совете Министров СССР, 1980.

случаев отмечаются и соответствующие деформации голоценовых отложений. По соотношению форм рельефа и отложений автор доказывает их импульсный сейсмотектонический характер.

Возраст отложений определялся по радиоуглеродным датам включенных в них органических остатков (древесина, угли, погребенные почвы). Соотношение датированного слоя в соседними (с учетом характера и степени деформации слоев) позволяет оценить верхний или нижний возрастной рубеж сейсмотектонического события. Например, резкое поднятие на правом берегу р. Вахш произошло свыше 6 тыс. лет назад (по соотношению отложений, вероятно, 8-10 тыс. лет назад); резкий сбросовый уступ на плато Туплак в хр. Петра I возник позже 8,7 тыс. лет назад (вероятно, 5-6 тыс. лет назад).

Интересные наблюдения сделаны в зоне Предзаалайского разлома. У северного подножия Заалайского хр. на десятки километров тянется отчетливый уступ высотой от нескольких до 15 м. Уступ рассекает все формы рельефа, кроме дна современных речных долин, и представляет собой фронт надвига, плоскость которого наклонена к югу под углом 20-30°. В одной из долин надвигом срезан и перекрыт культурный слой археологической стоянки в отложениях 15-16-метровой террасы. Видимая величина надвигания 12-15 м (возможная — около 50), а возраст углей из культурного слоя — 5100 ± 150 лет. Таким образом, в данном месте последняя фаза надвигания наступила после длительного обитания на террасе неолитических охотников и по возрасту она моложе 5 тыс. лет.

Другие примеры связаны со сдвиговыми деформациями. Например, на Восточном Памире в долине р. Карасу правосторонний сдвиг деформирует позднеплейстоценовые и голоценовые террасы вплоть до 6-метровой. Левостороннее смещение 8,5- и 11-метровой террас составляет 7 м примерно за последние 7 тыс. лет.

Многие крупные разломы юга Средней Азии были активны, таким образом, и в голоцене, т. е. продолжали развиваться на

месте старых разломов. Средняя за последние 5-7 тыс. лет скорость горизонтальных и вертикальных смещений вдоль отдельных разрывов составляет 1-5 мм/год. Фактически же такие подвижки реализуются в основном импульсно, во время сильных землетрясений.

Доклады АН СССР, 1981, т. 257, № 2, с. 440—444.

Геохимия

Кадмий в водных бассейнах

В геохимии морей и океанов важно знать не только поведение химических элементов в воде, но и то, каким путем и в какой форме они поступают в конечные водоемы стока, в частности, необходимо знать геохимию элементов в устьевых районах рек — главных поставщиков большинства химических элементов в моря и океаны.

В. Н. Орешкин и Е. Г. Гуревич (Институт агрохимии и почвоведения АН СССР и Институт океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР) определили содержание кадмия в пробах воды, взятых из устьевых районов десяти рек бассейна Черного моря и четырех рек бассейна Северного Ледовитого океана. Содержание кадмия в материале речной взвеси изменяется от 0,18 до 3,8 г/т, причем в северных реках кадмия в среднем в три раза больше, чем в южных. Среднее содержание кадмия в речной взвеси — 0,76 г/т, что в несколько раз выше среднего его содержания в земной коре (0,1—0,2 г/т) и несколько выше, чем в верхних горизонтах почвы (0,1—0,5 г/т).

Какова причина столь значительного концентрирования кадмия в речной взвеси? В породообразующих и глинистых минералах, обнаруженных в материале взвеси, содержание кадмия невелико; почти отсутствует корреляционная связь кадмия с марганцем и железом (даже во взвеси р. Риони, сильно обогащенной марганцем, поскольку в ее бассейне находится Чиатурское марганцевое

месторождение, не обнаружено высоких концентраций кадмия). Решающую роль в обогащении речной взвеси кадмием играет органическое вещество — именно в нем сосредоточено около 80% кадмия.

Авторы оценили также концентрацию взвешенного (не растворенного в воде) кадмия: в устьях рек черноморского бассейна эта величина колеблется от 0,0018 до 0,143 мкг/л; среднее значение — 0,061 мкг/л; в северных реках среднее значение — 0,074 мкг/л. Как показывают расчеты, коэффициент водной миграции (отношение содержания элемента в минеральном остатке воды к его концентрации в породах водосбора) значительно больше единицы: для северных рек — 40, для черноморских — 20, т. е. кадмий весьма подвижный элемент. Более высокая интенсивность водной миграции кадмия в северных реках согласуется с общими геохимическими свойствами элемента, который подвижнее в таежных и тундровых, нежели в горных ландшафтах.

По подсчетам авторов, семь рек Черноморского бассейна (Шахе, Галидзга, Кодор, Бзыбь, Ингури, Риони, Чорох) ежегодно выносят в море 25,8 т кадмия, из них 7,2 т — в составе взвеси и 18,6 т — в растворе. Четыре северные реки (Северная Двина, Мезень, Печора, Обь) за год выносят 279 т кадмия, из них 55,8 т в составе взвеси и 223,2 т — в растворе.

Общий вынос кадмия в Мировой океан оценивается примерно в 21 000 т.

Геохимия, 1981, № 1, с. 136—141.

«Будьте героями!»**В. П. Алексеев,**

доктор исторических наук

Москва



НИКОЛАЙ ИВАНОВИЧ ВАВИЛОВ.
Из эпистолярного наследия 1911—
1928 гг. Сост. и авт. коммент.
В. Д. Есаков. Отв. ред. С. Р. Ми-
кулинский. М.: Наука, сер. «Научное
наследство», 1980, 428 с.

Переписка ученых дает нам неопределимые сведения об общественной обстановке, в которой совершались многие научные открытия, о психологической и идеологической борьбе, которая их сопровождала. Переписка А. О. Ковалевского с И. И. Мечниковым, В. И. Вернадского с В. В. Докучаевым и Б. Л. Личковым, Л. С. Берга с Д. Н. Анучиным и многие

другие примеры многолетних письменных контактов между учеными демонстрируют нам, как порою эти контакты были глубоки, сколь многочисленные и важные научные вопросы обсуждались, как преломлялись в сознании ученых общественные идеалы и как часто многие из намеченных в переписке планов оставались нереализованными из-за неблагоприятных внешних условий. Все это уже давно сделало письма деятелей науки любимым предметом исследования историков разных областей научного знания, объектом пристального внимания писателей-биографов, привлекательным объектом чтения всех интересующихся научным творчеством.

В исключительно многогранной деятельности Николая Ивановича Вавилова переписка занимала далеко не последнее место, так как она отражала громадный круг его связей со специалистами самого разного профиля, обусловленный как интенсивностью и разносторонностью творческой активности, так и масштабом организационной работы. Если даже цифра в 30-40 тыс. написанных Н. И. Вавиловым писем, приведенная составителем рецензируемой книги В. Д. Есаковым на с. 15, и выглядит несколько преувеличенной (3-4 письма в среднем ежедневно на протяжении тридцати лет!), то все равно переписка Н. И. Вавилова была грандиозна. При его увлеченности научным творчеством она касалась в подавляющей своей массе научных или научно-организационных вопросов и представляла собою замечательный документ, отражающий как творческий путь гениального русского биолога, так и историю

советской науки в первой половине XX в. Поэтому Институт истории естествознания и техники АН СССР и издательство «Наука» сделали прекрасный подарок советской и мировой научной общественности, возобновив издание серии «Научное наследство», уже зарекомендовавшей себя введением в научный оборот многих чрезвычайно важных документов из истории русской науки, и посвятив очередной пятый том вавиловскому эпистолярному наследству за 1911—1928 гг. Письмам последующих лет предполагается посвятить специальное издание.

Большой хорошо изданный том иллюстрирован несколькими редкими фотографиями Н. И. Вавилова, открывается прочувствованным «Словом о Н. И. Вавилов» академика Д. К. Беляева и ответственного редактора книги члена-корреспондента АН СССР С. Р. Миклулинского и содержит статью «От составителя», в которой изложена история и драматическая судьба вавиловских писем, а также упомянуты их предшествовавшие выборочные публикации. Издание завершается составленными В. Д. Есаковым очень содержательными комментариями и разнообразными указателями, весьма облегчающими чтение писем. В том включены 576 писем, направленных как отдельным лицам, так и в разнообразные учреждения.

Еще книга С. Резника «Николай Вавилов», изданная издательством «Молодая гвардия» в 1968 г., особенно те ее страницы, на которых приведены отрывки из вавиловских писем, дала нам возможность как бы увидеть живой облик их автора. Рецензируемая книга предостав-

ляет эту возможность в еще большей степени.

В научных трудах и официальных отчетах Н. И. Вавилова, сберегая свое и чужое время, предельно краток, точен, даже суховат, эмоции тщательно скрыты. При описании путешествий факты нанизываются один на другой, образуя продуманную систему доказательств защищаемых положений, а о трудностях, с которыми они добывались, нет ни слова. Даже дневники, публиковавшиеся изредка в приложениях к отчетам об экспедициях, содержат маршруты, указания на сроки передвижения от одного населенного пункта к другому, метеорологические заметки и т. д.

Из писем же Н. И. Вавилова мы узнаем, что он тоже уставал, но преодолев усталость титаническим напряжением воли, преклонялся перед своими учителями, негодовал на бюрократов, радовался достижениям коллег, хвалил учеников, поддерживал и журил сомневающихся, страдал от недопонимания, заботился о престиже сотрудников и обдумывал, постоянно обдумывал самые насущные проблемы генетической и сельскохозяйственной науки.

Процесс «неотступного, думания», употребляя выражение И. П. Павлова, нигде, пожалуй, не отразился с такой впечатляющей силой, как в этих великолепных письмах. В них слышны энергичные интонации Н. И. Вавилова, видна его мягкая улыбка, заразительно звучит его громкий смех, одним словом, встает солнечный образ этого удивительного человека, распростираявшего вокруг себя, как свидетельствуют все воспоминания о нем, столько душевного тепла, радости, оптимизма и научной страсти. «Будьте героями», — этими словами часто заканчивались письма Н. И. Вавилова к сотрудникам и коллегам.

Однако письма показывают, что не только обаянием, добротой и талантом определялся успех Н. И. Вавилова как руководителя крупнейших научных учреждений. Его человеческая скромность и скромность как руководителя сочетались с трезвой, но высокой оценкой ра-

ботавших с ним сотрудников. Показателен в этом отношении эпизод с оценкой текста рукописи К. И. Пангало, посвященной истории образования Всесоюзного института прикладной ботаники и новых культур и опубликованной в 1925 г. Первоначальный вариант был подвергнут Н. И. Вавиловым обстоятельной критике прежде всего за преувеличение роли Р. Э. Регеля (первого директора Бюро прикладной ботаники, на базе которого и был организован Институт) и самого Вавилова и недооценку творческого и организационного вклада остальных сотрудников, о которых с гордостью сказано, что «...60% персонала, по моим подсчетам, по 5-балльной шкале имеют отметку 4. Как Вы знаете, на сей счет мы достаточно строги» (с. 194).

Н. И. Вавилов не только ценил, но и защищал сотрудников в трудных ситуациях, не жалея времени и сил. Фальштон об экспедиционной деятельности С. В. Юзепчука в Южной Америке, опубликованный в «Ленинградской правде», вызвал письмо в редакцию (с. 356—357), в котором Н. И. Вавилов остроумно и с достоинством разъясняет подлинные цели и задачи экспедиции, пишет о труднейших условиях, в которых ей пришлось работать, и принимает на себя всю полноту ответственности за те затраты, которых она потребовала. Такой же заботой о своих коллегах проникнуты и многие другие письма Н. И. Вавилова, адресованные административным инстанциям и содержащие аргументированные просьбы о персональных откатах, квартирах и различных формах материальной помощи сотрудникам.

Вавиловские экспедиции, поражавшие воображение современников географическим охватом и замечательными ботаническими открытиями, давно уже стали легендой. Письма приподнимают завесу над этапами их подготовки, и становится ясно, как много выдумки и изобретательности, дипломатического такта и деловой напористости проявлял Н. И. Вавилов, добываясь разрешения посетить те или иные места, как он умел использовать для

этих целей свои обширные международные связи и личные контакты внутри страны, как велик в то же время был его научный авторитет, открывавший ему все двери.

Точно так же подготавлились и экспедиции других работников Института, с предвзвешенным и очень тщательным учетом всех мелочей и возможностей возникнуть трудностей. Н. И. Вавилов вникает во все детали и, пользуясь своим богатейшим опытом путешественника, не скучит на советы, касающиеся как организации экспедиций, так и конкретных планов по сбору тех или иных культур, наиболее интересных с точки зрения географии, генетики и эволюции культурной флоры. Отличительной особенностью этой части писем является то обстоятельство, что автор их постоянно торопит сотрудников с отчетами, требует от них все новой и новой информации, будит мысль и подстегивает воображение, одним словом, не дает им возможности ограничиться лишь сбором данных, но заставляет довести дело до конца, т. е. приготовить научную публикацию. Может быть, именно поэтому деятельность Института не только по сбору культурной флоры, но и по доведению результатов работы до научной общественности, по публикации научных трудов — экспедиционных отчетов, ботанико-географических и систематических монографий — с самого начала отличалась широтой и размахом.

В письмах разбросано много ценных замечаний об основных проблемах, исследованию и решению которых Н. И. Вавилов отдал свою жизнь, — о происхождении культурных растений, их географии и систематике, о центрах введения в культуру, границах, задачах и методах селекции растений, генетике и закономерностях формообразования, географических посевах. Письма лишней раз демонстрируют, что будучи в первую очередь исследователем культурной флоры, Н. И. Вавилов отчетливо сознавал исключительно тесную связь истории культурных растений с историей человечества и старался полностью использо-

вать арсенал историко-этнологической науки для восстановления центров происхождения и исторических ареалов культурных растений.

Письма приводят дополнительные и очень убедительные аргументы в пользу того, что Н. И. Вавилов читал постоянно и очень интенсивно не только специальные географо-ботанические и генетические сочинения, но и археологическую, этнологическую и историко-лингвистическую литературу и умел использовать ее в реконструкции основных этапов развития земледелия. Может быть, именно поэтому труды Н. И. Вавилова особенно выделяются исторической достоверностью и убедительностью на фоне аналогичных исследований, осуществляющихся в области сельскохозяйственной ботаники.

Автор рецензии, глубоко убежденный в недостаточности только одного принципа отбора в объяснении закономерностей эволюции, хотел бы подчеркнуть еще одно обстоятельство, выгукло иллюстрируемое письмами. Книга Л. С. Берга «Номогенез, или эволюция на основе закономерностей» встретила резко критическое отношение практически со стороны всех крупных исследователей в области зоологии и палеонтологии 20-х годов. Только теперь начинают обрисовываться в полной мере ее научная глубина и справедливость многих соображений Л. С. Берга, подкрепленных позднейшими исследованиями. Н. И. Вавилов, отличавшийся широтой в восприятии чужих концепций, был едва ли не единственным крупным эволюционистом, неоднократно подчеркивающим оригинальность взглядов и фундаментальность доказательств Л. С. Берга (с. 56, 73). Сейчас, когда советская общественность получила достаточно полное издание теоретико-эволюционных работ Л. С. Берга¹, когда

вновь стали спорить о защищаемых им положениях, мнение о них Н. И. Вавилова особенно интересно.

Выше уже говорилось о высоком качестве рецензируемого издания. Тем более досадны мелкие огрехи. Неправильно напечатана фамилия Ю. Н. Ломоури, отца одного из крупнейших современных грузинских историков Н. Ю. Ломоури (с. 155). Немецкое выражение «ein bischen zuviel» (с. 355) можно перевести как «несколько много», «чуть много», «слегка многовато» и т. д., но никак не «слишком спокойно».

Автор рецензии полагает, что сказанного достаточно, чтобы показать исключительное значение писем Н. И. Вавилова для истории русской биологии, анализа его творческого пути, понимания самых актуальных проблем сельскохозяйственной ботанической географии и генетики. С нетерпением будем ожидать выхода в свет второй части эпистолярного наследия Н. И. Вавилова, охватывающей 1929—1940 гг.

О природе шаровой молнии

В. И. Коган,
кандидат физико-математических наук
Институт атомной энергии
им. И. В. Курчатова
Москва

Цель рецензируемой книги — подвести итог работам ее автора по сбору наблюдений шаровой молнии и объяснению этого явления. Первые две главы книги содержат обзор и обработку материалов, собранных с помощью журнала «Наука и жизнь». Здесь использовано около 1000 случаев наблюдения шаровой молнии на территории СССР за период 1900—1976 гг. (свыше 70% наблюдений относится к послевоенному периоду 1945—1976 гг.).



И. П. Стаханов. ФИЗИЧЕСКАЯ ПРИРОДА ШАРОВОЙ МОЛНИИ. М.: Атомиздат, 1979, 240 с.

Произведено также сравнение этих данных со сведениями, опубликованными за последние 20—30 лет в других странах (около 600 случаев).

В результате этой работы получены количественные оценки шаровой молнии по размеру, времени жизни и цвету. Интересна установленная автором корреляция между размерами шаровой молнии и ее временем жизни. Впервые приводятся оценки поверхностного натяжения вещества шаровой молнии: 1—10 эрг/см². Это аномально большая величина для среды с плотностью, близкой к плотности обычного воздуха.

В противоположность моему мнению, часто высказываемому в обзорах и монографиях, автор книги приходит к выводу, что температура шаровой молнии невысока и составляет всего 200—400°С. Анализ последствий многочисленных взрывов шаровой молнии и оплавлений, которые она оставляет на металлических предметах, приводит автора к заключению, что широко принятая оценка энергии шаровой молнии, основанная на данных Б. Гудлета, сильно

¹ См.: Берг Л. С. Труды по теории эволюции. М.: Наука, 1978. См. также: Мейен С. В., Урманцев Ю. А., Алексеев В. П., Скворцов А. К. По поводу теории эволюции Л. С. Берга. — Природа, 1979, № 9, с. 113.

завышена. (Как известно, Гудлет исходил из своего наблюдения разогрева бочонка с водой, в который попала шаровая молния.) Гудлет полагает, что энергия шаровой молнии равна примерно 10 МДж, следовательно, плотность энергии $\approx 10^3$ Дж/см³. Автор книги считает, что плотность энергии шаровой молнии порядка 1-10 Дж/см³ и соответственно величина накопленной в ней энергии — от нескольких до нескольких сот килоджоулей.

В книге приведены аргументы в пользу того, что шаровая молния является источником инфракрасного излучения и излучения радиоволн, вызывающих на небольших расстояниях помехи в радиоаппаратуре. Анализируя процесс исчезновения шаровой молнии, автор приходит к выводу, что она может не только взрываться и спокойно гаснуть, но и распадаться от неустойчивостей, приводящих к раскачке поверхностных волн на ее границе с воздухом.

В третьей и четвертой главах книги дается краткий критический обзор некоторых современных гипотез о природе шаровой молнии и излагается кластерная гипотеза, выдвинутая автором в 1973 г. Согласно этой гипотезе, шаровая молния представляет собой газообразную квазинейтральную плазму, состоящую из положительных и отрицательных кластерных ионов, т. е. ионов, вокруг которых образовались большие сольватные оболочки нейтральных молекул (вероятнее всего — молекул воды), препятствующие быстрой рекомбинации этих ионов. На основе имеющихся в литературе данных рассмотрены возможные структуры гидратированных ионов H^+ и OH^- . Исходя из решения уравнений химического равновесия для реакции гидратации ионов, автор дает оценку энергии и плотности вещества, которыми обладает при атмосферном давлении смесь гидратированных ионов H^+ и OH^- , если предположить, что рекомбинация их заторможена. При температуре около 600 К энергия в объеме шаровой молнии составляет

50—100 кДж, а плотность ее вещества — около $2 \cdot 10^{-3}$ г/см³. Рассматриваются также возможная причина взрыва шаровой молнии и причина колебаний интенсивности ее излучения.

На основе кластерной гипотезы и наблюдений очевидцев автор заключает, что шаровая молния возникает в короне разряда линейной молнии (а не в канале ее разряда), где температура не слишком высока и потому гидратные оболочки ионов могут сохраняться.

Общая оценка книги — самая положительная. Мало сказать, что она существенно дополняет фундаментальную монографию С. Сингера «Природа шаровой молнии» (М.: Мир, 1973). Она имеет собственное лицо, отличается свежестью и определенностью подхода к проблеме, обилием интересных суждений и убедительных физических оценок, на основании которых автор смело сокращает число конкурирующих гипотез о природе шаровой молнии.

Еще рано судить, сделали автором решающий шаг в объяснении природы шаровой молнии, но даже независимо от этого его трактовка обладает несомненными достоинствами в сравнении с энциклопедически подробной, но более описательной и несколько «всеядной» монографией Сингера. В этом смысле рецензируемая книга может служить поучительным образцом современного научного подхода к анализу проблематичных, зыбких, многовариантных ситуаций, одним из наиболее ярких примеров которых, без сомнения, является шаровая молния. Вспомним, что сама реальность этого явления еще недавно казалась отнюдь не бесспорной, и далеко не ясно, к чему была в этом отношении шаровая молния ближе — к давно апробированным наукой метеоритам или же к пресловутым НЛО.

Остается добавить, что и написана книга ясно, живо и остроумно.

Неудивительно, что книга И. П. Стаханова очень

быстро разошлась. По-видимому, назрел вопрос о втором ее издании, дополненном данными о новых наблюдениях и новой аргументацией в пользу кластерной гипотезы. В этой связи хотелось бы высказать пожелания об усовершенствованиях, которые автору вполне по плечу и не потребуют заметного увеличения объема текста.

1. Целесообразно было бы привести дополнительные физические пояснения такой важной характеристики шаровой молнии, как поверхностное натяжение ее вещества σ , а именно: не ограничиваясь «феноменологической» оценкой величины σ , попытаться вывести ее, хотя бы на грубо качественном уровне, исходя из соображений, связанных с конкретным механизмом явления.

2. Следовало бы несколько подробнее, чем это сделано в настоящем издании, изложить небольшое число «конкурентоспособных» гипотез о природе шаровой молнии, в частности химическую гипотезу, разрабатываемую Б. М. Смирновым.

3. Можно было бы сделать попытку хотя бы краткого «сквозного» сравнительного анализа основных конкурирующих гипотез. Нам представляется, что результаты такого анализа было бы полезно обобщить в виде таблицы с двумя входами: по одной оси — перечень гипотез, по другой — перечень подлежащих объяснению свойств шаровой молнии. В каждой клетке таблицы должно быть поставлено суждение автора о том, в какой мере та или иная гипотеза объясняет соответствующее свойство шаровой молнии, а если возможно, то и порядок величины остающегося количественного расхождения по данному свойству (скажем, 3, 10, 100 и т. д.). Такая таблица не только привнесла бы существенный элемент обзорности в проблему шаровой молнии, но могла бы оказаться полезной для анализа других многовариантных ситуаций.

Техника

В. А. Гурьяков. ВОЗНИКНОВЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ. Отв. ред. И. И. Пахомов и И. А. Апокин. М.: Наука, 1981, 191 с., ц. 1 р. 10 к.

В настоящее время оптико-электронные приборы находят самое широкое применение в науке и технике. С их помощью осуществляются видение и фотографирование в темноте, измерение температуры воздуха на расстоянии, навигация, стыковка и связь в космосе, проводится химический анализ веществ по спектрам поглощения и излучения и т. д.

Книга является первым исследованием развития оптико-электронного приборостроения от его истоков до современных систем, от открытия и ранних исследований теплового излучения, развития представлений о единстве природы теплового излучения и света до лазера и использования в оптико-электронной технике принципов бионики.

Автор показывает, что оптоэлектроника выделяется в самостоятельную область науки и техники, выявляет ее общие закономерности (использование методов математического моделирования, перенос идей и принципов других наук), намечает пути дальнейшего развития.

Книга рассчитана на научных и инженерно-технических работников и всех интересующихся вопросами истории науки и техники.



Биология

Э. Пивака. ЭВОЛЮЦИОННАЯ ЭКОЛОГИЯ. Пер. с англ. А. М. Гилларова и В. Ф. Матвеева под ред. М. С. Гилярова. М.: Мир, 1981, 392 с., ц. 2 р. 20 к.

Автор монографии — известный американский эколог, специалист в области популяционной экологии животных,

собрал и систематизировал в своей книге взгляды многих американских экологов. Как известно, экология возникла как описательная наука. С тех пор многое изменилось. Сейчас экологи стремятся понять и объяснить механизмы взаимодействия организмов между собой и с неживой природой. При разработке общей экологической теории создаются математические модели, на основе которых возможны прогнозы, доступные экспериментальной проверке. Однако модель не будет правильной, если в ее основе лежат неверные биологические допущения, поэтому главное внимание в книге уделено основным законам экологии.

В книге 9 глав, в которых автор последовательно рассматривает такие основные вопросы, как воздействие физических факторов среды, взаимодействие климата и растительности, физиологическую экологию, принципы популяционной экологии, взаимоотношения между популяциями, различные экологические ниши, структуру сообществ, вопросы биогеографии.

Основное достоинство книги — в лаконичности изложения этого обширного и сложного материала в сочетании с живой, доступной формой подачи. Книга представляет интерес для самого широкого круга биологов.

Этология

Д. Колдузья, М. Колдузья. МИР БУТЫЛКОНОСОГО ДЕЛЬФИНА. Пер. с англ. И. И. Шуваловой под ред. А. С. Соколова. Л.: Гидрометеиздат, 1980, 136 с., ц. 65 к.

Авторы книги, Дэвид и Мелба Колдузья, досконально изучили поведение одного из самых интересных видов морских млекопитающих — бутылконового дельфина (афалины). В этой книге, пожалуй, впервые дано полное описание жизнен-

ного цикла бутылконосых дельфинов, их поведение в неволе и в природе. В книге отражен огромный опыт, накопленный во время работы с дельфинами в океанариуме. Большое внимание уделяют авторы экологической системе дельфинов, делая основной акцент на ее роли в общении животных между собой.

По мнению многих специалистов, исследования Колдузья весьма перспективны, поскольку в недалеком будущем именно бутылконосы дельфин может стать первым домашним животным из числа морских млекопитающих.

Написанная живо и доступно, книга представляет большой интерес для самого широкого круга читателей.

Ботаника

В. В. Петров. ВЕСНА В ЖИЗНИ ЛЕСА. М.: Наука, 1981, 143 с., ц. 55 к.

Эта научно-популярная книга является продолжением серии книг того же автора, посвященной растительному миру.

Данная книга рассказывает о том, какие явления можно наблюдать в жизни лесных растений — деревьев, кустарников, трав — в весеннее время. Как пишет автор, «весна — особый и неповторимый период сгущения событий в растительном мире, непрерывный и удивительный калейдоскоп природных явлений».

Особенностью изложения является то, что освещаются сразу несколько сторон жизни описываемых растений — их внешность, строение, экология и утилитарное значение.

Хотя книга невелика по объему, она насыщена обильной информацией. Предваряет основную часть книги интересная глава о том, как зимуют лесные растения. Отдельная глава по-

священа ранним грибам. Примечательна последняя глава — о развитии леса в разные годы и в разных природных условиях. Приведенные факты ярко иллюстрируют непохожесть развития лесного сообщества в разные годы, что является важным аргументом против слишком упрощенного подхода к прогнозированию развития экосистем.

Книгу удачно дополняют хорошие цветные и черно-белые фотографии. Читатели найдут в ней хорошего спутника в интересных экскурсиях по весеннему лесу.

Геофизика

Е. А. Величко, Е. А. Контарь, О. К. Тареева. ЗА РУДОЙ В ГЛУБИНЫ ОКЕАНА. М.: Недра, 1980, 96 с., ц. 45 к.

В девяти главах этой небольшой научно-популярной книги рассказывается о проблеме освоения и добычи руд, залегающих на океанском дне. Авторы знакомят читателя с изменениями, которые за прошедшие два-три десятилетия произошли в науках об океане, и о новых технических средствах морской геологии. Использование эхолота и ультразвука, геофизических методов, а в последнее время и глубоководного бурения дали такие научные результаты, которые позволяют говорить о второй эпохе великих географических открытий — подводных.

В книге приводятся сведения о строении земной коры на континентах и в океанах, о формировании рудного вещества, образовании россыпных месторождений на берегах морей и океанов и на шельфе. Описана история открытия и изучения марганцевых конкреций (по оценкам советских исследователей их запасы только на тихоокеанском дне составляют $0,9 \cdot 10^{11}$ т).

Авторы рассказывают о техническом оборудовании, с помощью которого сегодня добывают руду с океанского дна. Для разработки в открытых частях океана теперь используются плавучие платформы, на которых размещаются добывающие установки и агрегаты.

Особое внимание уделено проблеме нарушения природной среды в связи с инженерными и горными работами на дне морей и океанов.

География

С. А. Ковалев, Н. Я. Ковальская. ГЕОГРАФИЯ НАСЕЛЕНИЯ СССР. М.: Изд-во МГУ, 1980, 285 с., ц. 75 к.

В рамках географии населения исследуются самые разнообразные проблемы, процессы и явления: естественное движение и структура населения, социальный состав населения и уровень его образования, трудовые ресурсы, этнические процессы и география народов, расселение и его формы (основные типы населенных мест), процессы урбанизации и агломерирования населения, сельское расселение, миграции населения, заселенность территории и др. При этом преследуются многообразные практические, теоретические и общекультурные цели. Все эти аспекты подробно, систематично и вместе с тем популярно разбираются в книге С. А. Ковалева и Н. Я. Ковальской, являющейся учебным пособием для студентов-географов. Большое количество карт, графиков, схем и таблиц способствует более глубокому восприятию содержания в ней богатого и фактами, и обобщениями материала.

География

Г. Г. Мартинсон. ЗАГАДКИ ПУСТЫНИ ГОБИ. Л.: Наука, 1980, 147 с., ц. 40 к.

Книга представляет собой путевые очерки, в которых автор, работавший на протяжении 12 лет (1967—1978) в Советско-Монгольской палеонтологической экспедиции, рассказывает об увлекательных путешествиях по Монголии и не менее увлекательных научных исследованиях, проводившихся в пустыне Гоби. Здесь еще в 20-х годах были обнаружены огромные скопления ископаемых остатков флоры и фауны, хорошо сохранившиеся потому, что эта территория за протя-

жении 200 млн лет, с палеозоя до наших дней, не покрывалась морями. Благодаря выветриванию ископаемые флора и фауна оказались почти на поверхности и сравнительно легко поддаются раскопкам и изучению.

Многое в геологической истории этого края удалось выяснить Советско-Монгольской палеонтологической экспедиции, истоки которой восходят к 1946 г., когда в пустыню Гоби прибыл небольшой отряд советских палеонтологов под руководством известного ученого и писателя-фантаста И. А. Ефремова.

Исследования последних лет, проведенные экспедицией, позволили получить геологические и палеонтологические данные о существовании на месте пустыни в отдаленные эпохи обширных озерных систем. С ними была связана жизнь своеобразных водных беспозвоночных, черепах, крокодилов и гигантских динозавров.

Эта книга — второе после 1974 г. издание, значительно переработанное и дополненное новыми данными и иллюстрациями, среди которых — изображения ископаемых динозавров, выполненные художником А. Б. Маслобоевым.

Этнография

Т. М. Митяйлов. ИЗ ИСТОРИИ БУРЯТСКОГО ШАМАНИЗМА (С ДРЕВНЕЙШИХ ВРЕМЕН ДО XVIII В.). Отв. ред. П. Б. Коновалов. Новосибирск: Наука, 1980, 320 с., ц. 1 р. 90 к.

На анализе археологического, этнографического, фольклорного, исторического и лингвистического материалов в книге реконструируются религиозные представления прибайкальских народов эпохи раннего и развитого родового строя, образования первых государственных объединений в Центральной Азии и Южной Сибири.

Автор исходит из представлений о шаманизме как форме религиозного сознания, которое, как всякое конкретное историческое явление, имеет свои особенности у каждого народа, обусловленные его общественно-экономическим и

культурно-историческим развитием.

В книге дана подробная историографическая справка об изучении шаманской религии, ее становлении и эволюции. Определяющими моментами этого процесса является антропоморфизация прежних зооморфных образов духа, в которых олицетворяются общественно-природные силы, появление патриархального культа предков, складывание иерархии служителей культа. Автор провел сравнительный анализ традиционных верований бурят, монголов и тюркских народов Сибири, установив их генетические связи.

Книга предназначена для этнографов, исследователей религии, историков, краеведов и всех, кто интересуется историей культуры.

Археология

А. П. Окладников. ПЕТРОГЛИФЫ МОНГОЛИИ. Л.: Наука, 1981, 228 с., ц. 5 р. 30 к.

Памятники наскального искусства (петроглифы) чрезвычайно ценны тем, что они открывают современным людям возможности хотя бы отчасти узнать мир — религиозные и космологические представления, быт, обряды — древних людей, не оставивших своей письменной истории. Петроглифы Монголии хронологически охватывают самые разные периоды — от эпохи палеолита до наших дней. Изображая людей и животных в самых разных ситуациях — во время охоты, религиозных обрядов и др., — они вскрывают взаимоотношения человека с миром природы, помогая восстановить мифологию и художественное выступление в его эволюции. Во вступительной статье автор описывает

историю открытия петроглифов, технику гравировки, дает описание каждого наскального изображения.

Книга богато иллюстрирована.

История науки

Е. П. Ожигова. МАТЕМАТИКА ПЕТЕРБУРГСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК В КОНЦЕ XVIII — ПЕРВОЙ ПОЛОВИНЕ XIX в. Под ред. А. П. Юшкевича. Л.: Наука, 1980, 221 с., ц. 1 р. 70 к.

В книге рассмотрен малоизученный период деятельности Математического салона Петербургской Академии наук, наступивший после смерти Л. Эйлера (1783) и продолжавшийся до прихода в Академию П. Л. Чебышева (1853).

В соответствии с пониманием в XVIII в. термина «математика» — как комплекса точных наук, включающего механику, астрономию, многие разделы физики, навигацию, географию, баллистику — автор посвящает отдельные главы книги работам академиком в этих областях. При этом используются архивные материалы, многие из которых вводятся в научный оборот впервые. Целая глава отведена изложению биографий ученых, среди которых имена Н. И. и П. Н. Фуссов, С. Е. Гурьева, В. И. Висковатова, Э. Д. Коллинса, М. В. Остроградского, В. Я. Буняковского.

Поскольку Академия того времени была не только научным, но и в значительной степени общественно-организационным центром, автор останавливается на различных аспектах многогранной деятельности Академии. Рассмотрены, в частности, взаимоотношения Академии с новыми университетами и вузами стра-

ны (этот аспект особенно интересен, если иметь в виду постепенную утрату Академией монополии на математические исследования и их публикацию), связи с иностранными академиями, подготовка научных кадров, проведение курсов по математическим наукам, рецензирование поступающих в Академию сочинений.

История науки

Викт. И. Спицын, Н. К. Ламан. ВЛАДИМИР ИВАНОВИЧ СПИЦЫН, 1893—1923. Отв. ред. А. В. Новоселова. М.: Наука, сер. «Научно-биографическая литература», 1981, 168 с., ц. 60 к.

В. И. Спицын был одним из первых в России исследователей в области радиоактивности и химии радиоактивных веществ, инициатором применения радиоактивных индикаторов для исследования химических свойств веществ (метод меченых атомов). Авторы книги показывают широту научных интересов молодого ученого, комплексный характер его работ. Большое внимание уделяется участию В. И. Спицына в создании в нашей стране промышленности редких элементов, в разработке методов получения редких элементов из руд.

В конце книги приводятся ставшие библиографической редкостью статьи В. И. Спицына: «Эволюция понятия химического элемента», «Быстрый метод количественного определения урана и тория в радиоактивных минералах» и «О механизме выделения эманиции радия из радиоактивных минералов в жидкие среды», а также письма к И. А. Каблукову и В. И. Вернадскому.

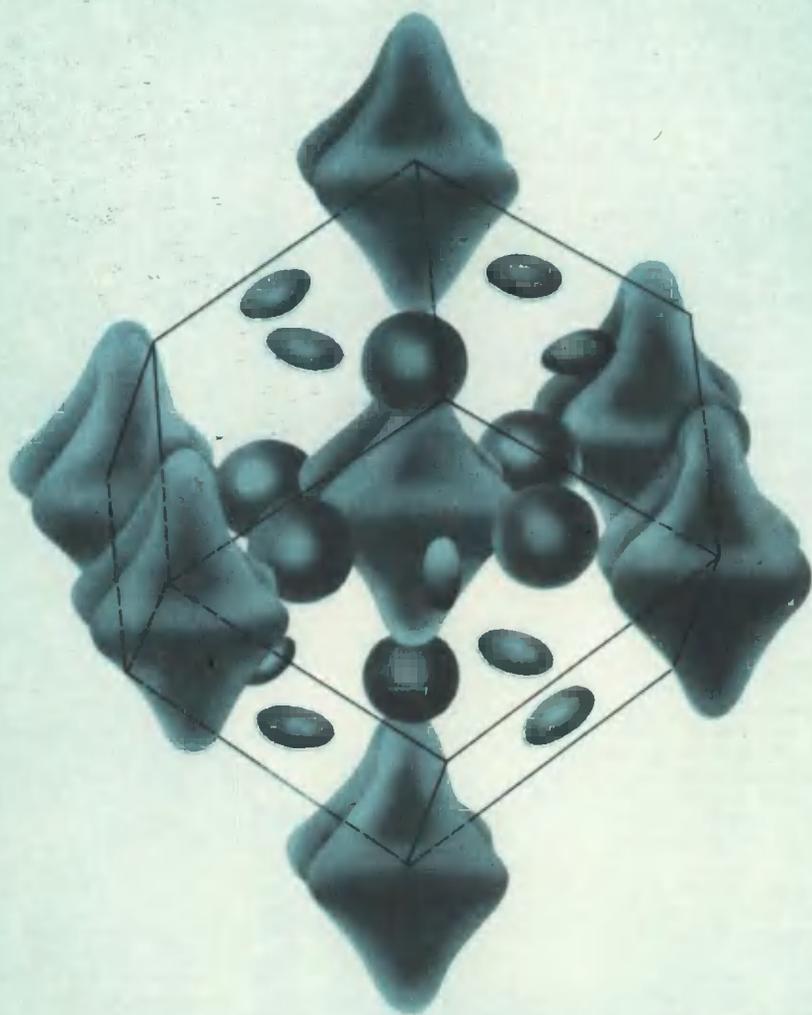
Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

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

Сдано в набор 4.06.81
Подписано к печати 13.07.81
Т—22119.
Формат бумаги 70×100 1/16
Усл.-печ. л. 10,4 Уч.-изд. л. 15,5
Усл. кр.-отт. 2196,0.
Бум. л. 4
Тираж 82 000 экз. Зак. 1426

Чеховский полиграфический комбинат Союзполиграфпрома Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли. г. Чехов, Московской области.





Цена 50 коп.
Индекс 70707