

ISSN 0032 — 874X

6 ПРИРОДА

1983





РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор
академик
Н. Г. БАСОВ

Заместитель главного редактора
кандидат физико-математических наук
А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук
Е. В. АРТЮШКОВ

Академик
Д. К. БЕЛЯЕВ

Член-корреспондент АН СССР
Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук
А. А. ВЕЛИЧКО

Член-корреспондент АН СССР
В. А. ГОВЫРИН

Член-корреспондент АН СССР
И. Р. ГРИГУЛЕВИЧ

Член-корреспондент АН СССР
Г. А. ЗАВАРЗИН

Член-корреспондент АН СССР
В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук
Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук
С. П. КАПИЦА

Академик
Б. М. КЕДРОВ

Доктор физико-математических наук
И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук
А. А. КОМАР

Академик
Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук
И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук
Г. Э. МАРКОВ

Доктор экономических наук
МЕДВЕДЕВ

Заместитель главного редактора
В. А. ОЛЕНЧИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУШКОВ

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

Доктор философских наук
Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора
доктор биологических наук
А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР
А. А. СОЗИНОВ

Академик
В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук
М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора
кандидат технических наук
А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора
член-корреспондент АН СССР
Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Член-корреспондент АН СССР
В. Е. ХАИН

Член-корреспондент АН СССР
Р. Б. ХЕСИН

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

Академик
В. А. ЭНГЕЛЬГАРТ

На первой и четвертой страницах обложки.
Глухарь (*Tetrao urogallus major*) в Березинском биосферном заповеднике. Березовая роща на месте бывшей пашни. См. в номере: Парфенов В. И., Кудин М. В. Березинский биосферный заповедник.

Фото Н. А. Шарая.

В НОМЕРЕ

Парфенов В. И., Кудин М. В. Березинский биосферный заповедник	2
Бухштабер В. М., Гиндикин С. Г. От принципа Кавальери к томографу	12
Тюрюков С. Н. Европейский хариус в Подмоскowie	25
Вайсберг О. Л., Зеленый Л. М. Взаимодействие солнечного ветра с Венерой	26
Струнников В. А. Инженерия оплодотворения	32
Грамберг И. С. Геологическая история морской воды	44
Абелев Г. И. Проблемы исследовательской лаборатории	51
Иванов С. Н. Предыстория геосинклиналей (на примере Урала)	60
Шашкина Т. Б. Серебряные колокола	69

Б. С. КУЗИН И А. А. ЛЮБИЦЕВ О СИСТЕМАТИКЕ

Скворцов А. К. Давняя дискуссия и современность	74
Из переписки Б. С. Кузина и А. А. Любичева (1943—1950)	77

Шевченко Ю. С., Прусевич А. А., Руднев С. Н. Самый большой водопад Алтая	88
Огурцов А. П. Концепция науки Бернардо Больцано	90
Золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1982 г.	98
Зельдович Я. Б. Юлий Борисович Харитон и наука о взрыве	99

НОВОСТИ НАУКИ

103

Релятивистский эффект в движении двойной звезды • Рентгеновский источник на месте γ -всплеска • Измерения электрического поля в хвосте магнитосферы • Запуски космических аппаратов в СССР (январь — февраль 1983 г.) • Сверхтонкое расщепление в мюонии • Полупроводниковые сверхрешетки • Лазерное возбуждение когерентного высокочастотного звука • Бароластический эффект при сверхпластичности • Лазер новой конструкции • Порошковая металлургия аморфных металлов • Клонированы гены сладкого белка • Новые противопухолевые антибиотики • Высокоактивные ферменты кальмаров • Новое о гормонах • Возраст, курение и остеопороз • Регистрация нервных процессов в коре головного мозга • Сон у тюленей • Акулы в водохранилище • Новая экзокринная железа у муравьев • Природная ловушка для мамонтов • Последствия нефтяной катастрофы • Загрязнение воздуха в США • Новый геологический период? • Столкновение Евразии и Индии • Энергетические ресурсы Северного моря • Крупные неоднородности в строении земной коры • Гипотеза дифференциальных движений в литосфере • Сейсмический «шторм» на востоке США • Марганец на дне океана • «Черные курильщики» на дне Марианского трога

РЕЦЕНЗИИ

118

Соколов Б. С. Полвека размышлений о биологии (на кн.: Любичев А. А. Проблемы формы, систематики и эволюции организмов). **Медников Б. М.** Острые проблемы медицинской генетики (на кн.: Милунски Обри. Знайте свои гены)

НОВЫЕ КНИГИ

123

Ляпунов А. М. Лекции по теоретической механике • **Салем Л.** Чудесная молекула • **Шуиолюков Ю. А.** Продукты деления тяжелых элементов на Земле • **Зони С. В.** Железо в почвах • Жизнь растений • **Клаудели-Томпсон Дж.** Миграция животных • **Дорошенко А. Р.** Зороастрийцы в Иране • **Шмидт Е. А.** Древнерусские археологические памятники Смоленской области • **Азимов А.** Краткая история химии. Развитие идей и представлений в химии

В КОНЦЕ НОМЕРА

Крылов И. Н. Знакомьтесь: животный мир будущего. (Вместо рецензии)	126
---	------------



Березинский биосферный заповедник

В. И. Парфенов,

Член-корреспондент АН БССР

директор Института экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича АН БССР

М. В. Кудин,

заместитель директора Березинского биосферного заповедника

Березинский биосферный заповедник — уникальное сочетание лесных природных комплексов умеренного пояса Восточной Европы — расположен в северной части Белоруссии. Его территория площадью 76,2 тыс. га довольно широкой

полосой (15—20 км) простирается на 60 км от истоков р. Березины до оз. Палик. История этого заповедника полна превратностей.

Годы военной разрухи (1914—1921) привели природные ресурсы молодой



Белорусской республики в бедственное состояние: на огромных площадях были уничтожены леса; полностью исчезли многие дикие животные (зубр, лань, дикий лесной кот) и птицы (серый гусь, баклан); на грани исчезновения оказались лось, олень, косуля, дикий кабан, бобр, медведь, выдра, куница; лишь изредка встречались еще недавно многочисленные тетерева и глухарь.

В столь же бедственном положении оказались флора и фауна северной части Белоруссии — территории у истоков р. Березины. От многочисленных бобров, чьи шкурки когда-то играли роль валюты, остались лишь несколько семей. Поэтому уже в 1924 г. места обитания речных боб-

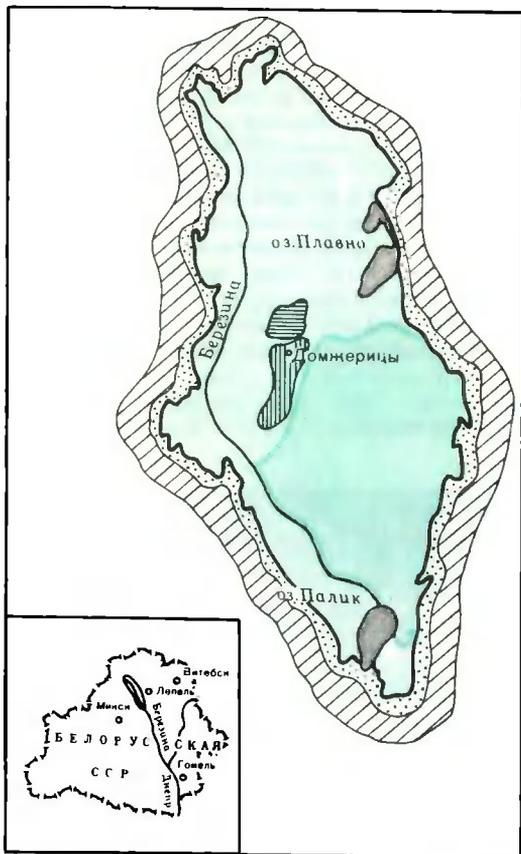
ров в Белоруссии были признаны неприкосновенными памятниками природы, а 30 января 1925 г. для охраны и размножения пернатой дичи и ценных диких животных, в особенности бобров, был организован Березинский заповедник.

К тому времени на заболоченной территории Верхнеберезинской низменности еще сохранились, хотя и в небольшом числе, многие животные Белоруссии.

Спустя три года после организации были установлены границы и площадь (67,3 тыс. га) заповедника и впервые проведена инвентаризация лесной раститель-

Верховое болото.





Карта-схема Березинского биосферного заповедника.

-  Абсолютно заповедная зона
-  Буферная зона
-  Экскурсионная зона
-  Хозяйственно-эксплуатационная зона
-  Охранная территория
-  Охранно-гидрологическая территория

ности. В 1935 г. здесь начинает развиваться научно-исследовательская работа, создается музей природы, бобровая ферма и лосепитомник. И хотя в заповеднике не было ни производственной базы, ни жилья, неустанный и самоотверженный труд его

сотрудников принес плоды: уже к этому времени увеличилась численность бобра, лося и дикого кабана.

Великая Отечественная война не только прервала разведывательные работы. Во время оккупации погибли все научные, архивные и коллекционные материалы, были сожжены административные и жилые помещения. Территория только что вставшего на ноги заповедника стала базой 11 партизанских бригад. В девственных березинских лесах развернулись ожесточенные бои. И снова животный и растительный мир истоков Березины оказался в тяжелейшем положении.

После освобождения Белоруссии возобновляется деятельность заповедника. Вновь строятся административные и жилые здания, налаживается охрана заповедных территорий, восстанавливаются разрушенные войной лосепитомник и бобровая ферма, создается новый музей природы. В заповеднике организовывается научный отдел (в то время он назывался зоосектором и состоял из трех научных сотрудников и технического персонала). Его задачи были весьма ограничены — научные сотрудники занимались в основном разработкой методов клеточного разведения бобров для дальнейшего внедрения их в звероводство. В заповеднике стали регулярно учитывать диких животных, работа его налаживалась. Но возникли новые осложнения.

В 1951 г. Березинский заповедник был преобразован в республиканский охотничий заказник, и вместо охраны и заповедания началась вырубка леса и охота на диких зверей. За семь лет существования заказника было уничтожено больше 4 тыс. га лесов. Естественно, снизилась и численность их обитателей — косули, кабана, куницы, глухаря, тетерева.

В 1958 г. заказник был вновь преобразован в Березинский заповедник в прежних его границах, существовавших до 1951 г. С 1 января 1959 г. он возобновил свою деятельность. В первые же 10 лет после восстановления ботаники и зоологи научно-исследовательских институтов Академии наук БССР и самого заповедника начали работы по изучению и охране флоры и фауны.

В 1969 г. заповедник вышел из республиканского подчинения и был передан в ведение Главного управления по охране природы, заповедникам, лесному и охотничьему хозяйствам Министерства сельского хозяйства СССР. С этого времени началась становление Березинского запо-

ведника как полноценного комплексного научно-исследовательского учреждения природоохранного профиля.

Около 60% всей площади Березинского заповедника — заболоченная часть Верхнеберезинской низменности, образованной в последнее Валдайское оледенение на месте приледникового озера. Пойменная и приозерная равнины покрыты торфяниками, образование которых связано с зарастанием рек и озер также ледникового происхождения.

Через всю территорию заповедника тянется его главная водная артерия — р. Березина, принимающая в своем пути около 50 притоков. Она-то в значительной степени и определяет характер водного режима. Важную роль в гидрологии заповедника играют также озера. Некоторые из них проточны, так как образовались в расширениях речных русел. Их низкие заболоченные берега заросли тростником и камышами.

На территории заповедника обнаружено 760 видов сосудистых растений, принадлежащих к 366 родам и 94 семействам. Самые многочисленные по количеству родов — семейства злаков и сложноцветных. Есть здесь и орхидные: башмачок настоящий (*Cypripedium calceolus*), пыльцеголовник красный (*Cephalanthera rubra*), поллопестник зеленый (*Coeloglossum viride*), тайник сердцевидный (*Listera cordata*), ладьян трехнадрезный (*Corallorhiza trifida*). Иногда одиночно или небольшими популяциями встречаются гладиолус черепитчатый (*Gladiolus imbricatus*), ирис сибирский (*Iris sibirica*). В озере Палик растет редкая для белорусских водоемов наяда малая (*Najas minor*). Почти все эти растения внесены или в «Красную книгу БССР», или «Красную книгу БССР».

Бриофлора Березинского заповедника включает 216 видов из классов антоцеротовых, печеночников и мхов.

Большую часть заповедника (63,5 тыс. га, или 83,6% всей его площади) занимают леса. Самая распространенная древесная порода — сосна обыкновенная (45,4% лесных массивов), причем более половины ее растет на болотах. Крупных еловых лесов в заповеднике нет, только островками на низинных болотах да на их окраинах встречаются небольшие ельники. В южной части заповедника в пойме Березины небольшими участками растут широколиственные породы — дуб и ясень, а в юго-восточной сплошными массивами тянутся черноольшаники; вдоль всего течения Березины и ее притоков, по берегам

озер и по краям переходных болот растет береза пушистая. Нынешние березняки появились на сосновых и еловых вырубках и участках, бывших сельхозугодьями. Другие мелколиственные породы — осина и серая ольха — встречаются небольшими участками по всей территории заповедника, там, где раньше были ельники и росли широколиственные леса.

Огромную научную и практическую значимость имеют болота, занимающие около 60% территории заповедника. Есть здесь заболоченные участки в 2—3 тыс. га, а некоторые до 11 тыс. га; основная же часть — болота немногим больше 1000 га. Все типы и категории болот, а также их растительные ассоциации, известные в БССР, имеются на территории заповедника.

Березинские леса издавна славилась разнообразием зверей и птиц. В прошлом здесь водились зубры, олени, россомахи, дикие лесные лошади тарпаны, а соболь и бобр были объектами промысла. К настоящему времени изменился и видовой состав животных, и их численность. Некоторые из исчезнувших животных снова завезены в заповедник. В 1955 г. в березинские леса выпущен европейский благородный олень (81 животное). К сожалению, сейчас осталось 65 оленей, остальные стали жертвой размножившихся в заповеднике волков (по учетам 1982 г. их число достигло 75, в то время как в 1960 г. был один волк, а максимальное их количество — 117 приходилось на 1979 г.).

В 1966 г. из Беловежской пушицы прибыла первая партия зубров. Животные освоились в заповеднике и стали размножаться: если в 1974 г. их насчитывалось только 5, то в 1982 г. было уже 18. По сравнению с 1960 г. число лосей увеличилось со 173 до 820, кабанов — со 100 голов до 550 (в 1972—1976 гг. их было больше 1000).

Речного бобра, ради восстановления и охраны которого и был создан Березинский заповедник, в то время было около 20 семей. К 1960 г. их было уже 503, через три года стало 629 и 400 были вывезены для расселения в другие районы страны; в отдельные годы их численность превышала 800, в 1982 г. при подсчете удалось обнаружить 648 животных.

Из крупных хищников водятся бурый медведь (в 1982 г. в заповеднике было 20 особей, а на территории Белоруссии он встречается еще только в Витебской области), волк, рысь, обыкновенная лисица — исконные обитатели заповедника. В 1936—1937 гг. в Белоруссию завезли



Зубры.

Учет животных по следам.

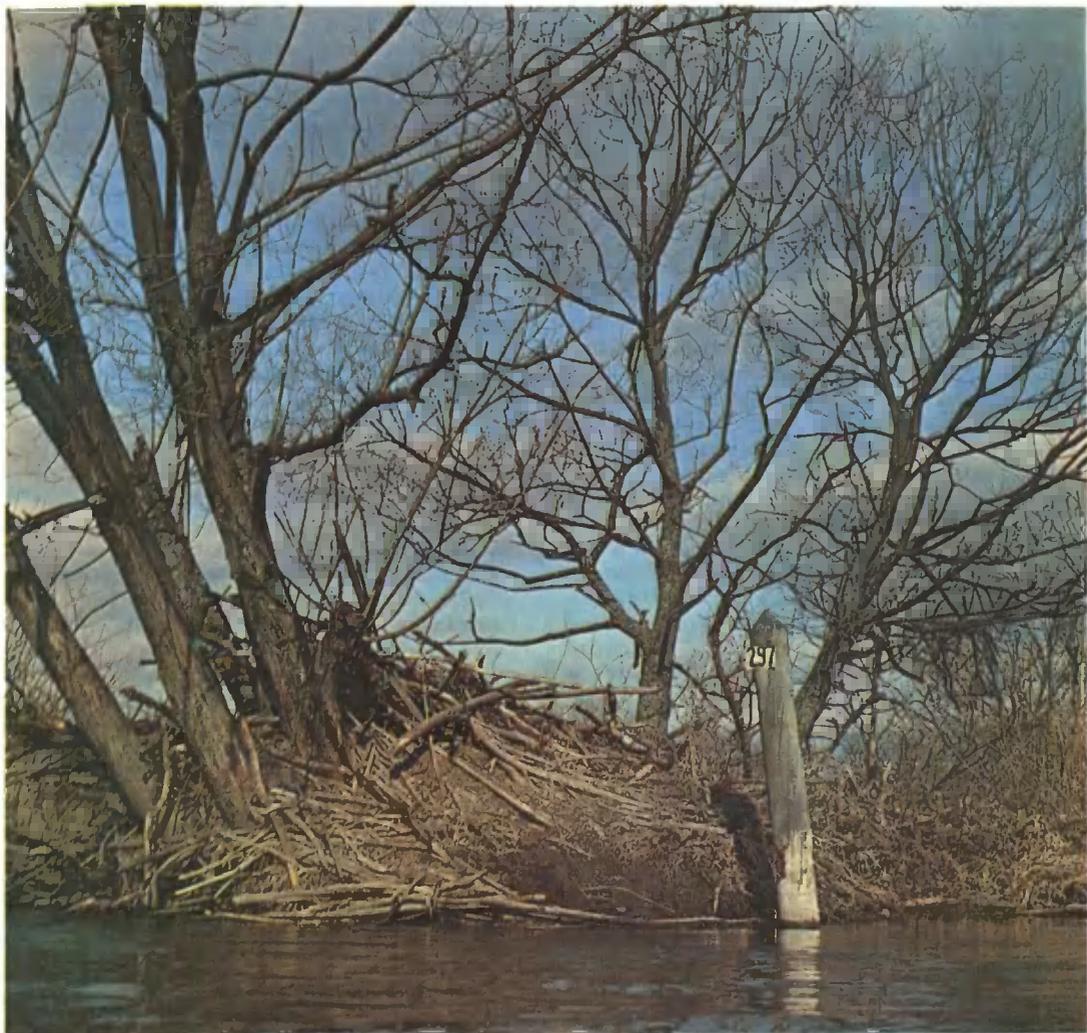
Тетерея.

Хатки речных бобров.

Молодой речной бобр.

Волчата.





уссурийскую енотовидную собаку. В лесах заповедника с благоприятными для нее условиями обитания она так размножилась, что сейчас уже необходимо регулировать ее численность.

Из семейства куньих в заповеднике обитают куница лесная, барсук, хорь, горностай, ласка. По всему бассейну верховья Березины расселилась американская норка, выпущенная в 1953—1954 гг. в окрестностях оз. Палик.

Особенно богаты и разнообразны в заповеднике пернатые. На низинных болотах много рябчика (эта строго лесная птица, спасаясь от охотников, вынуждена была покинуть обжитые места и переселиться в болотистую местность после того, как леса были вырублены во время существования охотничьего заказника), тетерева; сосняки верховых болот — излюбленные угодья глухаря, а безлесые болота — белой куропатки. На озерах, реках и в заболоченных поймах часто встречаются кряква и чирки, гнездится серая утка; во время перелетов на озерах отдыхают стаи гоголей, морянок, морской и хохлатой черны, синьги; здесь же можно увидеть гусей и крохалей. В пойме Березины обосновались многочисленные цапли и журавли, а в непроходимых лесах из черной ольхи гнездится черный аист.

Разнообразны в заповеднике и хищные птицы: днем вылетают на охоту ястребы — тетеревиатник и перепелятник, черный коршун, канюк, большой и малый подорлики, чеглок, пустельга, болотный лунь. Иногда можно встретить беркута, осоеда и скопу, а с наступлением сумерек отправляются за добычей крупный, размером с орла, филин, совы без «ушей» — длиннохвостая и обыкновенная неясыти, похожие на миниатюрного филина ушастая и болотная совы, домовый, мохноногий и воробьиный сыч — самый маленький из сов, всего лишь с воробья величиной.

В заповеднике обилие мелких насекомоядных птиц — более 50 видов. На зимовку прилетают обитатели более северных районов страны — мохноногий канюк, хохлатый жаворонок, снегирь.

Современные природные комплексы заповедника неоднородны по своей сохранности: в нетронutom состоянии остались только болотные массивы, остальная же часть свойственных данной зоне природных комплексов так или иначе изменена хозяйственным воздействием. С 1979 г., когда заповедник был переведен в разряд биосферных, его территория

разделена на четыре зоны, в каждой из них поддерживается различный режим охраны.

Зона абсолютной заповедности (35 тыс. га) занимает южную часть по левобережью Березины. Эти места или совсем не изменены человеком, или антропогенное влияние сказалось очень незначительно. Здесь есть почти все природные комплексы, характерные для зоны темнохвойно-широколиственных лесов. В зоне абсолютной заповедности запрещено любое вмешательство человека, кроме научных исследований и наблюдений.

Буферная зона (около 30 тыс. га) начинается от северных границ заповедника и тянется до абсолютно заповедной зоны. В буферной зоне допускается регулирование численности животных для поддержания необходимого равновесия в биоценозах и санитарные рубки леса.

Хозяйственно-эксплуатационная зона (около 7 тыс. га) включает земли бывших здесь ранее колхозов и присадебные участки сотрудников заповедника. Поскольку эта небольшая зона, находящаяся внутри буферной, сильно изменена хозяйственной деятельностью человека, в ней проводятся исследования по выявлению характера и степени изменений биоценозов, подвергшихся интенсивному антропогенному прессу.

И наконец, экскурсионная зона — небольшой участок тоже внутри буферной зоны. Здесь можно осмотреть музей природы заповедника и демонстрационные вольеры с дикими животными.

Сейчас в Березинском биосферном заповеднике проводятся работы по комплексному изучению природы хвойных и хвойно-широколиственных лесов, сфагновых болот и других элементов ландшафта Верхнеберезинской низменности; выясняется гидрологическая роль болот в верховьях Березины; разрабатываются методы охраны, воспроизводства и рационального использования природных ресурсов; изучаются биологические, экологические и морфологические особенности наиболее ценных растений и животных и их популяций.

Из 14 проектов программы МАВ в Березинском заповеднике выполняются исследования по трем:

Проект № 2. «Экологическое воздействие различных видов землепользования и практики хозяйствования на леса умеренной зоны и Средиземноморья»;

Проект № 8. «Сохранение природных районов и содержащегося в них генетического материала»;

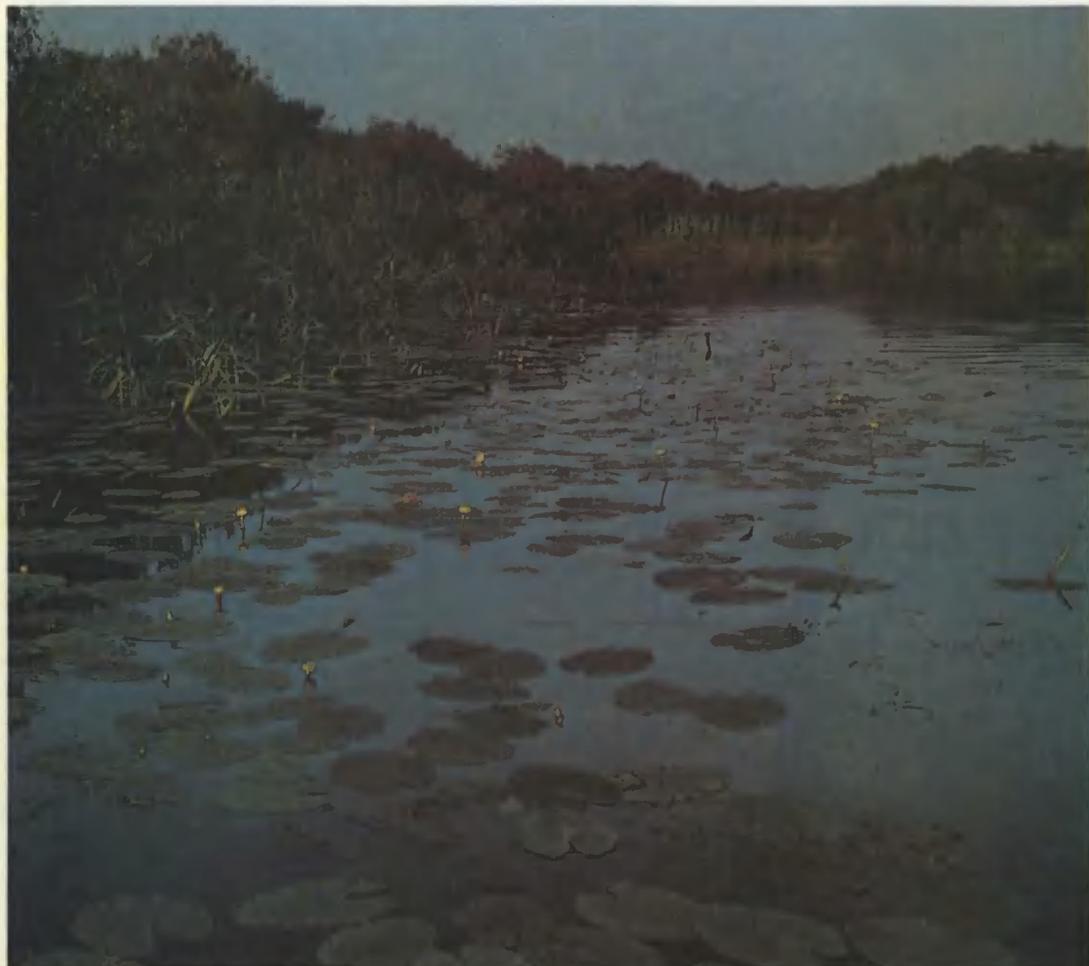


Гнездо скопы.

Проект № 14. «Изучение загрязнения окружающей среды и его влияния на биосферу».

Биосферные заповедники и прилегающие к ним (или включенные в них) территории — важнейший источник сведений о состоянии и изменениях экосистем и биосферы в отдельных административных и естественноисторических областях, странах и во всем мире. В Березинском биосферном заповеднике развернуты раз-

носторонние исследования для выявления степени антропогенного воздействия на природные экосистемы и лесной ландшафт. Участвуют в этих работах научный коллектив заповедника и ученые институтов Академии наук БССР. Детально изучаются гидрологический режим и продуктивность растительности болот и водоемов, закономерности строения и развития лесов, проводится анализ фауны в различных биотопах. Намечен мониторинг геофизической среды, биологических компонентов экосистем заповедника и лесных биогеоценозов. Сохранить современный природный ландшафт, уникальное сочетание лесных и болотно-озерных комплексов — задача Березинского биосферного заповедника.



Река Березина.

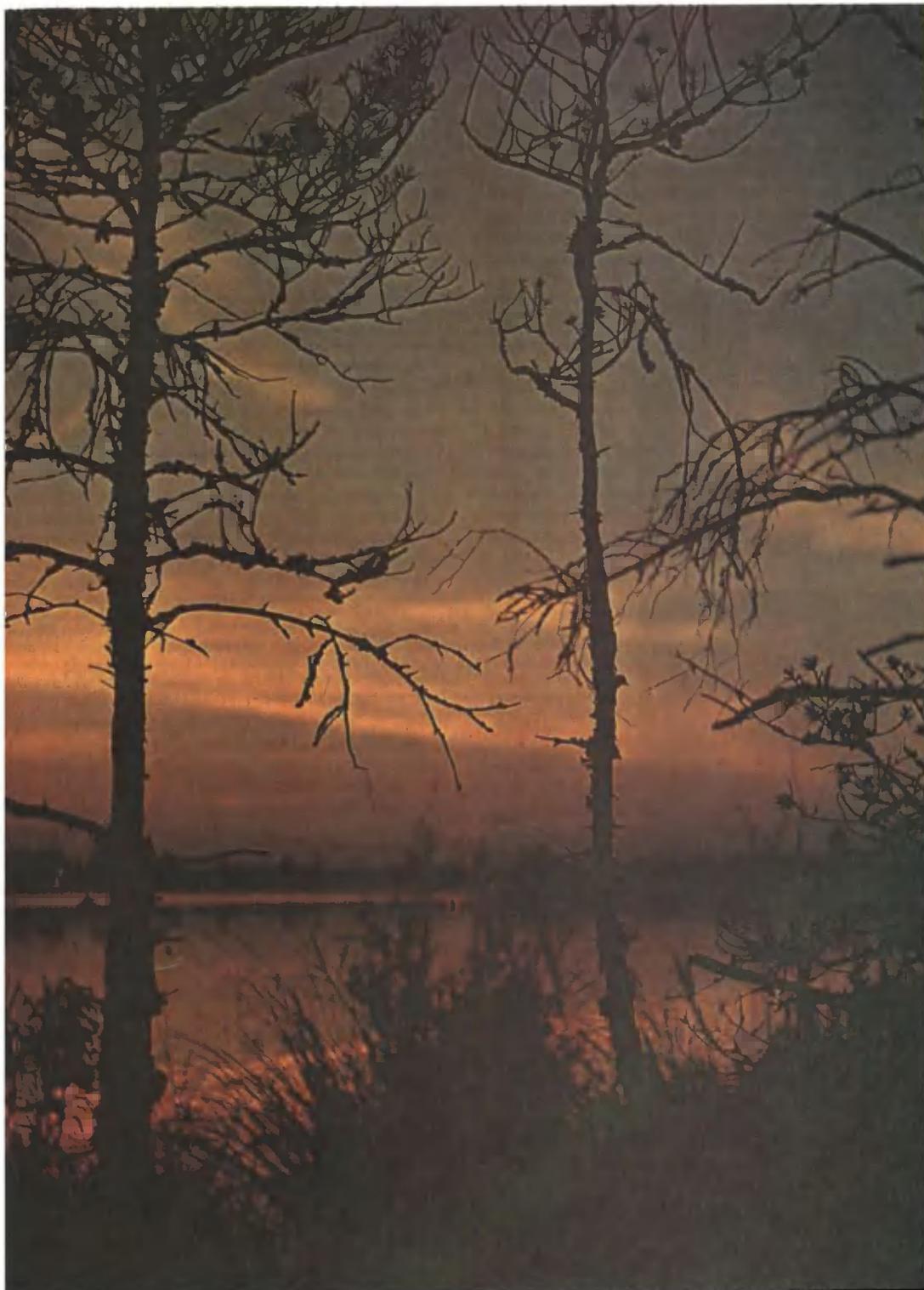
Сон-трава.



Лилия мартагон.



Пострежское озеро.



От принципа Кавальери к томографу

В. М. Бухштабер, С. Г. Гиндикин



Виктор Матвеевич Бухштабер, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Всесоюзного научно-исследовательского института физико-технических и радиотехнических измерений Госстандарта СССР. Специалист в области численных методов прикладной статистики, теории распознавания образов и алгебраической топологии. Лауреат премии Московского математического общества.



Семен Григорьевич Гиндикин, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Работает в области математической физики, комплексного анализа, теории групп Ли. Автор книг: Алгебра логики в задачах. М., 1972; Рассказы о физиках и математиках. М., 1981. В «Природе» опубликовал статью: Математические и механические задачи в работах Гюйгенса о маятниковых часах (1979, № 12). Лауреат премии Московского математического общества.

Мы часто не отдаем себе отчета в том, сколь трудную задачу решаем повседневно, восстанавливая трехмерные картины по их двумерным проекциям на сетчатку глаза. В последние годы в связи с интересом к проблеме распознавания зрительных образов стало ясно, как деликатно при этом используются априорные представления о геометрической структуре рассматриваемых объектов. К некоторым относящимся сюда проблемам математики обращались еще со времен Гаспара Монжа, создателя начертательной геометрии. Лишь сильные предположения о правильности изображаемых объектов (скажем, поверхность должна складываться из плоских, цилиндрических, конических, сферических фрагментов) поз-

воляют однозначно восстанавливать стереометрическую картину по нескольким (обычно трем) проекциям. С другой стороны, в багаже начертательной геометрии немало поучительных примеров неоднозначной расшифровки проекций.

Однако нередко приходится сталкиваться с ситуацией, когда нельзя считать объект правильным и нет достаточного опыта, чтобы сделать основательные предположения о его структуре. С такой задачей сталкивается, например, рентгенолог, пытаясь распознать по одной или небольшому числу проекций опухоль в легком или язвенную нишу в двенадцатиперстной кишке. Несомненно, что преимущества опытного рентгенолога как раз и состоят в том, что он может вложить в решение задачи свои

представления о том, какого рода изображение можно ожидать в том или ином случае. Неудивительно, что именно в рентгенологии возник вопрос: нельзя ли уменьшить требуемую квалификацию специалиста за счет резкого увеличения числа используемых проекций. Однако если проекций очень много, то их трудно обрабатывать глазом — встает задача о восстановлении трехмерного изображения по большому числу (грубо говоря, по всем) двумерным проекциям. В настоящий момент эта задача успешно решается компьютерными томографами, которые уже стали неотъемлемой частью ведущих клиник мира. Об этом написано большое число популярных статей. В них объясняется, что рассматриваемый объект «пронизывается» лучами во всех направлениях и по величине поглощения этих лучей компьютер восстанавливает изображение. Значительно реже объясняется, как же компьютер решает эту совершенно элементарную по постановке задачу. А решение ее достаточно неэлементарно, как в отношении используемого алгоритма, так и в отношении его вычислительной реализации. Об этой задаче и ее месте в математике мы и хотим прежде всего рассказать.

ПОСТАНОВКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ ЗАДАЧИ

Начать следует с того, что в рентгеновской томографии представление о внутренней невидимой структуре объекта дается не в виде стереометрической картины, а в виде представительного набора плоских сечений — картинок, которые мы бы увидели, если бы рассекли исследуемый объект разными плоскостями. Предполагается, что при облучении происходит лишь поглощение без преломления, а коэффициент поглощения $f(x_1, x_2)$ как функция от точки $x=(x_1, x_2)$ и характеризует искомое изображение. Для определенности будем считать пока, что $f(x_1, x_2)$ определена в единичном квадрате — $1 \leq x_1, x_2 \leq 1$.

Величина поглощения на прямолинейном луче определяется интегралом по этому лучу. Точная математическая задача ставится так: нужно восстановить функцию $f(x_1, x_2)$ в квадрате, если известны ее интегралы по всем возможным прямым, пересекающим этот квадрат. Такая задача имеет решение, оно выражается обзоримой формулой, что отличает ее практически от всех аналогичных «обратных» задач (например, обратной

задачи геофизики). Конечно, при технической реализации нам придется довольствоваться приближенной формулой, использующей не все прямые, а какой-то их набор. Здесь же мы в первую очередь будем говорить именно о точном решении поставленной задачи.

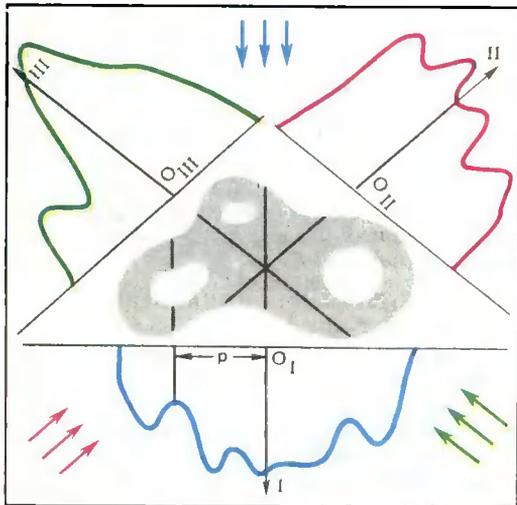
Если картина контрастная, то мы имеем следующий частный случай поставленной задачи: в качестве f берется характеристическая функция χ_D некоторой фигуры D , равная единице в точках, принадлежащих D , и нулю — вне ее. Другими словами, пусть в квадрате имеется произвольная фигура с дырками (как иногда говорят математики, «сыр»). Для каждой прямой l известна сумма $s(l)$ длин отрезков, по которым D пересекается прямой l . Можно ли (и если можно, то как) восстановить D по $s(l)$? Не правда ли, постановка задачи совершенно элементарна и может удивить, что, хотя она и решается в сравнительно общей ситуации, ее решение достаточно неэлементарно, причем оно не геометрическое, а аналитическое.

«НЕДЕЛИМЫЕ» КАВАЛЬЕРИ

Сформулированной таким образом задачей математики заинтересовались не так давно — уже в нашем веке. Однако связанные с ней исследования относятся, напротив, к очень давним временам. Прежде всего вспоминается Бонавентура Кавальери (1591—1647). Монах-еремит, оригинальнейший ученый, близкий к Галилею, Кавальери был одной из ключевых фигур, подготовивших создание анализа бесконечно малых. Он занимался вычислением площадей криволинейных фигур и объемов криволинейных тел и, еще не имея адекватного этой задаче математического языка, пытался разработать эффективные и достаточно корректные вычислительные процедуры. Фигуру, площадь которой надлежало найти, Кавальери представлял состоящей из параллельных отрезков — «неделимых» (ассоциации с атомистическим мировоззрением безусловны). Он постулировал, что площадь определяется длинами этих отрезков $s(p)$ (поскольку отрезки параллельны, их можно параметризовать одним числом p). Это и есть принцип Кавальери. Различные фигуры могут иметь одинаковые функции $s(p)$ (скажем, треугольники с равными основаниями и высотами) — тогда они равновелики. Кавальери и его последователи с величайшей изобретательностью преобразовывали фигуры, не меняя

$s(p)$. (Не следует забывать, что выбор семейства параллельных прямых произволен, и этим можно воспользоваться весьма эффективным образом.) Начиная со всевозможных параболических и гиперболических сегментов, были вычислены площади самых изысканных фигур, и казалось, что возможности метода неисчерпаемы.

В стереометрическом варианте трехмерному телу по принципу Кавальери ставятся в соответствие площади его сечений $\sigma(p)$ семейством параллельных



Функции $s(p)$ фигуры D (цветные кривые). Плоская фигура D пересекается в трех произвольных направлениях [I, II, III] семейством параллельных прямых. Для каждого направления вводится функция $s(p)$, сопоставляющая прямой, отстоящей на расстоянии p от фиксированной точки O , сумму длин отрезков, по которым эта прямая пересекает фигуру D . Очевидно, что составить представление о фигуре D по этим функциям невозможно.

плоскостей. Утверждается, что они полностью определяют объем тела. Отсюда следует, например, что треугольные пирамиды с равновеликими основаниями и равными высотами имеют равные объемы¹. Доказательство этого утверждения с помощью пресловутой «чертовой лестницы» всегда было неприятным местом в школьных учебниках по стереометрии.

¹ Этот вывод, в отличие от своего планиметрического аналога, нетривиален, поскольку такие пирамиды, как правило, не равносоставлены: ни одна из них не может быть разделена на части, из которых можно составить другую.

Очень эффективным было предложение принять в школьной теории объемов за аксиому весьма правдоподобный принцип Кавальери. Это позволяет разобрататься не только с объемами пирамид, но и просто, без сложных предельных переходов, получить формулы для объемов разнообразных круглых тел. Полный набор соответствующих рассуждений печатался петилом в известном учебнике А. П. Киселева.

Для нас существенно, что Кавальери первым поставил в соответствие плоской

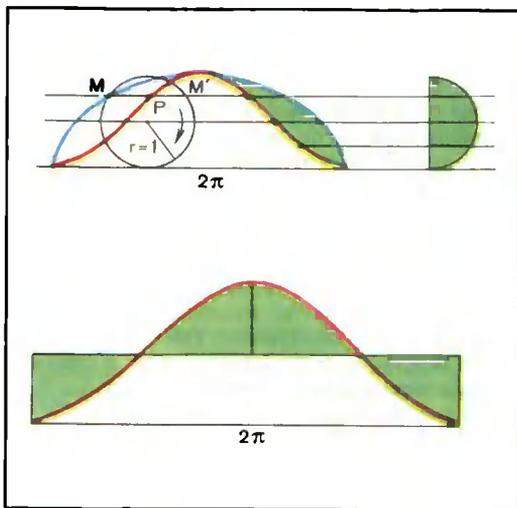


Иллюстрация одного из самых изящных применений метода Кавальери, принадлежащее Робервалю (псевдоним Жюль Пирсона, 1602—1672). Вычисляется площадь под одной аркой циклоиды (на рисунке обозначена синим цветом). Циклоида — это кривая, которую описывает точка окружности $[M]$, катящаяся без скольжения по горизонтальной прямой. (На рисунке изображена окружность единичного радиуса.) Для вычисления площади под аркой циклоиды делается дополнительное построение: внутри циклоидального сегмента на каждой горизонтали строятся точки $[P]$, отстоящие от точек циклоиды на расстоянии, равном половине хорды $[MM']$ производящего круга на той же горизонтали. Как выяснилось позднее, полученная кривая (она обозначена красным цветом) представляет собой синусоиду. Это было первое появление синусоиды в математике! Сам Роберваль называл кривую спутницей циклоиды. Площадь под синусоидой вычисляется легко — она равноставлена с прямоугольником площади 2π (внизу). Оставшиеся фигуры («лепестки Роберваля») по принципу Кавальери равновелики с производящим кругом. Таким образом, искомая площадь равна $2\pi + \pi = 3\pi$.

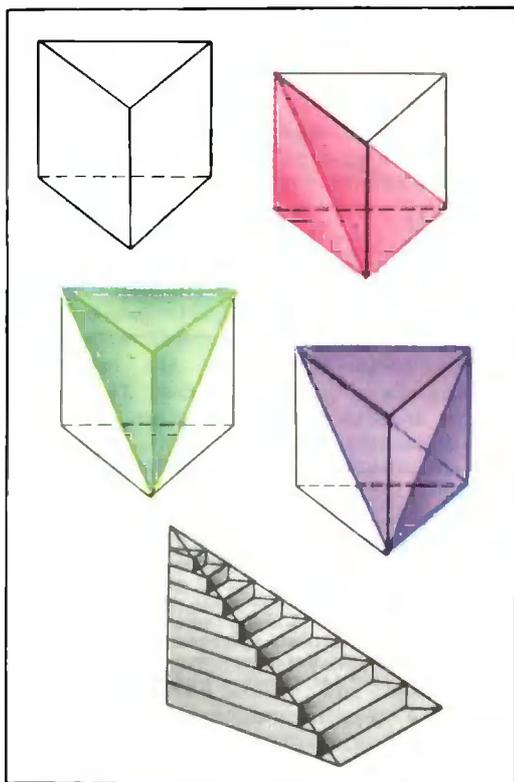
фигуре длины ее пересечений всевозможными прямыми, а трехмерному телу — площади его пересечений плоскостями. Отсюда один шаг до того, чтобы ставить в соответствие произвольной функции от 2 или 3 переменных ее интегралы по прямым (соответственно плоскостям). По существу это уже было то, что теперь называется преобразованием Радона (о нем пойдет речь ниже). Однако Кавальери использовал это преобразование лишь для изучения площадей на плоскости и объемов в пространстве. Проблема восстановления фигуры по длинам пересечений в тот момент не возникала. Техника вычисления площадей, основанная на интегральном исчислении, позволила решать автоматически задачи, которые у Кавальери требовали остроумия. Принцип Кавальери переключался в исторические тексты и изредка в школьные учебники.

ПРЕОБРАЗОВАНИЕ РАДОНА И ЕГО ОБРАЩЕНИЕ

Задача о восстановлении функции, если известны ее интегралы по прямым, была поставлена и решена в 1917 г. Иоганном Карлом Августом Радонем (1887—1956), известным австрийским математиком, чье имя осталось в науке не только в названии преобразования, которое мы будем обсуждать, но и в названии специальных меры и интеграла.

Пусть имеется функция двух переменных $f(x_1, x_2)$. Будем задавать на плоскости прямые уравнениями $k \cdot x = p$, где $k \cdot x = k_1 x_1 + k_2 x_2$. Прямая определяется набором чисел $(k, p) = (k_1, k_2, p)$, причём наборы (k, p) и (ck, cp) , отличающиеся скалярным множителем c , соответствуют одной и той же прямой. Через $Rf(k, p)$ обозначим интеграл от функции f по прямой $k \cdot x = p$. Обращение функций $f \rightarrow Rf$ называют преобразованием Радона². Задача состоит в обращении этого преобразования, т. е. в восстановлении функции f , если известна функция Rf . В частном случае характеристической функции фигуры f_D (функция принимает два значения: 1 — на точках фигуры и 0 — вне ее) мы получаем задачу о восстановлении фигуры по длинам ее всевозможных сечений.

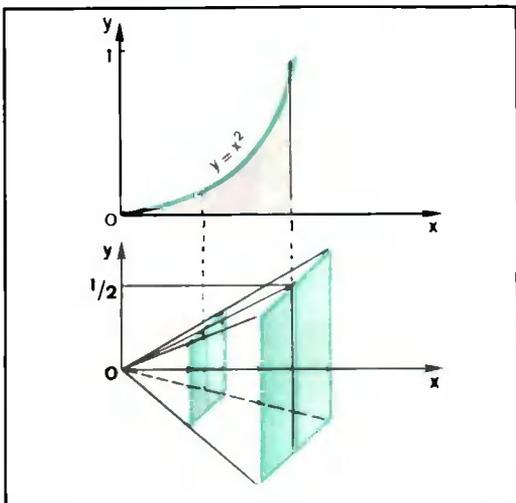
Радонем была дана явная формула для восстановления f по Rf : значение функции f в точке $x = (x_1, x_2)$ равно интегралу по множеству всевозможных прямых от произведения Rf на функцию $(p - k \cdot x)^{-2}$. Функция $(p - k \cdot x)^{-2}$ (ее называют весовой функцией, или весом) имеет особенность — она обращается в бесконечность при $p = k \cdot x$, т. е. на прямых, проходящих через точку $x = (x_1, x_2)$. Однако с помощью стандартных приемов возникающему интегралу удается придать смысл.



В элементарной геометрии формула для объема треугольной пирамиды выводится по следующей схеме. Треугольная призма разрезается на три пирамиды с равными высотами и равными основаниями (вверху). Такие пирамиды равновелики. Доказать это утверждение средствами элементарной математики, без предельного перехода, не удастся. Доказательство ведется с помощью приближения пирамиды телами, составленными из все увеличивающегося числа призм (внизу). Соответствующее построение чисто называют «чертовой лестницей». Если же принять за аксиому принцип Кавальери, то последнее утверждение становится очевидным.

² Подробно о преобразовании Радона см.: Гельфанд И. М., Граев М. И., Вилленкин Н. Я. Интегральная геометрия и связанные с ней вопросы теории представлений. Обобщенные функции. Вып. 5. М., 1962.

Если в формулу обращения Радона подставить Rf , выраженное через f , мы получим интеграл от f , причем значение f в каждой точке x' будет фигурировать в нем многократно (в интегралах по прямым, проходящим через x'). Весовая функция Радона замечательна тем, что суммарный вклад $f(x')$ в интеграл равен нулю для всех x' , отличных от точки x , в которой происходит восстановление функции. В результате остается лишь вклад от $f(x)$.

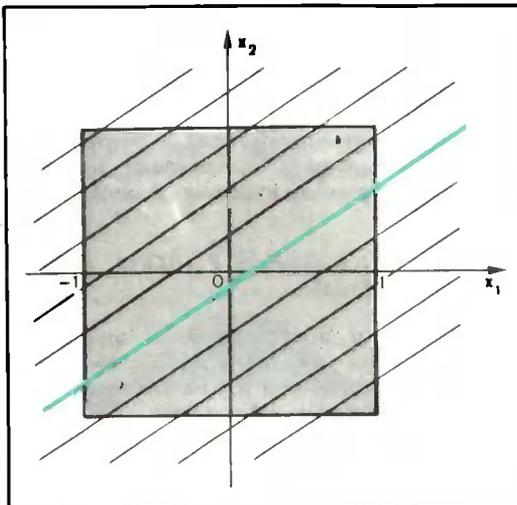


Площадь S под кривой $y=x^2$ [площадь параболического треугольника] «складывается» по принципу Кавальери, из отрезков длиной x^2 ($0 \leq x \leq 1$). В свою очередь, объем пирамиды с единичным квадратом в основании и единичной высотой «складывается» из вертикальных квадратов, площадь каждого из которых также равна x^2 . Сделав предположение, что площадь параболического треугольника равна объему такой пирамиды, Кавальери получил правильный ответ $S=1/3$. (Это рассуждение можно сделать строгим.)

Это можно проиллюстрировать с помощью следующей аналогии. Пусть функция f определена на конечном множестве точек на плоскости. Тогда интеграл по прямой, естественно, заменяется суммой значений $y_i=f(x_i)$ в точках (из множества определения), лежащих на прямой. Задача о восстановлении y_i сводится к решению системы линейных уравнений. Подбору весовой функции отвечает поиск такой комбинации уравнений, в которой остается лишь значение $y^*=f(x^*)$ в отмеченной точке x^* , а y_i для остальных точек взаимно уничтожаются

(аналог исключения неизвестных при обычном способе решения системы линейных уравнений). Отметим, что такие дискретные аналоги формулы обращения Радона появляются при некоторых способах ее численной реализации.

Преобразование Радона можно определить для функций f от n переменных, в частности функции $f(x_1, x_2, x_3)$ ставятся в соответствие ее интегралы $Rf(k, p)$ по плоскостям $k \cdot x = k_1x_1 + k_2x_2 + k_3x_3 = p$. Оказывается, что при $n=3$ формула обра-



Рациональная прямая $2x_1 - 3x_2 = 0,25$ (на рисунке изображена цветной линией) и родственные ей прямые $2x_1 - 3x_2 = 0,25 + p$ в квадрате $-1 \leq x_1, x_2 \leq 1$. Такое семейство прямых обладает интересным свойством: если изображенный квадрат склеить в тор, то отрезки прямых склеятся в одну замкнутую кривую на торе.

щения имеет более простой вид, чем при $n=2$. Для восстановления функции $f(x)$ в точке x надо взять вторую производную от $Rf(k, p)$ по p и проинтегрировать (усреднить) ее по множеству плоскостей, проходящих через x . В результате для восстановления функции трех переменных достаточно знать интегралы Rf по плоскостям, близким к точке, в которой восстанавливается функция, в то время как в случае функции двух переменных в восстановлении ее значения участвуют интегралы вообще по всем прямым. По этой причине говорят,

что при $n=3$ формула обращения локальна, а при $n=2$ — нелокальна. (Отметим, что формула обращения локальна для всех нечетных n и нелокальна для всех четных.) Нелокальный характер формулы при $n=2$ доставляет много неприятностей при ее реализации в компьютерном томографе.

Возникает естественный вопрос, является ли формула обращения единственной или существуют иные формулы для восстановления f по ее интегралам Rf . Можно доказать, что для функций, определенных на всей плоскости, формула Радона — единственно возможная. Однако, как было показано одним из авторов³, если ограничиться функциями, заданными в квадрате $-1 \leq x_1, x_2 \leq 1$, можно пользоваться существенно другой формулой обращения. Для восстановления функции с ее помощью, во-первых, нужны не все прямые и, во-вторых, интегрирование заменяется суммированием бесконечного числового ряда.

Определим, прежде всего, о каких прямых идет речь. Будем называть рациональными прямыми, которые задаются уравнениями $k \cdot x = p$, где (k_1, k_2) — пара несократимых целых чисел. Каждой рациональной прямой $k \cdot x = p$ поставим в соответствие прямые вида $k \cdot x = p + n$, где n — целые числа. Такие прямые назовем родственными. Рациональная прямая, пересекающая единичный квадрат, имеет $|k_1| + |k_2|$ родственных прямых, также пересекающих квадрат. Если через S обозначить интеграл от f по квадрату (в случае характеристической функции f_D — площадь фигуры), то восстанавливаемую в квадрате функцию можно найти по формуле:

$$f(x) = C + \sum (k_1^2 + k_2^2)^{-1/2} \times \\ \times (Rf(k, k \cdot x + n) - C),$$

где суммирование ведется по всем несократимым парам целых чисел (k_1, k_2) и всем n , т. е. по рациональным прямым, проходящим через точку, в которой восстанавливается функция, и родственным им прямым. Каждому k в этой сумме соответствует $|k_1| + |k_2| + 1$ слагаемых. Нелокальный характер этой формулы проявляется в том, что в ней, кроме рациональных прямых, проходящих через точку x (в которой происходит восстановление), участвуют родственные им прямые. Если функция f достаточно гладкая (имеет много

производных), то слагаемые убывают с ростом $|k_1| + |k_2|$. В настоящее время совместно с Н. Д. Введенской разрабатываются основанные на этой формуле вычислительные процедуры.

ПЛОСКИЕ ВОЛНЫ

Многие свойства преобразования Радона допускают содержательную интерпретацию на языке волновой теории. Напомним, что двумерный волновой процесс (например, колебание мембраны) описывается решением волнового уравнения

$$\partial^2 u / \partial t^2 = \partial^2 u / \partial x_1^2 + \partial^2 u / \partial x_2^2,$$

где u есть функция от времени t и координат x_1, x_2 .

Существует простой способ, позволяющий предъявить много решений волнового уравнения. Пусть $\psi(y)$ любая функция одного переменного, а $k = (k_1, k_2)$ фиксированный вектор ($k^2 = k_1^2 + k_2^2$). Непосредственно проверяется, что функция $u(x, t) = \psi(k \cdot x - kt)$ удовлетворяет волновому уравнению. Такие решения называются плоскими волнами. В начальный момент времени мы имеем функцию $u(0, x) = \psi(k \cdot x)$, постоянную вдоль каждой прямой $k \cdot x = p$. Это свойство сохраняется для всех моментов времени, только значения функции ψ с единичной скоростью перемещаются вдоль семейства параллельных прямых. Ввиду того что развитие во времени плоских волн выражается в очень простой форме, любой волновой процесс $u(x, t)$ удобно представлять в виде суперпозиции плоских волн. Записав $u(x, 0)$ в виде суперпозиции плоских волн, мы можем в любой момент времени определить, во что перешла каждая из составляющих $u(x, 0)$ плоских волн и найти $u(x, t)$, взяв суперпозицию получившихся плоских волн. На этой процедуре основаны различные способы решения волнового уравнения. Например, в методе Фурье разложение идет по гармоническим плоским волнам — гармоникам $\exp(ik \cdot x)$.

Во многих случаях удобно, чтобы в разложении участвовало «поменьше» плоских волн. Оказывается, что по $f(x) = u(x, 0)$ всегда можно построить такие плоские волны $\varphi(k, k \cdot x)$, которые будут совпадать для k и sk (гармонические волны этим свойством не обладают). Тогда $f(x)$ для каждого x будет получаться интегрированием функции $\varphi(k, k \cdot x)$

³ Гиндикин С. Г. — Сиб. матем. ж., 1966, т. 7, вып. 3, с. 699.

по окружности единичного радиуса $|k_1|^2 + |k_2|^2 = 1$. Часто такая процедура оказывается удобнее, чем интегрирование по всей плоскости (k_1, k_2) , как в методе Фурье.

Естественно, что такие плоские волны выражаются через интегралы по прямым $k \cdot x = p$, т. е. через преобразование Радона $Rf(k, p)$. Соответствующее представление получается непосредственно из формулы обращения Радона:

$$\varphi(k, p) = \int Rf(k, q) (q-p)^{-2} dq.$$

(Как уже отмечалось выше, существует стандартный способ устранить расходимость при $q=p$.)

Все эти рассуждения дословно повторяются для волнового уравнения в трехмерном пространстве. Здесь плоские волны $\varphi(k \cdot x)$ постоянны вдоль каждой плоскости из семейства параллельных плоскостей $k \cdot x = p$ ($x = x_1, x_2, x_3$). Далее, $f(x) = u(x, 0)$ получается усреднением по единичной сфере $|k_1|^2 + |k_2|^2 + |k_3|^2 = 1$ плоских волн $\varphi(k, k \cdot x)$, где

$$\varphi(k, p) = d^2 Rf(k, p) / d^2 p.$$

Более простой вид φ при $n=3$ вызван более простой структурой формулы обращения Радона при $n=3$. Итак, значение φ на плоскости $k \cdot x = p$ определяется лишь значением f в узкой полосе около этой плоскости.

Локальный характер формулы обращения при $n=3$ и нелокальный при $n=2$ имеет принципиальные следствия в волновой теории. Если в момент времени $t=0$ к начальному распределению добавить возмущение, сосредоточенное в малой окрестности точки x , то это возмущение будет распространяться в виде сферической волны с центром в точке x . В момент времени t возмущение проявится в точках, находящихся на расстоянии t от x (напомним, что скорость распространения равна единице). В более отдаленных точках его не будет. Это означает, что у волны есть четко выраженный передний фронт (это справедливо для пространств любой размерности). Что же касается точек, находящихся от x на расстоянии, меньшем t , то ситуация различна для $n=3$ и $n=2$. В трехмерном случае возмущения в этих точках не будет: волна прошла, у нее четко выраженный задний фронт (иногда говорят, что нет диффузии волн). Это связано с тем, что возмущение при $t=0$ меняет составляющие $u(x, 0)$ плоские волны $\varphi(k, p)$

лишь в малой окрестности $p=k \cdot x$. А вот при $n=2$ возмущение меняет плоские волны $\varphi(k, p)$ для всех p , поэтому возмущение будет проявляться во всех точках, находящихся от x на расстоянии, меньшем t . В двумерном случае нет выраженного заднего фронта волны.

Все эти особенности проявляются в классических формулах для решения волнового уравнения. Многие свойства преобразования Радона неявно в них уже содержались.

ИЗ ИСТОРИИ ТОМОГРАФИИ

Прошло немало времени, прежде чем преобразование Радона стало использоваться в медицинской практике — в так называемой вычислительной (компьютерной) томографии.

Сам по себе термин «томография» (описание сечений) — существовало более давний. Упомянутые выше недостатки рентгенографии как диагностического метода были очевидны с первых ее шагов (напомним, что дата рождения рентгенографии 1896 г.). Они связаны с трудностями в оценке глубины видимой картины, с наложением различных структур на рентгенограмме. В результате возникла идея, как избавиться от этих недостатков: получать снимки, на которых одна фиксированная плоскость воспроизводилась бы четко, а все остальные расфокусированно. Для этого предлагалось синхронно перемещать в противоположные стороны источник и детектор (обычно пленку). Если скорости перемещения одинаковы по величине, то в отмеченную точку пленки в разные моменты времени должны приходиться разные лучи, но проходящие через одну и ту же точку плоскости, равноотстоящей от плоскостей детектора и источника. В результате проекции точек с этой плоскости остаются неподвижными относительно пленки, а проекции всех остальных плоскостей перемещаются: мы получаем сфокусированное изображение выбранной нами плоскости, остальные же оказываются размытыми. Меняя соотношение между скоростями движений источника и детектора, можно сделать неподвижными проекции тех или иных горизонтальных плоскостей. Эта идея была защищена патентом в 1921 г. (А. Бокж, Франция). Но лишь по прошествии десяти лет клиники стали оснащаться аппаратами для таких томографических съемок. В конце 30-х годов появились первые советские томографы.

Какую же задачу решает описанная томографическая установка с математической точки зрения? В каждую точку пленки A^* (в каждый момент времени) поступает интеграл Rf от коэффициента поглощения f по лучу, соединяющему источник излучения с точкой A^* . Результирующее изображение в A^* отвечает среднему значению Rf по всем прямым, проходящим через постоянную для A^* точку A на фиксированной плоскости (напомним, что выбор этой плоскости полностью определяется соотношением скоростей источника и детектора-пленки). Пусть F и есть это среднее значение. Предполагается (и это частично оправдалось), что по F можно восстановить значения f на зафиксированной нами плоскости.

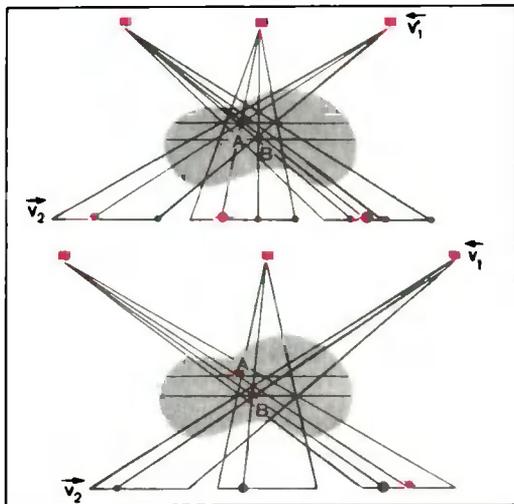
Поучительно сопоставление этих рассмотрений с результатами Радона. Бокаж, пользуясь инженерной логикой, догадался, что f можно получить, усредняя интегралы Rf , но он и не стремился найти правильный вес для усреднения. Он довольствовался интуитивными соображениями о равномерном усреднении Rf по прямым, проходящим через точку A на фиксированной плоскости. Для реализации своей идеи Бокаж предложил остроумное аналоговое устройство. Даже зная он формулу обращения Радона (которая к тому времени уже была получена), он был бы бессилён реализовать ее. Для этого необходимо соединить рентгеновский аппарат с компьютером, а это стало возможным более чем через три десятилетия.

РЕКОНСТРУКТИВНАЯ ТОМОГРАФИЯ В РАДИОАСТРОНОМИИ

Первые практические применения преобразования Радона связаны не с медициной, а с радиоастрономией. Речь идет о работах Р. Брейсуэлла по изучению СВЧ-излучения Солнца. СВЧ-антенны, которыми пользовался Брейсуэлл, могли быть сфокусированы лишь на узкие полосы поверхности Солнца. Соответственно можно было измерять полное излучение именно от такой полосы. Если считать полосы достаточно узкими, то, пользуясь уже введенными обозначениями, можно сказать, что при сканировании полосы измеряется $Rf(k, p)$, где направление k фиксировано. При вращении Земли ориентация полосы в пространстве меняется и получаются значения $Rf(k, p)$ для других направлений k . Используя преобразование Радона, Брейсуэлл по набору

Rf восстанавливал функцию f — распределение яркости Солнца в СВЧ-диапазоне.

Для того чтобы определить, насколько корректен разработанный им метод, Брейсуэлл в течение марта 1961 г. совместно с А. Риддлом исследовал аналогичным образом поле излучения Луны при помощи Станфордского интерферометра. За указанное время они получили данные для 14 угловых ориентаций. Этого оказалось достаточно, чтобы восстановить карту интенсивности излучений. В этом случае для сравнения можно



Принципиальная схема томографа Бокажа. Источник рентгеновского излучения движется в плоскости, перпендикулярной плоскости чертежа, равномерно со скоростью v_1 . В плоскости, параллельной плоскости источника, в противоположном направлении движется детектор-пленка со скоростью v_2 . В зависимости от соотношения между скоростями v_1 и v_2 мы получаем на пленке сфокусированное изображение различных сечений исследуемого объекта плоскостями, параллельными плоскости движения источника. На рисунке изображены два случая: $v_1 / v_2 = 1$ [вверху] и $v_1 / v_2 = 7/5$ [внизу]. В первом случае изображение точки A , равностоящей от плоскостей источника и пленки, занимает одно и то же положение на пленке, независимо от положения источника. Поэтому по мере движения пленки это изображение все усиливается [на рисунке этому соответствует увеличение размеров красной точки]. В то же время изображение точки B , которая делит расстояние между плоскостями источника и пленки в отношении $7/5$, попадает все время в разные точки пленки. Поэтому изображение этой точки размыто. Во втором случае точки A и B меняются ролями. Таким образом, свес томографирования дает сфокусированное изображение пересечения тела выбранной плоскостью и размытое изображение всех остальных точек тела.

было пользоваться данными наблюдений Луны, полученными с помощью узконаправленной антенны с высоким разрешением. Данные Брейсуэлла — Риддла уступали по качеству этим данным, но в основном адекватно реконструировали картину.

Упомянем еще о методе получения карты отражательной способности Луны на сравнительно длинных волнах. Поскольку Луна видна с Земли под углом $30'$, то для построения такой карты с приемлемой точностью необходима радиолокационная система с угловым разрешением менее $1'$. А это означает, что для обычно применяемых частот потребовалась бы антенна с характерными размерами порядка нескольких километров. Однако метод, основанный на доплеровской томографии, позволяет пользоваться сравнительно маломощными радиолокационными системами. Луна облучается непрерывным сигналом, и наблюдается отраженное излучение на разных доплеровских частотах.

Разные участки частот отвечают разным полосам на поверхности, параллельным мгновенной кажущейся оси вращения Луны. Таким образом, мы измерим значение функции Rf , где f — распределение отражательной способности Луны. Есть дни, когда эта ось поворачивается на 180° за время между восходом и заходом Луны (благодаря этому свойству Луна является единственным объектом, к которому применим этот метод). Поэтому мы получаем достаточно информации, чтобы восстановить вид функции f , используя формулу обращения Радона.

КОМПЬЮТЕРНАЯ ТОМОГРАФИЯ В МЕДИЦИНЕ

В начале 60-х годов идея о том, что по интегралам функции f , т. е. по Rf , можно восстановить значения f , проникла в медицину, в первую очередь в радиологию. Рядом специалистов была «перезоткрыта» формула обращения Радона¹ и сконструированы первые устройства для томографического восстановления изображения. Ученые столкнулись с серьезными инженерными проблемами, связанными с разработкой сканеров (устройств для быстрого сбора данных рентгеновского просвечивания) и с их стыковкой с ЭВМ.

Путь от первых разработок до первых серийных томографов занял более десяти

лет. Например, уже в 1963 г. Д. Куль с сотрудниками из Пенсильванского университета создали устройство для попережного сканирования пациента при радиологических исследованиях. А первый клинически пригодный компьютерный томограф появился в 1970 г. Это было устройство для сканирования головы, со-стыкованное с ЭВМ. Томограф был создан Г. Хаунсфилдом в лабораториях фирмы EMI⁵. В 1971 г. он был поставлен в больницу; в 1972 г. был получен британский патент⁶. На выставке «Здравоохранение-74» в Москве уже демонстрировался серийный образец томографа EMI—Scanner. В 1974 г. появились томографы для диагностических исследований человеческого организма в полном объеме. Решена была сложная инженерная задача, поскольку увеличение диаметра сканера приводит к принципиальным трудностям. Началась эра компьютерной томографии⁷.

За короткое время в мире была создана промышленность по производству томографов, и сейчас уже около двадцати компаний соревнуются на рынке их сбыта; среди них EMI (Великобритания), CGR (Франция), General Electric (США), Siemens (ФРГ) и т. д. В СССР медицинский томограф (СРТ-1000) разработан во ВНИИ кабельной промышленности. Он предназначен для исследований головного мозга.

За последнее десятилетие создано уже несколько поколений рентгеновских томографов, отличающихся, в первую очередь, конструкцией сканеров. Кроме того, если в первых томографах использовались универсальные ЭВМ, то в томографах нового поколения применяются специализированные процессоры. Это не означает, однако, что новые поколения томографов «отменяют» предыдущие. Часто, выигрывая в скорости сбора информации, мы проигрываем в точности измерений. Поэтому выбор томографа определяется

⁵ Любопытно отметить, что фирма EMI — всемирно известная фирма, выпускающая высококачественные грамзаписи.

⁶ Hounsfield G. N. A method and apparatus for examination of a body by radiation such as X-ray or gamma radiation. The Patent office, London, Patent Specification 1 283 915, 1972.

⁷ А. Кормак и Г. Хаунсфилд за свои работы были удостоены Нобелевской премии 1979 г. См.: Власов П. В., Свиридов Н. К. Лауреаты Нобелевской премии 1978 г. По медицине — Г. Н. Хаунсфилд и А. М. Кормак. — Природа, 1980, № 1, с. 91.

¹ См. напр.: Cormack A. M. — J. Appl. Phys., 1963, v. 34, № 9, p. 2722.

конкретной медицинской задачей, на которую он ориентирован.

Важнейшими параметрами компьютерных томографов являются разрешающая способность и, конечно, скорость получения изображений. Эти скорости возросли настолько, что можно говорить о получении томограмм в реальном времени: врач начинает получать информацию практически непосредственно после включения томографа. Такая возможность принципиальна, поскольку только в этой ситуации можно активно влиять на выбор секущих плоскостей. Уже не кажется нереальным томографирование органов в динамике, скажем работающего сердца. В этом случае необходимо отказаться от последовательного воспроизведения срезов. Действительно, сотня срезов, на получение каждого из которых требуется примерно 5 секунд, не имеет шансов состыковаться в единую картину: слишком сильно за эти 8 минут будут меняться размеры сердца. Все срезы необходимо получать одновременно и составлять из них стереометрическую картину. Ясно, что для решения такой задачи необходима установка огромных размеров. Такая установка, названная динамическим пространственным реконструктором, создана в США в клинике г. Майо (штат Мичиган). Ее размеры 5×7 м; она оснащена 28 рентгеновскими пушками. За один импульс, продолжающийся около сотой доли секунды, получают данные для 256 срезов толщиной около одного миллиметра каждый, что соответствует области с линейным размером около 25 см. Все обследование занимает несколько секунд. Что же касается весьма сложной задачи получения результирующего трехмерного изображения, то она, несмотря на несомненные успехи в этом направлении, пока еще не имеет удовлетворительного решения.

Характерной особенностью сегодняшней томографии является ее выход за пределы рентгенологии. Томографические устройства сейчас широко внедряются во многих других областях медицинской диагностики.

Здесь мы остановимся коротко только на эмиссионной и ультразвуковой томографии.

В задачу эмиссионной компьютерной томографии входит получение изображений, которые показывали бы распределение радиоактивных изотопов, введенных в ткани человеческого тела в диагностических целях. Источник излучения находится в этом случае внутри пациента,

отсюда и название «эмиссионная томография».

В ультразвуковой томографии используется излучение ультразвукового диапазона. Ее задача — получение двумерных распределений различных акустических параметров тканей для поперечных сечений тела. Наиболее интересны два параметра — показатель ослабления и показатель преломления ультразвука.

Для осуществления метода компьютерной томографии необходимо знать траектории, по которым луч проходит от источника к детектору. В рентгеновской и эмиссионной томографии это прямые линии, а в ультразвуковой — не всегда. Ультразвук испытывает отклонение на каждой границе раздела между тканями с разными показателями преломления. Поэтому преобразование Радона в ультразвуковой томографии можно применять только в случае диагностики мягких тканей, где эффектами, обусловленными рефракцией, можно пренебречь. Такой метод очень эффективен при диагностике опухолей молочной железы. В других случаях возникает сложная математическая задача восстановления функции по ее интегралам по некоторому набору кривых (а не прямым!). Указать формулу обращения для задач такого типа не удается. Соответственно в этом вопросе остается еще много проблем, как чисто теоретических, так и вычислительных. Надо отметить, что ультразвуковые томографы чрезвычайно привлекательны полной безвредностью исследований.

ЯМР-томографы — устройства, основанные на эффекте ядерного магнитного резонанса⁸. ЯМР-томография расширяет область практических применений томографии (например, возникла возможность исследования крови пациента). Большой интерес к ЯМР-томографии вызван также возможностью заменить в ряде случаев рентгеновские томографы устройствами более безопасными, как для больных, так и для медперсонала.

ТОМОГРАФИЯ В НАУКЕ И ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Томографический метод применяется в настоящее время в ряде областей науки и техники; например, голографической интерферометрии, электронной

⁸ См.: Федин Э. И. ЯМР-интроскопия — новый метод изучения структуры биологических объектов. — Природа, 1980, № 4, с. 77.

микроскопии, гидроакустике океана, геофизике.

Возможность применения преобразования Радона в электронной микроскопии известна уже сравнительно давно. Дело в том, что изображение объектов, величина которых меньше глубины фокуса электронного микроскопа (несколько тысяч ангстрем), является наложением их двумерных сечений. Такая картина трудно поддается анализу. И здесь применение преобразования Радона оказалось очень эффективным. В 1968 г. она было ис-



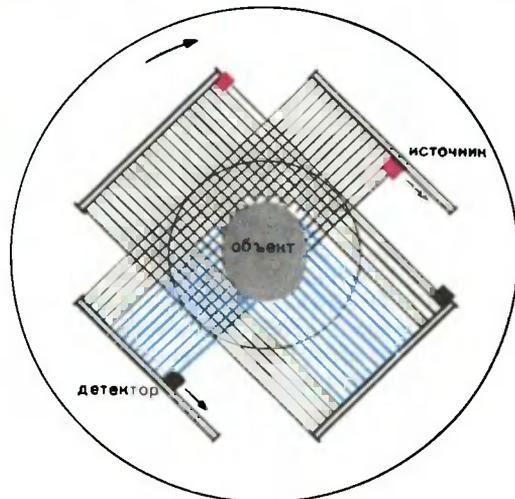
Томограф фирмы CGR (Франция), предназначенный для исследований головного мозга. Сканирующее устройство расположено в кольце вокруг головы пациента.

пользовано Д. де Розье и А. Клугом для восстановления различных вирусных структур по электронным микрофотографиям, полученным в проходящем пучке⁹. С 1970 г. преобразованием Радона широко пользуются Б. К. Вайнштейн с сотрудниками (Институт кристаллографии им. А. В. Шубникова АН СССР) для восстановления по данным электронной микроскопии структуры биологических молекул, обработанных контрастным веществом, вирусов, белковых кристаллов¹⁰.

⁹ За работы в области электронной микроскопии А. Клугу присуждена Нобелевская премия 1982 г. по химии. См.: Киселев Н. А., Мирзабаков А. Д. Лауреаты Нобелевской премии 1982 г. По химии — А. Клуг. — Природа, 1983, № 1, с. 94.

¹⁰ Вайнштейн Б. К. — Известия АН СССР, сер. физическая, 1972, т. 36, № 9, с. 1834.

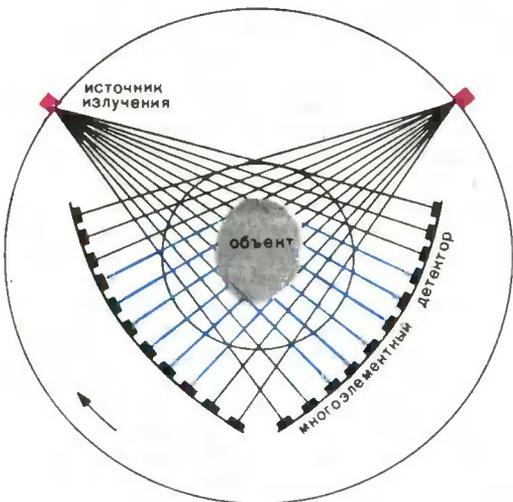
Остановимся более подробно на примере применения томографии в геофизических исследованиях. Начнем с геотомографического способа обработки данных электромагнитного или сейсмического просвечивания горных пород. В одной скважине помещается источник сигналов, в другой — приемник. Определяются время распространения сигнала и его амплитуда; по этим данным вычисляют скорость распространения сигнала и коэффициент затухания в исследуемой породе. В тех случаях, когда можно воспользоваться при-



Принципиальная схема сканера первого вычислительного томографа Хаунсфилда. Направление облучения меняется с шагом 1° (т. е. всего направлений облучения 180). Источник рентгеновского излучения и детектор синхронно движутся по параллельным направляющим, давая на каждом направлении пучок из 160 параллельных лучей. На рисунке изображены 2 возможных положения источника из возможных 180. Время сбора данных в таком томографе — 5 минут. Масса данных поступает в ЭВМ; изображение восстанавливается алгебраическим способом за 5,5 минут. Результат выводится на экран дисплея.

ближением геометрической оптики (расстояние между источником и приемником много больше длины волны, токи проводимости много меньше токов смещения, показатель преломления меняется плавно), для реконструкции применима формула обращения Радона. На геотомографию возлагаются большие надежды. Она может стать чрезвычайно эффективной при выявлении ослабленных зон перед забоем, картировании в шахтах, при поиске и оценке

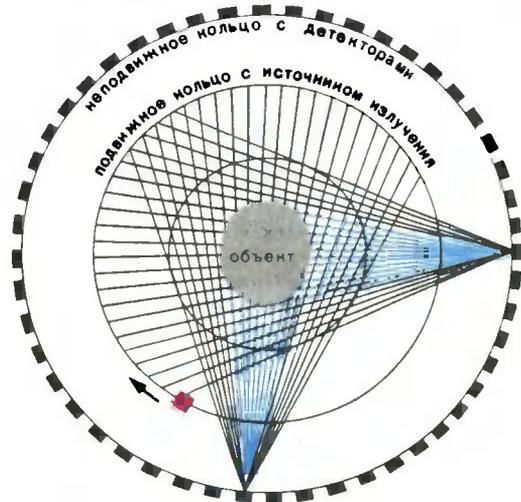
запасов нефти во время вторичной обработки месторождений. Интересный пример описан К. Дайнсом и Р. Лайтлом¹¹, которые с помощью геотомографической обработки данных электромагнитного просвечивания построили карту коэффициента затухания на участке Форест Гленн (близ Вашингтона), где проектировалась линия метрополитена. Описанный метод дал гораздо более полную информацию, чем та, которую получают из анализа керна изолированных скважин. Обращение к томографии связано в этом случае с тем,



Принципиальная схема вращательного сканера с веерным пучком. Источник рентгеновского излучения и детектор смонтированы на вращающемся кольце. Каждый импульс источника дает веер лучей. Число лучей в одном веере ограничено числом детекторов, а число вееров можно увеличивать, повышая скорость вращения и частоту импульсов. Время сбора данных при таком способе сканирования от 1 до 20 секунд. За это время может быть получено до 1000 веерных проекций.

что нас интересует картина таких масштабов, когда применение стандартных методов исследований чрезвычайно трудоемко или даже невозможно (грубо говоря, для получения добротной информации нужно пробурить множество скважин и провести для них соответствующий анализ). Завершая этот далеко не полный об-

зор возможных применений томографии, упомянем еще о перспективах использования томографии для создания средств неразрушающего контроля промышленных изделий. В 1982 г. в Москве прошла очень представительная международная конференция, посвященная этим проблемам. В рамках этой конференции была организована выставка, на которой демонстрировался советский промышленный томограф (термин «промышленный» в данном случае указывает на область применения томографа).



Принципиальная схема сканера с неподвижным кольцом детекторов и вращающимся источником. На внешней окружности неподвижного кольца смонтировано большое число детекторов, а внутри кольца помещается рентгеновская трубка, которая непрерывно вращается вокруг пациента. Каждый детектор в результате одного оборота источника принимает веер лучей (на рисунке изображены два таких веера). Число лучей в каждом веере можно увеличивать, повышая скорость вращения источника и частоту импульсов. Число вееров ограничено числом детекторов.

МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ И АЛГОРИТМЫ ТОМОГРАФИИ

Даже при наличии математической теории преобразования Радона развитие томографии было бы немислимо без разработки численных методов и алгоритмов, ориентированных на специфику решаемых с ее помощью задач.

Первыми прошли проверку (в работах Брейсуэлла, 1956) алгоритмы, основан-

¹¹ Дайнс К. А., Лайтл Р. Дж.— ТИИЭР, 1979, т. 67, № 7, с. 25.

ные на связи преобразования Радона с преобразованием Фурье. Дело в том, что коэффициенты Фурье разложения $Rf(k, p)$ как функции переменного p (при фиксированном k) дают коэффициенты Фурье разложения исходной функции $f(x)$ для частот, пропорциональных k . Таким образом, зная спектральное разложение $Rf(k, p)$ по p для различных k , мы фактически знаем спектральное разложение $f(x)$ и с помощью обратного преобразования Фурье можем ее восстановить. Конечно, на практике измеряются значения функции $Rf(k, p)$ лишь для конечного набора направлений k_1, \dots, k_N . Соответственно информация о разложении Фурье функции $f(x)$ у нас тоже неполная: мы получаем только коэффициенты для частот вида $\lambda k_1, \lambda k_2, \dots, \lambda k_N$, и уже по ним должны оценить все коэффициенты Фурье функции $f(x)$. Очевидно, сделать это можно, лишь опираясь на априорную информацию о функции $f(x)$. Так, например, де Розье и Клуг, применяя описываемый метод восстановления в молекулярной биологии, существенно использовали высокую симметричность исследуемых ими вирусных структур.

В большинстве коммерческих томографов реализован так называемый метод обратной проекции на основе свертки. $Rf(k, p)$ рассматривается как семейство функций с параметром k и аргументом p . Для того чтобы восстановить функцию $f(x)$ сначала надо провести сглаживание по p и интегрирование функции $Rf(k, p)$ с весом $(p-q)^{-2}$ единообразно для всех k (отметим, что способ сглаживания далеко не произволен — он диктуется формулой обращения Радона), а затем значения полученных функций в точках $p=k \cdot x$ проинтегрировать по k . Такой метод позволяет разрабатывать алгоритмы для быстрого восстановления функции $f(x)$, использующие возможности современных ЭВМ, проводить обработку $Rf(k, p)$ как функции от p , одновременно (параллельно) для разных k и при этом суммировать по k уже полученные результаты обработки.

Поскольку значения $Rf(k, p)$ известны лишь для конечного набора p , и то с погрешностью, то выбор способа сглаживания функции $Rf(k, p)$ представляет трудную математическую задачу. Ее решение с учетом специфики конкретной области применения и конструкции сканера является одним из главных секретов фирм, разрабатывающих томографы.

В первом компьютерном томографе

Хаунсфилда использовался алгебраический метод восстановления $f(x)$ по $Rf(k, p)$. Суть его в следующем: область определения функции $f(x)$ разбивается на маленькие ячейки, в каждой из которых функция предполагается постоянной. Восстановление значений $f(x)$ в ячейках сводится, в результате, к решению системы линейных уравнений. Такой метод применяется для решения многих обратных задач математической физики, но в задаче Радона он приводит к специфической ситуации: матрица системы уравнений сильно разрежена, т. е. содержит очень много нулей. Алгебраический метод практически не зависит от геометрии расположения источников и детекторов (т. е. от конструкции сканеров); он максимально приспособлен для использования априорной информации о функции $f(x)$. В ряде случаев это дает возможность удовлетворительно восстанавливать функцию $f(x)$ даже в условиях, когда набор значений $Rf(k, p)$ сравнительно невелик (например, при решении задач геотомографии).

Подводя итоги, следует сказать, что сегодняшний день характеризуется не только широким практическим применением томографии, прежде всего в медицине, но и появлением специфического, «радоновского», подхода к анализу экспериментальных данных, получаемых в самых различных областях прикладных исследований. С одной стороны, часто выясняется, что собранные традиционным способом данные прямо приспособлены для обработки с помощью формулы обращения Радона, с другой стороны, зная о существовании такой реконструктивной процедуры, исследователи имеют возможность активно ориентироваться на нее при постановке эксперимента.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Чикирдин Э. Г., Стольцер С. М., Астраханцев Ф. А. РЕНТГЕНОВСКИЕ ТОМОГРАФИЧЕСКИЕ АППАРАТЫ. М.: Медицина, 1976.

Мюллер Р. К., Кавех М., Уэйд Г. РЕКОНСТРУКТИВНАЯ ТОМОГРАФИЯ И ЕЕ ПРИМЕНЕНИЕ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ТЕХНИКЕ.— ТИИЭР, 1979, т. 67, № 4.

Кэн А. С. МАШИННАЯ ТОМОГРАФИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕНТГЕНОВСКОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, РАДИОАКТИВНЫХ ИЗОТОПОВ И УЛЬТРАЗВУКА.— ТИИЭР, 1979, т. 67, № 9.

Европейский хариус в Подмоскowie

С. Н. Тюрюков

Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР.

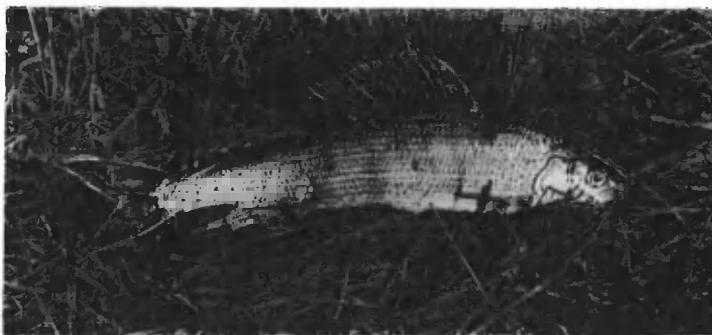
Летом 1969 г. автору заметки довелось узнать от местных жителей, что в одной из речек бассейна р. Сестры (Московской обл.) водится необычная для водоемов средней полосы рыба — хариус. Установить достоверность этого сообщения мне тогда не удалось.

К этому вопросу я вернулся много лет спустя. Согласно рыбохозяйственной документации, полученной в Мосрыбводде, хариуса нет ни в одном водоеме Московской области. К категории «лососевых» относились лишь две реки Подмоскowie: Лама и Лобь, куда из Ивановского водохранилища заходит снеток — озерная форма европейской корюшки (*Osmerus eperlanus morpha sprinchus*).

И все же 3 октября 1981 г. я отправился в Подмоскowie поискать хариуса, и поездка принесла на сей раз успех. Мне и моему коллеге за день удалось поймать поплавочными удочками пять рыб средним весом 150—200 г. Внешний вид пойманной рыбы был весьма своеобразен — брусковатое тело, покрытое плотной чешуей, небольшой рот, высокий, длинный спинной плавник и маленький жировой плавничок. На теле и спинном плавнике имелись неяркие, но достаточно отчетливые черные и цветные пятна. По всем признакам это был европейский хариус!

К сожалению, исследовать морфометрию и экологическое состояние популяции не удалось в связи с окончанием полевого сезона.

Род хариусов (*Thymallus*) насчитывает три вида: сибирский хариус (*T. arcticus*), включающий несколько подвидов; монгольский (*T. brevirostris*) и европейский (*T. thymallus*). Первые два вида широко распространены в



Европейский хариус, выловленный в одной из подмосковных рек.

реках Сибири, бассейне Амура и реках восточного склона Сихотэ-Алиня, западного и северного берегов Охотского моря, в реках Камчатки, в озере Байкал, в водоемах Монголии и сопредельных районах.

Ареал европейского хариуса, согласно литературным источникам, тоже довольно широк — от Уэльса до Урала и включает бассейны Балтийского и Белого морей, притоки Дуная и Волги (верхнее и среднее течение), верховья Камы, Урала, Днестра. Иногда хариус встречается в озерах, например в Ладожском, Онежском, Имандре, обычно же обитает в быстрых реках с чистой и холодной водой. В равнинной местности средней полосы подобных рек осталось немного, потому понятно удивление и даже неверие, которое вызывает сам факт существования популяции хариуса в Московской области. Сейчас в средней полосе в наибольших еще незагрязненных речках с благоприятным гидрологическим и гидрохимическим режимом встречаются лишь довольно редкие разрозненные популяции хариуса — реликтовые «осколки» некогда единого ареала этой холодноводной рыбы, широко распространенной до периода последнего оледенения.

Южная граница распространения европейского хариуса в настоящее время — 42° с. ш. в Югославии, в СССР — верховья р. Урал и Закарпатье. В средней полосе России до сих пор были известны популяции в реках Калининской и Костромской областей. Следовательно, подмосковная популяция хариуса — самая южная из известных популяций в равнинной части ареала.

К сожалению, за последние 10 лет реки Подмоскowie несколько обмелели, появились признаки евтрофикации: заиливаются грунты, развиваются высшая водная растительность и водоросли, исчезает водная мох фонтиналис — индикатор чистоты водоемов. Несомненно, это результат антропогенного влияния. К некоторым участкам рек примыкают сельскохозяйственные угодья и летние площадки для скота, и в воду попадают удобрения и сточные отходы животноводческих ферм. Дальнейшее расширение сферы хозяйственной деятельности может привести к необратимому изменению режима рек и нарушению нормальных условий обитания и воспроизводства единственной в области реликтовой популяции европейского хариуса, нуждающейся в охране. Целесообразно поэтому в бассейне реки, где сейчас обнаружен хариус, организовать заказник, чтобы сохранить редкий для средней полосы СССР вид рыбы.

Взаимодействие солнечного ветра с Венерой

О. Л. Вайсберг, Л. М. Зеленый



Олег Леонидович Вайсберг, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией солнечного ветра и его взаимодействия с геомагнитосферой Института космических исследований АН СССР. Область научных интересов — физика солнечного ветра и планетных магнитосфер. Один из руководителей плазменных экспериментов на космических аппаратах типа «Венера», «Марс» и «Прогноз».



Лев Матвеевич Зеленый, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник отдела физики космической плазмы того же института. Занимается теорией плазменных процессов в магнитосферах планет, проблемами пересоединения и аннигиляции магнитных полей в космической плазме, физики магнитосферных суббурь и магнитосферных границ.

Солнечная корона, расширяясь, заполняет межпланетное пространство непрерывным сверхзвуковым растекающимся потоком плазмы — солнечным ветром. Скорость этого потока составляет несколько сотен километров в секунду; он сильно разрежен: на расстоянии орбиты Земли в кубическом сантиметре пространства находится всего несколько частиц, длина свободного пробега которых превышает 1 астрономическую единицу.

Несмотря на столь малую плотность, можно говорить о коллективном поведении частиц солнечного ветра, обусловленном как существованием «вмороженного» в него магнитного поля, напряженность которого на орбите Земли составляет $(0,5—1) \cdot 10^{-4}$ Гс, так и взаимодействием частиц

с плазменными волнами, возбуждаемыми при развитии неустойчивостей в плазме.

В этот солнечный ветер как бы погружена вся Солнечная система, и, естественно, солнечный ветер, растекаясь от Солнца, последовательно взаимодействует со всеми планетами и их спутниками. С развитием космической техники у исследователей появилась возможность в естественных условиях изучать динамику многообразных плазменных явлений, развивающихся при взаимодействии быстрых потоков плазмы с препятствиями различной природы. В настоящее время целый ряд принципиальных проблем физики плазмы удается исследовать в такой «природной» лаборатории.

Характер взаимодействия тел с сол-

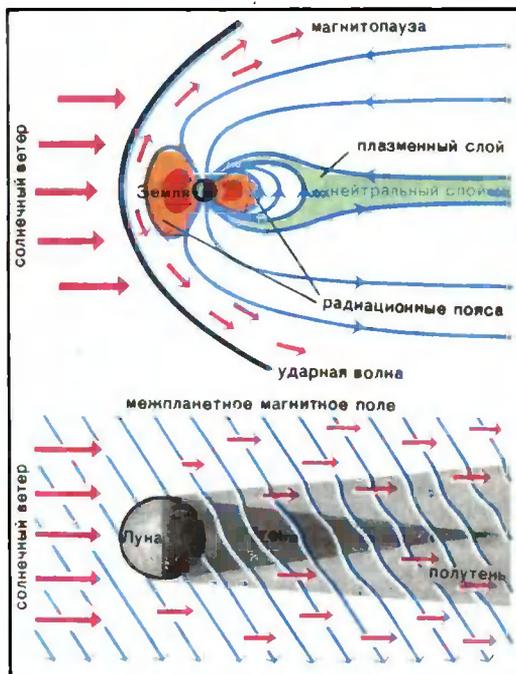
нечным ветром в первую очередь определяется тем, обладает ли небесное тело собственным магнитным полем, и, кроме того, зависит от его электропроводящих свойств. В Солнечной системе встречаются практически все возможные типы взаимодействия тел с потоками замагниченной плазмы (так иногда называют солнечный ветер, из-за того что в него «вморожено» магнитное поле). Наиболее изучен случай обтекания тела, обладающего сильным внутренним магнитным полем; к таким телам относятся Земля, Меркурий, Юпитер и Сатурн.

Первые экспериментальные результаты о взаимодействиях солнечного ветра с магнитным полем Земли были получены в конце 50-х — начале 60-х годов с помощью космической техники. Оказалось, что земное магнитное поле представляет собой упругий щит, отклоняющий поток солнечного ветра и приводящий к образованию в нем полости, куда почти не проникает солнечный ветер. Эта полость получила наименование магнитосферы Земли. Характерные размеры магнитосферы легко определить, оценив, на каком расстоянии R_m от планеты магнитное поле останавливает поток солнечной плазмы. Как известно, магнитное поле Земли близко к дипольному и его величина уменьшается обратно пропорционально кубу расстояния от планеты. Поток плазмы с определенными плотностью и скоростью будет отклонен, если его динамическое давление станет сравнимо с давлением магнитного поля. Для Земли с магнитным полем на поверхности, равным 0,3 Гс, R_m составляет 10—15 ее радиусов. (Для сравнения, Юпитер имеет гораздо более протяженную магнитосферу благодаря тому, что его магнитное поле сильнее, примерно 4 Гс, и плотность солнечной плазмы вблизи планеты в сто раз меньше. В результате R_m для Юпитера составляет 50—100 его радиусов.)

Когда солнечный ветер обтекает магнитосферу (уже не само космическое тело), перед ней образуется отошедшая ударная волна, подобно тому как это происходит в обычном сверхзвуковом потоке газа при обтекании им затупленного тела. Однако существует и отличие, заключающееся в том, что торможение и нагрев плазмы в ударной волне осуществляется не за счет столкновения частиц, как в обычном газодинамическом случае, а в результате взаимодействия этих частиц с плазмонами — разрывающимися в плазме электромагнитными колебаниями. Изуче-

ние структуры таких волн, получивших название бесстолкновительных, было предметом многих теоретических и лабораторных исследований. Космические эксперименты подтвердили адекватность разработанных плазменных моделей.

Одна из самых характерных черт магнитосферы Земли — существование вытянутого магнитного хвоста, простирающегося далеко за орбиту Луны. Силовые линии такого хвоста можно представить себе как разомкнувшиеся силовые линии магнитного поля планеты, концы которых



Вверху — взаимодействие солнечного ветра с магнитосферой [Земля]; внизу — взаимодействие солнечного ветра с немагнитным, слабопроводящим препятствием [Луна]. Синими линиями на этом и остальных рисунках обозначены силовые линии магнитного поля.

оказались «вморожены» в солнечный ветер и были вытянуты им далеко в антисолнечном направлении. Вот, в общих чертах, то, что известно о магнитосфере Земли.

Следующее за Землей небесное тело, взаимодействие которого с солнечным ветром было исследовано экспериментально, — Луна. По-видимому, это самый простой тип взаимодействия, так как Луна представляет собой плохо проводящее тело, не обладающее внутренним магнитным полем. В результате ничто не оста-

навливает натекающий поток плазмы, он поглощается лунной поверхностью и в нем «вырезается» полость (так называемая теневая область) с поперечным размером порядка диаметра Луны и протяженностью в несколько таких диаметров.

А как взаимодействует с солнечным ветром Венера? Землю и Венеру — соседние планеты в Солнечной системе — иногда называют планетами-близнецами из-за сходства их масс и размеров. Казалось бы, они должны одинаковым образом взаимодействовать с солнечным ветром. Однако уже первые измерения, выполненные в 1967 г. с помощью космических аппаратов «Венера-4» (СССР) и «Маринер-5» (США), показали, что подобное предположение неверно. Хотя вблизи поверхности Венеры и было обнаружено возмущение, напоминающее земную ударную волну, однако расположено оно было настолько близко к поверхности планеты, что исключало наличие у Венеры заметного магнитного поля. С другой стороны, результаты радиопросвечивания Венеры, проведенные с «Маринера-5», подтвердили существование у планеты хорошо проводящей ионосферы, имеющей резкую границу на высоте примерно 500 км от поверхности. Такая граница между плазмой и магнитным полем напоминала земную магнитопаузу (внешнюю границу магнитосферы), но как бы вывернутую наизнанку.

Собственное слабое магнитное поле Венеры непосредственно измерить достаточно сложно, так как оно маскируется магнитными полями токов, текущих в ионосфере. Верхняя оценка этой величины, полученная к настоящему времени с помощью разных космических аппаратов, составляет $(2-5 \cdot 10^{-5})$ Гс. Ясно, что столь слабое поле не может играть заметной роли во взаимодействии с солнечным ветром. Поэтому в дальнейшем мы можем считать Венеру «немагнитной» планетой. Кроме того, ионосфера обычно оказывает очень слабое сопротивление протекающим по ней токам (по оценкам, перепад потенциала через всю планету составляет не более нескольких десятков вольт). В результате в теоретических расчетах Венеру стали рассматривать как немагнитный хорошо проводящий шар.

Непрерывный поток новых экспериментальных данных, получаемых советскими и американскими космическими аппаратами, поддерживал интерес исследователей к проблеме взаимодействия солнечного ветра с Венерой. Пожалуй, наиболее неожиданным было обнаружение

«Венерами-9 и -10» в 1975—1976 гг. достаточно протяженного плазменно-магнитного хвоста у немагнитной планеты Венеры. Магнитное поле этого хвоста, так же как и хвоста магнитосферы Земли, состояло из двух «трубок» магнитных силовых линий; направление поля в этих трубках было противоположно: приблизительно к Солнцу и от него. Однако, в то время как геометрия магнитосферного хвоста Земли определяется ориентацией ее магнитного момента и направлением потока солнечной плазмы, расположение двух половин хвоста Венеры зависит от направления межпланетного магнитного поля. Поскольку это поле обычно не остается постоянным в течение длительных промежутков времени, то при изменении его направления в плоскости, перпендикулярной линии Венера—Солнце, хвост венерианской магнитосферы также поворачивается вокруг этой линии.

Обычно хвост магнитосферы Венеры заполнен потоками плазмы, текущими в антисолнечном направлении и имеющими скорость значительно ниже скорости солнечного ветра. Анализ температуры и ионного состава этой плазмы показывает, что, скорее всего, она имеет ионосферное происхождение и, по-видимому, состоит из ионов кислорода и гелия. Американский космический аппарат «Пионер-Венера», запущенный в 1978 г. на орбиту спутника Венеры, позволил провести систематическое исследование ионосферы планеты и области взаимодействия с солнечным ветром на дневной стороне Венеры. Одним из наиболее интересных результатов стало открытие магнитного барьера, или магнитной подушки, расположенной над ионосферой.

Если планета не имеет собственного магнитного поля, но обладает хорошо проводящей оболочкой, то при обтекании ее солнечным ветром такая планета за счет ионосферных токов как бы сама создает вблизи своей поверхности магнитный экран (барьер), отклоняющий поток солнечного ветра; в этом смысле магнитосферу Венеры часто называют индуцированной (наведенной). Токи, создающие магнитное поле барьера, текут по верхней границе ионосферы — ионопаузе. Их величина достигает такого значения, чтобы давление магнитного поля, создаваемого ими в барьере, примерно уравновешивало динамическое давление солнечного ветра. Отсюда можно получить величину магнитного поля барьера $B_0 \sim (0,6-1) \cdot 10^{-3}$ Гс, хорошо согласующуюся с экспериментальными

данными. В свою очередь, магнитное давление в барьере уравнивается газовым давлением ионосферы, на которую опирается барьер. Ясно, что высота, на которой расположена ионопауза, уменьшается при росте давления солнечного ветра и соответственного усиления поля в барьере.

По данным спутника «Пионер-Венера», ионопауза представляет собой тонкий, около 100 км, токовый слой, разделяющий ионосферу и магнитный барьер. В этом слое возникает резкий перепад давления плазмы. Омическое сопротивление для токов, текущих в таком тонком слое, невелико. Из геометрических соображений и из результатов измерений параметров плазмы ясно, что хвост магнитосферы и магнитный барьер Венеры должны быть топологически связаны, т. е. лежать на одних и тех же силовых линиях магнитного поля. Понять общую структуру магнитосферы Венеры можно лишь в том случае, если взглянуть на имеющиеся экспериментальные результаты с единой точки зрения¹.

Рассматривая движение плазмы, удобно использовать понятие силовых линий магнитного поля или пучков силовых линий (силовых трубок). Это связано с тем, что частицы плазмы, вращаясь вокруг направления вектора магнитного поля, остаются практически на одних и тех же силовых линиях при движении объема плазмы как целого (условие «вмороженности»). Предлагаемая модель образования магнитосферы Венеры рассматривает динамику силовых трубок и связанной с ними плазмы.

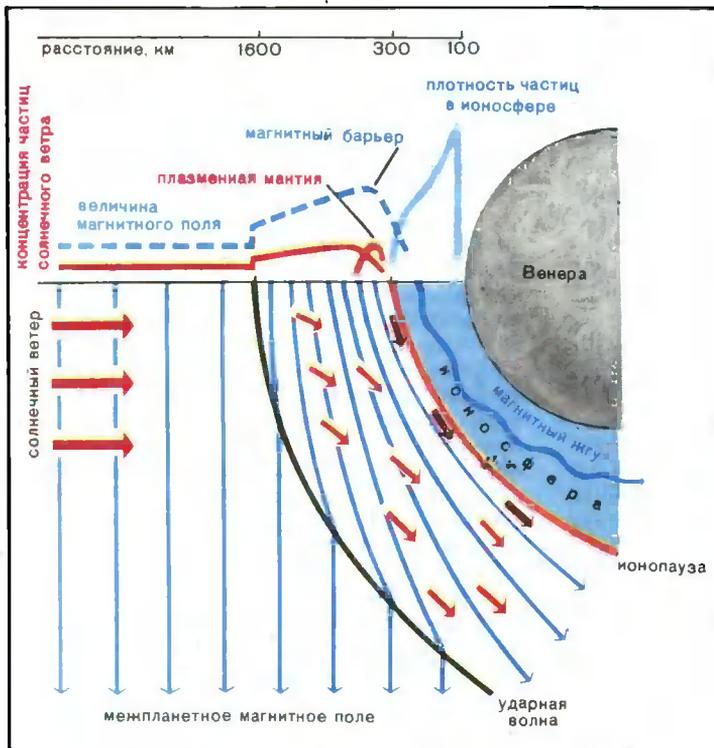
Образование магнитного барьера Венеры обусловлено известным эффектом «выдавливания» плазмы вдоль силовых линий магнитного поля, когда плазменный поток тормозится при обтекании препятствия. Даже в сильном магнитном поле плазма не теряет своей подвижности вдоль магнитного поля и поэтому, например, при обтекании шара имеет возможность «соскользнуть» в невозмущенные области потока. Если представить себе, что силовая трубка, содержащая разогретый и замедленный за счет взаимодействия с ударной волной поток плазмы, приближается к планете с дневной стороны, то эта трубка будет тормозиться тем сильнее, чем ближе ее траектория подходит к подсолнечной точке. Увеличение давления плазмы приводит, с одной стороны, к сжатию трубки, т. е. ло-

кальному усилению магнитного поля, с другой — к опустошению центральной части трубки за счет «выдавливания» плазмы в ее концы. Процесс усиления поля и вытеснения солнечного ветра завершается созданием магнитного барьера, через который движется вершина рассматриваемой нами силовой трубки.

Хотя магнитный барьер практически свободен от солнечной плазмы, нельзя забывать, что он располагается внутри нейтральной атмосферы планеты и поэтому концентрация атомов кислорода и гелия в нем еще достаточно велика. Несмотря на то что давление плазмы, образующейся в нижних частях барьера за счет ионизации атомов атмосферы ультрафиолетовым излучением Солнца (и частично в результате обмена зарядами с ионами солнечного ветра), не превышает 20—30% от давления магнитного поля, ее роль в динамике попадающих в барьер силовых трубок чрезвычайно велика. Вершина силовой трубки, «провалившейся» в барьер, ускоряется в нем за счет перепада магнитного давления от подсолнечной области к терминатору. При этом силовая трубка все больше «нагружается» фотоионами, рождающимися в ней при ее движении через нейтральную атмосферу. Естественно, такая «утяжеленная» вершина силовой трубки отстает от ее концов, которые как бы вморожены в свободно движущийся поток солнечного ветра.

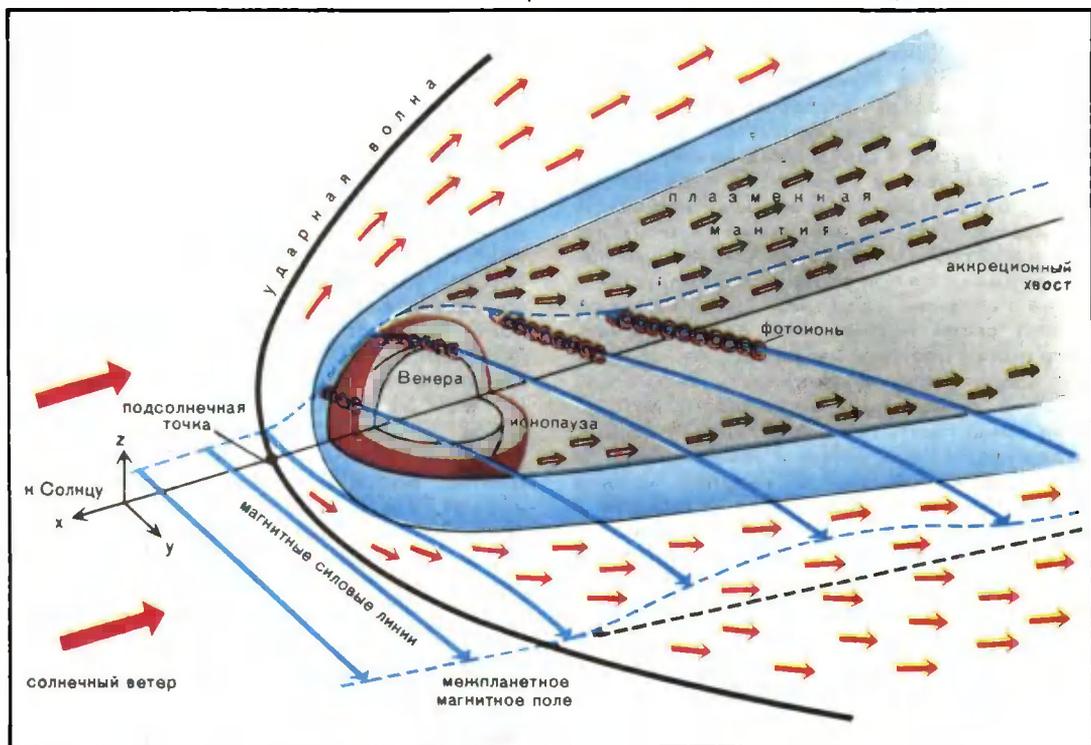
Именно такие силовые трубки, вершины которых застревают в барьере из-за заполнения (или аккреции) тяжелой фотоионизационной плазмой, и создают магнитный хвост венерианской магнитосферы, получивший в связи с этим название аккреционного. Плазма, образовавшаяся в силовых трубках, ускоряется вместе с ними и одновременно растекается вдоль магнитного поля. Вот этот поток плазмы планетного происхождения, текущий вдоль магнитосферного хвоста со скоростями, в несколько раз меньшими скорости солнечного ветра, и был обнаружен «Венерами-9 и -10»; он получил название плазменной мантии. Более подробные расчеты показывают, что иногда фотоионизации недостаточно для объяснения наблюдаемого плазменного заполнения хвоста. Это заставляет предположить, что существуют дополнительные источники плазмы в магнитном барьере. В частности, при ионизации нейтральных атомов в магнитном барьере могут играть роль эффекты аномальной ионизации, связанные с развитием плазменных неустойчивостей, обсуждавшихся

¹ Зеленый Л. М., Вайсберг О. Л. — Космич. иссл., 1982, т. 20, № 4, с. 604; там же, с. 645.



Взаимодействие солнечного ветра (в него «вмерзано» межпланетное магнитное поле) с ионосферой Венеры. Поток плазмы солнечного ветра, характерники которого изменились на фронте ударной волны (это обозначено изменением размера стрелок), течет над ионопаузой Венеры с расположенным над ней магнитным барьером. В барьере вместо ионов солнечного ветра появляются ионы планетарного происхождения (плазменная мантия). В верхней части рисунка схематически (в относительных единицах) показано изменение параметров плазмы и магнитного поля в зависимости от расстояния до Венеры.

Общий вид магнитосферы Венеры. Показано формирование аккреционного хвоста при перемещении магнитных силовых линий из солнечного ветра в магнитный барьер и далее на ночную сторону Венеры. Плазма планетарного происхождения в магнитном барьере и хвосте образует плазменную мантию. Снимком пунктиром в области за ударной волной обозначено отклонение «силовых трубок» при их движении от прямолинейного распространения (черный пунктир).



ранее в работах Х. Альвена применительно к ионизации кометного вещества.

Вообще говоря, процесс обтекания кометы солнечным ветром во многом качественно схож с обтеканием Венеры. Комета отличается намного большим выделением газа и отсутствием гравитационного поля, поэтому аккреционные эффекты проявляются при ее обтекании гораздо ярче. С этим, в частности, связана громадная протяженность кометных хвостов по сравнению с размерами их ядер². Однако образование магнитного барьера, по-видимому, — общее свойство процесса взаимодействия солнечного ветра с хорошо проводящими и намагниченными телами. Если же у тела имеется нейтральная атмосфера, способная ионизоваться, то появляется еще одно общее свойство — образование в процессе взаимодействия с солнечным ветром аккреционного хвоста.

Выше мы описали стационарную модель обтекания солнечным ветром Венеры, в среднем неплохо согласующуюся с экспериментальной картиной. Однако целый ряд новых явлений, открытых недавно с помощью космического аппарата «Пионер-Венера», не получил пока убедительного объяснения. Так, удалось установить, что крупномасштабное магнитное поле барьера не проникает внутрь ионосферы, т. е. ток течет лишь в узком токовом слое внутри тонкой ионопаузы только при не слишком высоких давлениях солнечного ветра. Если это давление превышает некоторое критическое, тонкий токовый слой разрушается и основание магнитного барьера как бы проваливается внутрь ионосферы (ток растекается по большей части ионосферы). Причины подобного срыва ионопаузного тока пока неясны.

Обнаружено еще одно интересное явление, получившее название магнитных жгутов, или канатов. Дело в том, что даже при умеренных давлениях солнечного ветра в ионосфере всегда существуют изолированные мелкомасштабные магнитные образования размером в несколько десятков километров — магнитные жгуты. Магнитное поле, направленное по оси жгута в его центре, ослабевая, становится почти азимутальным на его периферии. Такая спиральная структура поля напоминает скрученный из магнитных силовых линий канат, с чем и связано название явления. Напряженность

поля в центре жгута достигает значений поля в магнитном барьере, поэтому и было высказано предположение, что магнитные жгуты представляют собой отдельные силовые трубки, провалившиеся внутрь ионосферы и испытывающие при этом нечто, напоминающее механическое закручивание.

Один из возможных механизмов такого провала связан с развитием неустойчивости Кельвина — Гельмгольца в ионопаузе. (Это явление напоминает неустойчивость морской поверхности при сильном ветре.) Поток плазмы, обтекающий границу ионосферы, в принципе, способен возбудить подобную неустойчивость границы и в случае ионопаузы Венеры. Здесь мы столкнулись с важной задачей о структуре границы между разреженной горячей замагниченной плазмой (солнечным ветром) и холодной столкновительной плазмой без магнитного поля (ионосферой). Плазменные конфигурации такого рода встречаются в ряде астрофизических объектов, поэтому накопленный к настоящему времени довольно богатый экспериментальный материал о структуре венерианской магнитосферы позволит лучше понять физические процессы, происходящие в таких пограничных слоях.

★

Итак, по характеру взаимодействия с потоками плазмы все тела можно условно разделить на три основные группы: имеющие достаточно сильное магнитное поле (Земля, Юпитер, Сатурн, Меркурий и, по-видимому, Уран), не обладающие магнитным полем и проводящей оболочкой (Луна) и тела без заметного собственного магнитного поля, но имеющие хорошо проводящую оболочку; по ней могут течь токи, наводящие магнитное поле, которое способно в некотором плане заменить собственное (Венера, кометы). Становится понятным неожиданное сходство (образование магнитосфер) у тел первой и третьей групп. Особняком стоит Марс, обладающий слабым собственным магнитным полем. В образовании его магнитосферы играет роль как это поле, так и эффекты взаимодействия солнечного ветра с верхней атмосферой Марса.

Венера — пока единственный экспериментально исследованный объект третьего типа. Поэтому научные идеи, возникшие при ее изучении, играют сейчас большую роль в развитии теоретических представлений о еще не исследованных процессах, с которыми могут столкнуться исследователи при осуществлении, например, проекта встречи с кометой Галлея.

² Подробнее о кометах и плазменных явлениях в их атмосферах см.: Марочник Л. С., Скуридин Г. А. На встречу с кометой Галлея. — Природа, 1982, № 8, с. 2.

Инженерия оплодотворения

В. А. Струнников



Владимир Александрович Струнников, член-корреспондент АН СССР, профессор, заведующий лабораторией цитогенетики развития и регуляции пола Института биологии развития им. Н. К. Кольцова АН СССР, руководитель генетических исследований на тутовом шелкопряде в Среднеазиатском научно-исследовательском институте шелководства и в Ташкентском государственном университете. Лауреат Государственной премии СССР (1981), награжден золотой медалью им. И. И. Мечникова (1981). Неоднократно публиковался в «Природе».

С незапамятных времен размножение живых организмов было для человека одной из величайших тайн природы. Открытие половых клеток и оплодотворения не разрешило, а, напротив, поставило перед исследователями новые, еще более трудные проблемы. Прежде всего возник вопрос — каким образом через микроскопические половые клетки передается от родителей потомству огромная по объему генетическая информация. Эта проблема была блестяще решена генетиками в XX в., в то время как сам процесс реализации наследственной информации в новом организме или возникновение различных по строению и функциям тканей от генетически совершенно одинаковых исходных клеток до сих пор еще полностью не познаны.

Загадочны уже самые первые стадии процесса размножения. В женских половых клетках, вначале имеющих два набора хромосом, к концу созревания остается один. Уменьшение числа хромосом происходит во время двух мейотических делений, одно из которых — редукционное. У большинства животных оно начинается задолго до встречи яйца со сперматозоидом, но не доходит до конца, а в силу каких-то неизвестных причин останавливается (блокируется) на строго определенной стадии. И только про-

никновение сперматозоида в яйцо снижает блокировку мейоза, который завершается образованием четырех гаплоидных ядер. И опять-таки в силу неизвестных причин лишь одно из них становится женским пронуклеусом (три других превращаются в направительные тельца), который затем сливается обязательно только с мужским гаплоидным ядром (оплодотворение), хотя в это время в яйце имеются другие гаплоидные ядра — направительные тельца. Почему с удивительным постоянством совершаются в яйце именно эти события, и может ли человек изменить их по своей воле? Особый интерес в серии этих проблем представляет снятие блокировки мейоза, которое названо активацией яиц. Причастность сперматозоидов к этому процессу была совершенно очевидна, и это, казалось, давало ключ к разгадке.

Но вот почти в самом конце прошлого века русскому зоологу А. А. Тихомирову (1886 г.) удалось побудить к развитию неоплодотворенные яйца тутового шелкопряда (*Bombyx mori*) не только сперматозоидами, но действием целого ряда физических и химических факторов. Так был открыт искусственный партеногенез. Пионерские работы Тихомирова немедленно стимулировали изучение этого явления у многих видов животных, но преимущественно у тех,

яйца которых не покрыты, в отличие от тутового шелкопряда, скорлупой и оплодотворяются вне организма матери. Опыты на таких объектах казались куда удобнее, чем на яйцах тутового шелкопряда. Основной их целью была замена мистического действия сперматозоида известными физико-химическими факторами, чтобы на основе полученных данных познать природу активации. Как бы много ни было открыто различных явлений в искусственной активации и самом оплодотворении, все же эта проблема в целом к концу 20-х годов текущего столетия оказалась далеко еще не решенной.

Искусственно активированные неосеменные яйца развивались неправильно, и лишь в редчайших случаях партеногенез завершался получением взрослых особей. Поскольку причину этого прежде всего видели в неполноценности искусственной активации яиц, интенсивность подобных исследований резко снизилась. И лишь в конце 20-х и особенно в начале 30-х годов вновь возродился интерес к искусственной активации, и опять объектом исследований стал тутовый шелкопряд.

Первые основополагающие работы подобного рода были выполнены Б. Л. Астауровым¹. Прогревая неоплодотворенные яйца тутового шелкопряда при 46°C в течение 18 мин (с последующим быстрым охлаждением), ему удалось активировать к партеногенетическому развитию около 90% взятых в опыт яиц, из которых 40—60% заканчивались выходом жизнеспособных гусениц. Позже специально выведенные партеногенетические клоны после искусственной активации стали регулярно давать около 90% гусениц. Следовательно, искусственная активация у шелкопряда равноценна естественной, и на основе их сравнительного изучения можно познать природу активации.

Астауров, анализируя результаты своих опытов по партеногенезу, обратил внимание, что найденные им оптимальные для активации яиц дозы очень близки к дозам, вызывающим денатурацию белков и тепловую смерть яиц. Исходя из этого в 1940 г. он выдвинул гипотезу, согласно которой первичным механизмом, запускающим активацию при термическом партеногенезе, является обратимая денатурация белков. Высказав эту гипотезу,

Астауров писал: «На этом наш анализ явления термоактивации у *B. mori* должен почти остановиться. Для более глубокого понимания механизма активации, являющейся конечной и далеко еще не достигнутой целью всех исследователей по искусственному партеногенезу, наши собственные эксперименты не дают материала»².

Если принять эту гипотезу, то неизбежен вывод, что природа активации яиц сперматозоидами и целым рядом других агентов должна быть иной, чем при термоактивации, так как эти агенты вряд ли могут вызвать денатурацию белков. Связь активации с денатурацией белков казалась не вполне обоснованной.

К проблеме активации яиц Астауров больше не возвращался. Не работали в этом направлении и другие исследователи вплоть до конца 60-х годов, когда коллектив нашей лаборатории начал опыты по изучению природы активации яиц тутового шелкопряда.

Об экспериментальных подходах и результатах, вытекающих из этих экспериментов, и пойдет речь в статье.

РЕАЛЬНОСТЬ «ДЕНАТУРАЦИОННОЙ» ГИПОТЕЗЫ

В основном опыте Астаурова изучалась зависимость активации яиц и полного партеногенеза от времени прогрева при 46°C в интервале от 4 до 26 мин. При 4-минутном прогреве частота активации яиц не превышала 5%, а гусеницы вообще не появлялись. С увеличением времени прогрева оба показателя быстро нарастали и достигали максимума за 18 мин; при этом активировалось 80% яиц и появлялись личинки из 22% яиц, взятых в опыт. С дальнейшим увеличением времени прогрева количество активированных яиц и личинок постепенно снижалось.

Чтобы понять ход анализа опытов Астаурова, уместно напомнить, что партеногенез амеиотического типа наступает при прогреве, вызывающем два процесса: активацию яиц и выключение редукционного деления (последнее обеспечивает сохранность диплоидности женского ядра — условие, необходимое для успешного развития яиц).

Анализируя полученные Астауровым данные, трудно не согласиться с его заключением, что доза теплового воздействия при 46°C в течение 18 мин

¹ Астауров Б. Л. Искусственный партеногенез у тутового шелкопряда. М.—Л., 1940.

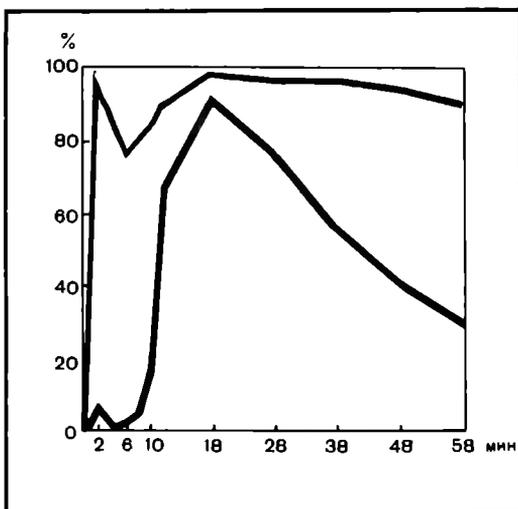
² Там же, с. 184.

оказалась в равной мере оптимальной как для собственно активации яиц к партеногенезу, так и для выключения редукционного деления. Если бы эти оптимумы не совпадали, не было бы того параллелизма в частотах активации и полного партеногенеза, который неизменно наблюдался.

Поскольку в опытах Астаурова при экспозиции 4 мин активация яиц была минимальной (5%), следовало ожидать, что при меньших экспозициях частота активации должна быть еще ниже, т. е. фактически снижаться до нуля. Что касается полного партеногенеза — выхода личинок — то уже при 4-минутной экспозиции они не появлялись, и естественно было считать, что партеногенез не может успешно завершиться за еще меньший промежуток времени. Однако некоторые наши наблюдения побудили нас испытать действие на яйца той же, что и у Астаурова, температуры, но в более широком интервале времени — от 1 до 58 мин³. Мы работали на склонных к партеногенезу клонах, благодаря чему при экспозиции 18 мин частота активации достигала практически 100%, а полного партеногенеза — 90%. При экспозициях 4—6 мин у нас, так же как и у Астаурова, резко снижались оба показателя. Но результаты прогрева в течение 2 мин оказались совершенно неожиданными: практически все 100% яиц приступали к развитию! Правда, выход личинок был очень мал — всего 5—6%, вместо 90%, полученных при активации в течение 18 мин. Не означает ли это, что малые тепловые дозы хотя и активируют, но активируют как-то неполноценно? Дальнейшие опыты показали, что это не так. Низкий выход партеногенетических гусениц обусловлен не качественно плохой активацией, а иным (по сравнению с 18-минутной экспозицией) — мейотическим типом партеногенеза, приводящим к возникновению потомства иной генетической структуры, чем при амейотическом партеногенезе⁴.

Напомним, что при мейотическом партеногенезе происходит митотическое деление пронуклеуса и возникшие в результате два генетически совершенно одинаковых

гаплоидных ядра, сливаясь вместе, образуют затем диплоидное ядро. Яйца с таким диплоидным ядром способны развиваться, но развитие их далеко не во всех случаях доходит до появления личинок. Это происходит из-за того, что, во-первых, в пронуклеусах половины всех яиц оказывается половая W-хромосома и после слияния дочерних ядер возникает диплоидная зигота с двумя W-хромосомами (норма: ZW — самка, ZZ — самец), которая не может развиваться до личиночной стадии.



Зависимость активации яиц к партеногенетическому развитию [зеленая линия] и выхода партеногенетических гусениц [черная линия] от времени прогрева при 46°С. 2-минутная экспозиция оптимальна для индуцирования мейотического партеногенеза, 18-минутная — амейотического.

Следовательно, при мейотическом партеногенезе частота выхода личинок уже должна быть в два раза меньше, чем при амейотическом. Во-вторых, яйца с нормальной формулой половых хромосом — ZZ — очень плохо оживают. Дело в том, что в генотипе тутового шелкопряда содержатся вредные гены (летальные, полuletальные). При обычном половом размножении они переходят в гетерозиготное состояние и не проявляются, так как их вредное действие подавляется нормальными, гомологичными им доминантными генами. При мейотическом партеногенезе каждый вредный рецессивный ген, попавший в пронуклеус, перейдет в гомозиготное состояние после

³ Струнников В. А., Терская Е. Р., Маресин В. М., Демьянов Е. В. — Доклады АН СССР, 1980, т. 253, № 5, с. 1247.

⁴ Струнников В. А., Терская Е. Р. Мейотический партеногенез у тутового шелкопряда и проблемы генетики и селекции. — Природа, 1977, № 1, с. 57.

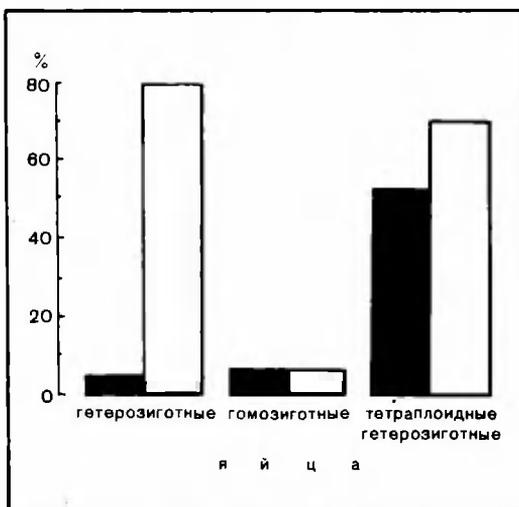
того, как образуется диплоидное ядро, и обязательно проявит свое отрицательное действие. А так как этих вредных генов у шелкопряда обычно бывает много, то и жизнеспособность полностью гомозиготных партеногенетических зародышей резко снижается.

Зависимость низкого выхода личинок при 2-минутной экспозиции от генетической неполноценности зародышей, а не от плохой активации, нетрудно доказать.

В выведенной нами гомозиготной обоеполой линии все парные гены одинаковы, а потому партеногенетические потомки и мейотического (самцы), и амейотического (самки) типов генетически совершенно одинаковы (за исключением половых хромосом), в том числе и по концентрации вредных рецессивных генов в гомозиготном состоянии. Следовательно, теоретически нет оснований ожидать разницы в числе вылупления амейотических и мейотических гусениц. Действительно, из яиц самок гомозиготной линии при амейотическом партеногенезе вылуплялось около 4% гусениц-самок и такое же количество гусениц-самцов при мейотическом, в то время как гетерозиготные самки давали амейотическое потомство с частотой 80—90%, а мейотическое в лучшем случае — 5—6%. Это первое доказательство.

Второе же состоит в следующем. Если неоплодотворенные яйца тетраплоидного клона, содержащего четыре набора гомологичных хромосом, прогреть при 46°С в течение 18 мин, то, как и в диплоидных яйцах, индуцируется амейотический партеногенез, и у потомков полностью сохраняется материнский жизнеспособный генотип с четырьмя наборами хромосом. В том случае, когда прогрев длится 2 мин, индуцируется мейотический партеногенез, который существенно отличается от партеногенеза у диплоидных форм. У них после редукционного деления обычно образуется гаплоидный пронуклеус, а у тетраплоидов он диплоидный. Понятно, что такая яйцеклетка не нуждается в восстановлении диплоидности и ее развитие сразу начинается с диплоидным пронуклеусом, который и вступает в первые стадии дробления. Простые расчеты показывают, что при мейотическом партеногенезе тетраплоидных особей, соответствующем самооплодотворению, летальные гены переходят в гомозиготное состояние у потомков в два раза реже по сравнению с потомками, возникшими от скрещивания брата с сестрой, и потому диплоидное поколение

тетраплоидных родителей должно быть относительно слабо угнетенным⁵. Результаты опыта полностью подтверждают эти расчеты. Из неоплодотворенных тетраплоидных яиц, прогретых в течение 18 мин, появляется 68% личинок, а из яиц, прогретых в течение 2 мин, — 50%. Видно, что разница в оживлении небольшая, и она хорошо объясняется меньшей частотой перехода летальных генов в гомозиготное состояние по сравнению с мейотическим партеногенезом диплоидных форм, при



Зависимость выхода партеногенетических гусениц от генотипа активируемых яиц ($t=46^{\circ}\text{C}$, время 2 мин — темный столбик, 18 мин — цветной столбик). Из гетерозиготных яиц в результате мейотического партеногенеза возникают полностью гомозиготные зародыши с низкой жизнеспособностью, а из яиц такого же генотипа при амейотическом партеногенезе образуются высокожизнеспособные зародыши, полностью повторяющие гетерозиготный генотип матери. Из полностью гомозиготных яиц возникают генетически неотличимые друг от друга мейотические и амейотические зародыши с одинаковой степенью гомозиготности и малой жизнеспособностью. Разницы в количестве вылупившихся гусениц при 2- и 18-минутной экспозициях нет. Из тетраплоидных гетерозиготных яиц развиваются диплоидные мейотические зародыши лишь с несколько пониженной частотой генов, перешедших в гомозиготное состояние, а амейотические зародыши повторяют гетерозиготный тетраплоидный генотип матери. Незначительные различия между диплоидным и тетраплоидным потомством в степени гомозиготности обуславливают и небольшую разницу в жизнеспособности зародышей различного партеногенетического происхождения.

⁵ Струнников В. А., Степанова Н. Л., Терская Е. Р., Рубан В. Ц. — Генетика, 1980, т. XVI, № 6, с. 1096.

котором все вредные гены, попавшие в пронуклеус, становятся гомозиготными.

Итак, самый важный вывод из наших опытов состоит в том, что непродолжительный прогрев активизирует яйца с таким же успехом, как и прогрев в течение 18 мин. Иногда нам удавалась активация даже после 30-секундного прогрева. Это в 36 раз меньшая доза по сравнению с 18 мин, и она слишком далека от доз, вызывающих тепловую смерть яиц. Между тем как раз близость тепловых доз, приводящих к активации в опытах по индуцированию амейотического партеногенеза и к необратимой тепловой денатурации белков, считалась решающим аргументом в пользу денатурационной гипотезы. Теперь этот аргумент исключается, и это позволяет считать, что денатурация белков играет роль только в выключении редукционного деления, приводя к обратимому поражению нитей веретена, которое разводит хромосомы при делении. Все доказательства о сходстве действия больших тепловых доз на яйцо с тепловой денатурацией белков и тепловой смертью, которые приводились Астауровым, остались в силе, но относятся они только к нарушению редукционного деления. Показанное нашей сотрудницей В. П. Верейской разрушение нитей веретена после прогрева (46°C, 18 мин) и построение нового веретена свидетельствует скорее даже о необратимости термических поражений структур веретена, но не самих хромосом.

Не только малые дозы теплового воздействия вызывают активацию мейотического партеногенеза, а большие дозы активируют амейотический. Такая же закономерность наблюдается и при действии отрицательной температуры, углекислоты, соляной кислоты. Например, охлаждение в незамерзающей смеси воды и спирта при температуре —6°C в течение 1 секунды индуцирует мейотический партеногенез, в то время как амейотический удается стимулировать этим же воздействием лишь при экспозиции 2800 секунд. И в этом случае дозы воздействия для индуцирования мейотического партеногенеза настолько малы по сравнению с дозами, вызывающими амейотический партеногенез и холодовую смерть, что трудно представить, чтобы они вызвали денатурацию белка.

Теперь нам остается объяснить причину низкой активации яиц и полное отсутствие выхода партеногенетических личинок, когда прогрев при 46°C длится 4—6 мин. Как мы и предполагали вначале, а за-

тем прямыми цитологическими исследованиями подтвердила Верейская, происходит это оттого, что часть хромосом при таких тепловых дозах редуцирует, а другая — нет, вследствие чего возникают нежизнеспособные зародыши с резко нарушенными хромосомными наборами.

НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ АКТИВАЦИИ

Какова же природа активации? Производят ли внешние химические, физические воздействия или проникший сперматозоид непосредственно активацию или же эти воздействия вначале запускают какой-то процесс в яйце, который и выполняет роль активатора? Последнее допущение многие исследователи считают наиболее вероятным: в оплодотворенном яйце возникает некий импульс, под воздействием которого и совершается активация. Но тогда какова же природа этого импульса? Однозначно ответить на этот вопрос крайне трудно, потому что сразу после осеменения или искусственных активирующих воздействий в яйце практически одновременно начинается целый ряд физических и биохимических процессов: усиливаются метаболические реакции и проницаемость клеточной мембраны для ионов натрия и калия; в свободное состояние переходит находящийся в яйце кальций; значительно усиливается синтез белков. В этой ситуации трудно определить, какой из этих процессов носит активационный и какой постактивационный характер, и тем более изучить активационный механизм изолированно. Такого рода исследования еще больше усложняются при работе с яйцами тех животных, у которых выработаны механизмы защиты яйцеклеток от проникновения нескольких сперматозоидов. Эти механизмы включаются на очень ранних стадиях, и их особенно трудно разграничить с активационными процессами.

Доказательства непричастности денатурации белков к тепловой активации яиц тутового шелкопряда позволили допустить естественно напрашивающуюся мысль, что различные факторы, в том числе и сперматозоиды, запускают одинаковый по природе первичный механизм активации. Для проверки этого предположения мы поставили целый ряд опытов, в основу которых положили открытое, но совершенно не расшифрованное Астауровым явление, состоящее в том, что прогретые неоплодотворенные яйца приступают к развитию лишь после того, как их быстро ох-

ладят в воде. Постепенно остывающие на воздухе яйца не развиваются.

Чтобы проследить ход дальнейших рассуждений, автор вынужден прибегнуть к изложению экспериментального материала, избыливающего подробностями. Понятно, что они затрудняют чтение, поэтому неискушенный читатель может ознакомиться лишь с выводами, сделанными на основе экспериментов.

Наш первый опыт по выяснению природы активации был предельно прост⁶. Неоплодотворенные яйца прогревали при 46°C в течение 18 мин, затем помещали в ванночки с температурой от 46°C до 34°C с интервалом в 2° и выдерживали в каждой ванночке 5, 10, 15, 20, 30 и 60 мин. Затем яйца переносили, как обычно, в холодную воду на 5 мин и просушивали. Результаты оказались совершенно парадоксальными. Дополнительные прогревы при температуре 46, 44 и 42°C не меняли частоту активации даже при экспозициях 30 и 60 мин. Практически все яйца приобретали темную окраску — признак активации. Напротив, прогревы при гораздо меньших температурах — 40, 38, 36 и 34°C — привели к резкому снижению числа активированных яиц; уже при 7-минутной экспозиции частота активации снижалась, а за 15 мин падала до предельно низкого уровня (4—5%). На будущее очень важно запомнить, что температуры выше 40°C активируют партеногенез, а ниже — не активируют его даже при суточных экспозициях.

Прежде чем начать анализ полученных данных, приведем результаты еще одного опыта. Неоплодотворенные яйца после основного прогрева (46°C, 18 мин) мы помещали на 1—5 мин (с минутным интервалом) в ванночки с температурой 25°C и затем, как и раньше, снова прогревали при 40°C в течение часа, после чего охлаждали в воде комнатной температуры. После первого охлаждения при 25°C, начиная с 3 мин (а в некоторых более поздних опытах и с 2 мин), активировалось больше 80% яиц, несмотря на то что затем яйца дополнительно прогревали 60 мин при 40°C. Напомним, что в этом случае, если яйца предварительно не охлаждались около 2—3 мин, активация не происходила. Следовательно, необратимые события, приводящие к активации, происходят в течение 2—3-минутного пребывания яиц в нор-

мальной для их развития температуре. Этот прием дает возможность с большой точностью установить начало активации. Если яйца, подвергнутые повторному воздействию высокой (40°C) температуры, пигментируются, то, следовательно, к этому моменту они уже были активированы, если же не пигментируются, активация не произошла. Этот метод оказался крайне полезным в целом ряде наших исследований.

На основании описанных выше опытов было сделано следующее заключение. Действие высоких активирующих температур индуцирует в яйцах особый преактивационный процесс. Он приводит к активации лишь при непрерывном условии: яйца должны быть выдержаны при нормальной для жизнедеятельности температуре, т. е. не выше 30°C. Тогда активация наступит быстро, и преактивационный и постактивационный процессы отграничить друг от друга будет практически невозможно. Напротив, если после активационных воздействий яйца не приобретают нормальную температуру, то активация не наступает, но преактивационный процесс сохраняется в них в течение 7—10 мин и лишь затем угасает в одних яйцах чуть раньше, в других чуть позже. Нет никакого различия в том, постепенно или ступенчато охлаждались яйца, все равно активация не наступает, равно как не имеет никакого значения последовательность постактивационных температур и их конечная сумма. Важно, чтобы постактивационные температуры хотя бы на непродолжительное время не опускались ниже 30°C.

С методической точки зрения ступенчатое снижение температуры 46—40—25°C более выгодно, так как оно, в отличие от постепенного охлаждения, позволяет достаточно точно фиксировать конец генерации высокой активирующей температурой преактивационного процесса и определить продолжительность его действия. Таким образом, экспериментатор выделяет сравнительно длительный период времени, когда в яйце протекают только одни преактивационные процессы, не совмещаемые во времени с постактивационными событиями. Длительный период преактивационного процесса не позволяет назвать его, как это мы делали раньше, импульсом активации, потому что в это понятие обычно вкладывается его быстротечность.

Учитывая длительность преактивационного процесса, удается объяснить и ранее загадочную необходимость резкого охлаждения прогретых яиц (46°C, 18 мин)

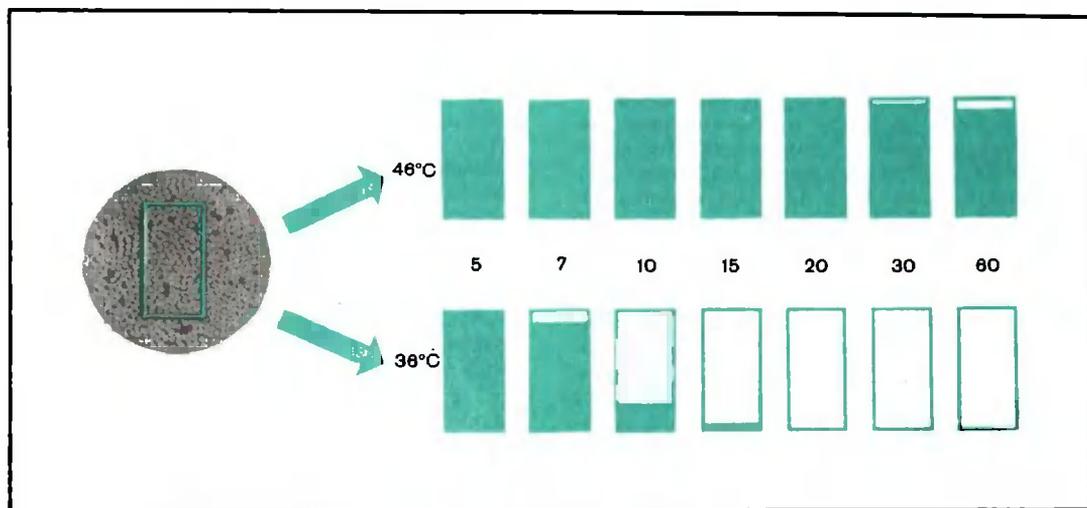
⁶ Струнников В. А., Маресин В. М. — Доклады АН СССР, 1980, т. 251, № 3, с. 720.

при активации их к партеногенезу по способу Астаурова. Дело в том, что при медленном остывании яйца не приобретают нормальную температуру раньше 10 мин, и тогда преактивационный процесс иссякает и активация практически не наступает.

Особый интерес вызвал у нас вопрос об общности преактивационного процесса в яйце, вызванного различными факторами, и возможности предотвращения активации посредством истощения этого процесса при температурах 34—40°C.

все яйца оставались непигментированными. На них нужно было снова подействовать искусственным активатором, чтобы принудить к партеногенетическому развитию. Следовательно, отрицательная температура также вызывает только преактивационный процесс.

Сходные результаты получаются и при действии электрошока. В отличие от высоких и низких температур, воздействие этим агентом мы проводили при температуре 25°C, при этом активация наступала



Зависимость активации яиц от длительности второго прогрева при 46 и 36°C. Неоплодотворенные яйца, первый раз прогретые при 46°C в течение 18 мин и затем дополнительно выдержанные при этой же температуре еще 5, 7, 10, 15 или 20 мин, активируются полностью (доля активированных яиц показана зеленым цветом), несмотря на большую тепловую дозу. И только с 30-минутной экспозиции частота активации незначительно снижается. Если дополнительный прогрев проводить при 36°C, то полностью активируются яйца, только при 5-минутной экспозиции. При более длительных временных интервалах, начиная уже с 7 мин, число активированных яиц резко падает. Значит, при температуре 36°C после первого прогрева возникает только преактивационный процесс.

С этой целью вначале были проведены опыты по активации отрицательной температурой и электрошоком. Если яйца активировались действием низкой температуры (—11°C в течение 30 мин), а затем попадали в нормальную температуру (25°C), то через 2—3 мин активировалось практически 100% яиц. Но при быстром перемещении охлажденных яиц в ванночку с температурой 36°C (на 30 мин) почти

через 2—3 мин после воздействия. Если же раньше этого срока яйца переносили в температуру 36°C, активация не наступала.

Естественно, результаты наших опытов сразу же навели на мысль о возможности предотвратить активацию осемененных сперматозоидами яиц, хотя ее вероятность казалась нам незначительной. Эти опасения хорошо понятны тем, кто наблюдал бурный процесс развития яиц, начинающийся сразу после внедрения сперматозоида в яйцо. У тутового шелкопряда сперматозоиды проникают в яйца в момент их откладки. В опыте отложенные осемененными бабочками яйца (в возрасте от 0 до 2 мин) помещали в воду, нагретую до 36°C. Пребывание в этой температуре в течение 10 мин не влияло на частоту появления оплодотворенных яиц, но при увеличении экспозиции число желтых, т. е. не развивающихся, яиц резко нарастает, достигая за 25—30 мин практически 100%. Таким образом, повторяется тот же самый феномен, что и при искусственной

активации яиц. Интересно, что осемененные яйца с выключенным оплодотворением могут пребывать в таком состоянии в течение суток и не приступать к развитию. В нашей лаборатории Е. С. Габер цитогенетическими методами показала, что в яйцах с предотвращенным оплодотворением женское ядро полностью блокировано, а сперматозоиды крайне медленно преобразуются морфологически, но никогда не превращаются в пронуклеусы. Следовательно, активационный процесс распространяется не только на компоненты яйца, но и на сперматозоиды.

Необычная ситуация, когда в яйце есть все компоненты для оплодотворения, но нет самого оплодотворения, оказывается, может быть прервана. Достаточно такие яйца подвергнуть прогреву (46°C), охлаждению (-11°C) или электрошоку, как 80—90% их немедленно начинают развиваться и оживают около 60% яиц. Генетический анализ показывает, что появившиеся после таких воздействий гусеницы произошли в результате обычного оплодотворения. Возникшее потомство, на первый взгляд, кажется нормальным во всех отношениях.

Нужно отметить, что и до нас удавалось подавлять начальные стадии развития в яйцеклетках, возникающие после проникновения в них сперматозоидов. Однако приостанавливались ли при этом преактивационные или постактивационные процессы и было ли это подавление обратимым, экспериментально не было установлено.

Подводя итог, мы, наконец, вправе сделать бесспорный вывод о том, что разные внешние факторы, в том числе и проникновение сперматозоидов, вызывают один и тот же преактивационный процесс в яйцах. Активация в конечном итоге вырисовывается в виде трех ступенчатых процессов: неспецифического действия различных факторов на яйцо, возникновения специфического преактивационного процесса и собственно активации.

Несмотря на полную аналогию активаций, вызванных различными факторами, мы все же точно не знаем об их относительной полноценности. Впрочем, теперь имеется возможность это узнать. Дело в том, что осемененные яйца с блокированным оплодотворением дают нам в руки идеальную модель для такого рода исследований. Ведь в этих яйцах имеются как женские, так и мужские ядерные компоненты, необходимые для оплодотворения. Следовательно, после вторичной активации

таких яиц искусственными факторами оплодотворение и связанные с ним цитогенетические механизмы должны быть точно такими же, как и при обычной активации сперматозоидами. Если нормально оплодотворенные яйца и яйца, оплодотворенные после искусственной обработки, будут качественно одинаковыми, то, очевидно, не будет разницы между естественной и искусственной активациями яиц. Пока мы такой разницы не уловили в опытах с низкими температурами и электрошоком. Для окончательного ответа необходим более обширный экспериментальный материал.

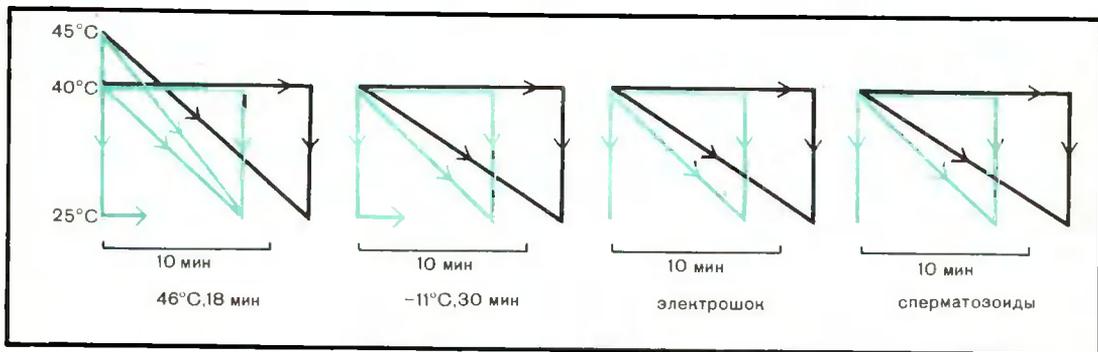
Возвращаясь к преактивационному процессу, мы хотели бы продемонстрировать особенности его природы на примере действия особого примуса. Если бы конструктору предложили сделать примус, который загорался бы только при комнатной температуре (ниже 30°C), то одним из простейших его вариантов могло быть следующее устройство. Специальное приспособление закрывало бы отверстие, откуда подается керосин, при температуре воздуха выше 30°C , а при температуре ниже 30°C — открывало бы. Налитый в запальник в определенном количестве и зажженный спирт сгорает, скажем, за 10 мин. Если за это время примус не успевает прогреться до нужной температуры, то он не зажигается и не зажигается и после того, как в нем выгорит спирт.

Действие такого примуса весьма близко к тому, что происходит при активации яиц. Но если в примусе все узлы и их взаимодействие нам хорошо известны, то в активации мы знаем только о последовательности отдельных ее звеньев, но отнюдь не об их природе. Правда, о характере преактивационного процесса уже можно судить по целому ряду свойств. В частности, мы знаем, что динамика его угасания почти одинакова у яиц, активированных сперматозоидами, высокими и низкими температурами и электрошоком. Вместе с тем стало известно, что продолжительность преактивационного процесса находится в прямой зависимости от тепловой дозы. Например, после прогрева при 46°C в течение 2 мин он протекает за 2—3 мин, а при 30-минутной экспозиции длится около 30—40 мин. При температуре $+5^{\circ}\text{C}$ преактивационный процесс в течение десятков часов остается как бы законсервированным. Вероятно, детальное изучение температурной зависимости преактивационного процесса позволит понять природу этого состояния. Пока складывается лишь впечатление, что под влиянием

неспецифических факторов в яйцах вырабатывается какое-то химическое вещество, которое и активирует их при нормальной температуре.

Каково это вещество, вскоре, очевидно, удастся выяснить, так как возникла ранее не известная экспериментальная возможность. Дело в том, что теперь мы научились получать четыре совершенно четко разграниченные во времени категории яиц: яйца с блокированным мейозом; яйца с преактивационным процессом, длящимся

стимулирует нормальный мейоз, в результате которого в диплоидный пронуклеус попадают равновероятно как Z-, так и W-половые хромосомы. При мейозе, возобновленном действием искусственных факторов, в пронуклеус попадает в 99% случаев одна или две W-хромосомы, и, следовательно, в потомстве возникают почти одни самки, так как уже одной W-хромосомы, независимо от числа Z-хромосом, достаточно для того, чтобы возникли зародыши женского пола. Благодаря



Схематическое изображение зависимости активации яиц от различных постактиваационных температур. Во всех опытах отмечается общая закономерность: яйца активируются в том случае, если они не позже 7—8 мин после активирующего воздействия попадают в нормальную для жизнедеятельности температуру [25°C] (пути, ведущие к активации, показаны цветной линией, не приводящие — черной).

в течение 7—10 мин; яйца с угасшим преактивационным процессом и яйца с начальным развитием. Биохимическое, биофизическое и физиологическое изучение яиц этих четырех категорий, возможно, и прольет свет на те интимные процессы, которые протекают в преактивационных и активационных стадиях.

Анализ данных убеждает, что природа искусственной и естественной активации в основных чертах одинакова, но вместе с этим выясняются и некоторые различия, если не в самой активации, то в ее последствиях. Эти различия могут оказаться ключом для разгадки других тайн биологии развития или регуляции некоторых ее процессов. Доказательством тому служат следующие примеры.

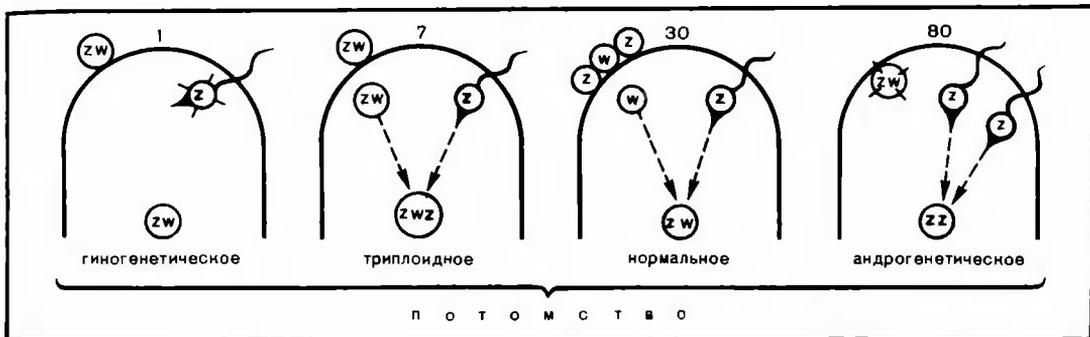
Вот первый из них. Проникновение сперматозоидов в тетраплоидные яйца

этому мы приобрели еще один новый способ регуляции пола. Расшифровка этого удивительного явления, обусловленного факторами активации, несомненно, может открыть новые перспективы в управлении детерминацией пола.

Второй пример связан с жизнеспособностью гусениц. Многочисленные данные свидетельствуют о том, что потомство, полученное в результате искусственной активации яиц, несколько неполноценно, а именно его жизнеспособность и рост понижены по сравнению с потомством такого же генотипа, но возникшим при нормальном половом размножении. Заметим, что гибридное потомство, полученное при половом скрещивании партеногенетических особей (особенно мейотического типа) с обычными породами, не только нормально, но даже более жизнеспособно, чем обычное — оно проявляет мощный гетерозис. Все это говорит о том, что пониженная жизнеспособность партеногенетического потомства обусловлена не генетическими причинами, а, вероятно, какой-то неполноценностью начального эмбриогенеза и постэмбриональных стадий развития. Является ли это следствием неполноценности активации — вопрос, ответ на который может быть дан благодаря открывшимся новым методическим возможностям.

И, наконец, третий пример. Отрицательные температуры активируют к амейотическому партеногенезу яйца в возрасте от 12 часов до 15 суток, в то время как высокая температура (46°C, 18 мин) эффективна только для 12—18-часовых яиц. Нам пока неизвестна связь действия различных температур с возрастом яиц. Однако сам этот факт открыл новые подходы к совершенствованию методов активации. В частности, на его основе мы разработали упрощенный способ получения партеногене-

менения посредством прогрева при неактивирующих температурах свидетельствует о большой лабильности яиц в этот период. Исходя из такой предпосылки, мы прогрели осемененные яйца (разного возраста: от 0 до 1 мин) при активирующей температуре 46°C в течение 18 мин. Оказалось, что если прогревать яйца от момента проникновения в них сперматозоидов и до 30 секунд, прошедших со времени их осеменения, то 50% яиц развиваются гиногенетическим путем вплоть до выхода гусениц. Именно так нам



Цитогенетические схемы наследования генетической информации. Прогрев (46°C, 18 мин) яиц спустя 1 мин после проникновения в них сперматозоидов одновременно выключает редукционное деление ядра яйцеклетки и механизм слияния пронуклеусов противоположного пола. Яйцо развивается гиногенетически на основе материнского диплоидного ядра [WZ] без участия ядра сперматозоида.

Если прогревать 7-минутные яйца, редукционное деление также выключается. В результате слияния диплоидного женского пронуклеуса [WZ] с гаплоидным мужским [Z] образуется триплоидный зародыш женского пола [WZZ].

Тепловая обработка яиц в возрасте 30 мин не нарушает нормального оплодотворения, и возникают диплоидные самцы и самки.

Прогрев яиц в возрасте 80 мин подавляет функцию женского ядерного аппарата, и развитие яиц протекает за счет слившихся вместе двух гаплоидных ядер, внесенных сперматозоидами. В результате появляются андрогенетические самцы.

тических потомков, и этот способ может найти применение в производственных процессах шелководства.

КАК ПОЛУЧИТЬ ПОТОМСТВО РАЗЛИЧНЫХ ТИПОВ

Обратимся вновь к осемененным яйцам с выключенным оплодотворением. Возможность предотвратить оплодотворение яиц в первую минуту после их осе-

впервые удалось получить полный гиногенез у тутового шелкопряда⁷.

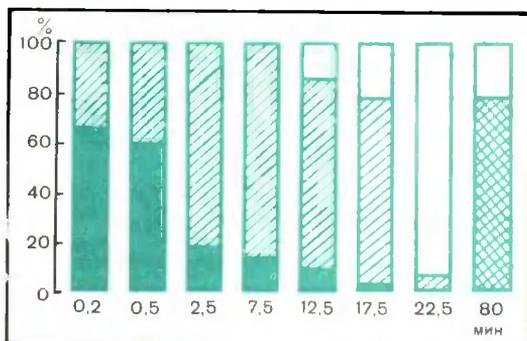
Особого внимания заслуживает то, что гиногенез осуществлен способом, больше не связанным с традиционным инактивированием сперматозоидов химическими веществами, радиацией или хирургическим удалением мужских пронуклеусов из осемененного яйца, как это сделал в своих уникальных опытах по гиногенезу К. Л. Маркерт. О том, что в нашем опыте гиногенез не связан с тепловой инактивацией сперматозоидов, свидетельствует их высокая резистентность в этот период к любым внешним факторам. Надо полагать, что прогрев нарушает обычный механизм сближения женского и мужского пронуклеусов. Как уже отмечалось, из половины взятых в опыт свежесосемененных яиц можно получить высокожизнеспособное гиногенетическое потомство. Получение свежесосеменен-

⁷ Гиногенез, так же как и партеногенез, — один из типов полового размножения. Протекает он в осемененных яйцах, но эмбрион развивается только из женского ядра, так как мужской пронуклеус в силу различных причин не сливается с женским и позже погибает.

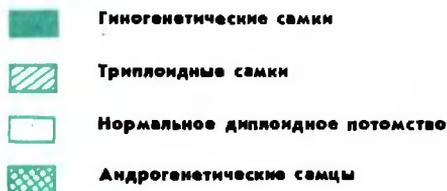
⁸ Струнников В. А., Струнникова Л. В., Павлов Л. Ю. — Доклады АН СССР, 1981, т. 258, № 2, с. 491.

ных яиц и их прогрев — технически достаточно простые процедуры, поэтому легко удастся достигнуть высокого выхода гусениц. Чтобы ясно представить разрашающие возможности нового метода, достаточно вспомнить, что у животных с внутренним оплодотворением гиногенез осуществляется путем хирургического изъятия мужского пронуклеуса из каждого яйца, предварительно на время операции извлеченного из половой сферы матери.

В результате гиногенеза появляется



Зависимость частоты появления различного типа потомства от возраста осемененных яиц в момент прогрева (46°C , 18 мин). Если тепловому воздействию подвергать яйца в первые 30 секунд после проникновения в них сперматозоидов, возникают гиногенетические и триплоидные самки. С повышением возраста яиц число гиногенетических самок постепенно снижается, а триплоидных — возрастает. Начиная с яиц 12,5-минутного возраста, после тепловой обработки появляются нормальные диплоидные самки и самки, возникшие в результате оплодотворения, и число их постепенно нарастает. Если же прогреть 80-минутные яйца, возникают андрогенетические самки.



потомство, точно повторяющее материнский генотип, равно как и при амейотическом партеногенезе неосемененных яиц. Казалось бы, существенной разницы между этими двумя видами полового размножения и нет. Однако то, что при гиногенезе в яйцо попадает сперматозоид с его акросомой и другими компонентами, может

иметь методическое значение. Быть может, отсутствие в партеногенетическом яйце сперматозоидов и приводит к неполноценности партеногенетического развития. Пока в предварительных опытах мы не установили разницы между партеногенетическим и гиногенетическим потомством, однако для окончательного заключения необходимы многократные опыты.

Мы уже отмечали, что частота полного гиногенеза достигает 50% от общего числа прогретых свежееотложенных яиц. А какова же судьба другой половины? Эти яйца также развиваются, и из половины их числа вылупляются гусеницы, но не обычные, а триплоидные. Это происходит вследствие того, что прогрев при 46°C в течение 18 мин выключает редукционное деление женского ядра, оно остается диплоидным, генетически точно таким же, как все диплоидные клетки матери, включая и половые W- и Z-хромосомы. С этим ядром, принимающим на себя функцию пронуклеуса, сливается мужской пронуклеус (с Z-хромосомой), и тогда возникает триплоидное ядро с формулой половых хромосом ZWZ (самка). Нетрудно рассчитать, что среди вылупившихся гусениц оказывается 66% гиногенетических и 34% триплоидных самок.

При прогреве яиц старшего возраста процент триплоидов возрастает и достигает максимума (90%), если термической обработке подвергаются яйца по прошествии 7,5 мин после проникновения в них сперматозоидов. Это лишний раз свидетельствует о том, что причиной уменьшения частоты сближения женского и мужского пронуклеусов в результате прогрева в первые 30 секунд после осеменения является не диплоидность женского ядра, а какие-то процессы, связанные с нарушением установившегося самого начального развития яйца, когда два пронуклеуса противоположного пола сближаются и сливаются.

Если тепловой обработке подвергаются яйца в возрасте 12,5 мин, появляется диплоидное потомство как результат нормального оплодотворения. Относительное количество таких гусениц увеличивается со временем и при активации 22,5-минутных яиц достигает 90%.

В том случае, когда осемененные яйца остаются «законсервированными» в течение 80 мин, ядро яйцеклетки погибает и после активации (за счет слияния двух мужских пронуклеусов) развиваются андрогенетические самки.

Следовательно, прогревая осемененные яйца в строго определенный момент их жизни, можно добиться того или иного

типа развития. Но этим не ограничиваются возможности активации.

В результате термоактивации осемененных яиц триплоидных самок их нередуцированное триплоидное ядро сливается с гаплоидным мужским и развиваются жизнеспособные тетраплоидные особи. Таким же путем можно получить пента- и гексаплоидное потомство.

В методически нескольких иных опытах Л. В. Струнниковой впервые удалось получить полиплоиды тутового шелкопряда и показать, сколь огромна значимость объединения в одной особи трех, четырех, пяти и даже шести целых геномов различных пород.⁹

Формирование полиплоидных гибридов из целых, генетически разных геномов имеет особенно большое значение для изучения природы гетерозиса и дозы действия генов.



Обобщая исследования по активации яиц тутового шелкопряда, прежде всего хочется обратить внимание читателей на удивительное обстоятельство. Всего лишь единственным фактором, например высокой температурой, меняя только дозу и момент ее воздействия на яйцо, можно, словно дирижерской палочкой, индуцировать по желанию: мейотический и амейотический партеногенезы, гиногенез, андрогенез, увеличение числа хромосом в дочернем поколении (полиплоидизация), возврат увеличенного числа хромосом к исходному (деполиплоидизация) и мозаицизм — образование двух продольных половинок тела зародыша из клеток разного генотипа. То же самое можно сделать посредством низкой температуры или других физических и химических факторов. Как мы здесь пытались показать, доза воздействия всегда должна точно соответствовать поставленной цели и возраст яиц в момент воздействия подчас не должен отклоняться более чем на одну минуту от установленного оптимума.

Хотелось бы, чтобы из знакомства с нашими опытами у исследователей, занимающихся активацией яиц других видов животных, возникло представление не только о сложности проблемы активации, но и о плодотворности управления самим процессом, при условии, что будет найдено

его исчерпывающее решение. Возможно, что неудачные попытки вызвать партеногенетическое развитие яиц других сельскохозяйственных животных объясняется не трудностями, обусловленными специфичностью объекта, а недостаточным совершенством методики и техники активации.

Между тем проблема активации яиц у крупных сельскохозяйственных животных с целью разработки искусственных способов размножения и регуляции пола имеет огромное практическое значение, и поэтому недаром в этой области проводятся настойчивые и интенсивные исследования. Разработка проблемы активации яиц тутового шелкопряда к разным типам размножения также не является самоцелью. Каждый новый метод управления активацией и начальным развитием яиц при многочисленном комбинировании с другими методами во много раз умножает экспериментальные возможности, которые трудно перечислить. Благодаря им уже удалось решить на тутовом шелкопряде самые трудные проблемы экспериментальной биологии, такие как регуляция пола, получение генетически идентичных копий как самок, так и самцов, контролируемого создания форм с различной степенью гомозиготности и способности гибридов давать мощный устойчивый в поколениях гетерозис¹⁰.

Несомненно, дальнейшая расшифровка пока еще не разгаданных до конца явлений активации яиц сулит науке открытие еще более заманчивых путей в области экспериментальной биологии не только на тутовом шелкопряде, но и на других сельскохозяйственных объектах.

¹⁰ Струнников В. А. Получение и перспективы использования генетических копий тутового шелкопряда.— Природа, 1982, № 1, с. 57.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Накрасов А. Д. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ В ЖИВОТНОМ ЦАРСТВЕ. История проблемы. М.—Л.: Гос. изд-во, 1930.

Ротшильд Н. М. ОПЛОДОТВОРЕНИЕ. Пер. с англ. М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958.

Дорфман В. А. ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ОПЛОДОТВОРЕНИЯ. М.: Изд-во АН СССР, 1963.

Гинзбург А. С. ЗАКОНОМЕРНОСТИ ОПЛОДОТВОРЕНИЯ У ЖИВОТНЫХ. М.: Знание, 1977.

⁹ Струнникова Л. В.— Доклады АН СССР, 1979, т. 248, № 6, с. 1456.

Геологическая история морской воды

И. С. Грамберг



Игорь Сергеевич Грамберг, член-корреспондент АН СССР, генеральный директор производственного геологического объединения «Севморгеология», директор Всесоюзного научно-исследовательского института геологии и минералогии ресурсов Мирового океана Министерства геологии СССР. Специалист по геологии шельфа и Мирового океана, в частности по геохимии терригенных осадочных пород, палеогеографии и нефтегазоносности шельфовых зон.

Моря и океаны заключают в себе более 97% всех вод, покрывающих поверхность Земли, и свыше половины ее гидросферы. Морские и океанические воды существенно отличаются от вод суши не только массой, но и составом. В каждом литре морской воды растворено в среднем 35 г солей. Концентрация же солей в пресных водах суши обычно не превышает 1—2 г на литр.

Хотя в морской воде содержатся практически все элементы Периодической системы, основную массу растворенных в ней солей составляют всего одиннадцать ионов. Это так называемые «главные ионы океанической воды». К их числу относятся катионы Na^+ , K^+ , Mg^{2+} , Ca^{2+} , Sr^{2+} , анионы Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- , Br^- , F^- и борная кислота H_3BO_3 , которые в сумме дают 99,9% всех растворенных в воде соединений.

Повышенная концентрация солей в морской воде сказывается на многих ее свойствах — увеличивает плотность, повышает точку кипения, понижает температуру замерзания, способствует перемешиванию вод и, вследствие этого, проникновению кислорода на самые большие глубины.

Благодаря большой теплоемкости воды океанов выступают как глобальный терморегулятор. Если бы не океаны, пере-

пады температур сделали бы жизнь на Земле невозможной. Однако роль океана этим не ограничивается. Обладая колоссальной массой воды, большим количеством взвешенных и растворенных минеральных и органических веществ, а также растворенных газов, океан участвует в глобальном обмене всеми компонентами с суши и атмосферой. Вряд ли можно сомневаться, что во всех крупных геологических процессах, происходящих на поверхности Земли (процессах выветривания, накопления осадков и др.), существенную роль играет Мировой океан.

Как же возникли моря и океаны? Где следует искать источники их воды и солевой массы? Менялся ли состав океанов в геологической истории? Попробуем ответить на эти вопросы, опираясь на последние достижения геохимии океана.

ДРЕВНИЕ ОКЕАНЫ. КАК И КОГДА ОНИ ВОЗНИКЛИ?

Как известно, верхняя часть земной коры сложена осадочными породами, не претерпевшими существенных преобразований в результате воздействия высоких давлений и температур, т. е. породами, не измененными метаморфическими процессами. В нижних горизонтах этой толщи обнаружены древнейшие остатки мор-

ских организмов, что позволяет с достаточной уверенностью говорить о существовании морей на нашей планете еще миллиард лет назад — в позднем докембрии. Судя по тому что морской органический мир прошедших эпох отличался сходным составом на всей планете, моря эти были связаны друг с другом. Следовательно, можно говорить, что Мировой океан существовал еще в докембрии.

А ведь сравнительно недавно было принято считать, что глубоководные океанические впадины появились на Земле лишь в мезозое или даже в кайнозое. Такая точка зрения основана на следующем факте: в составе древних толщ не были обнаружены типичные океанические осадки. Однако работы, проведенные в последние два десятилетия, показали, что офиолитовые толщи складчатых поясов можно рассматривать как продукты переработки осадочных и вулканогенных отложений древних океанов¹.

Конечно, очертания Мирового океана в древности были иными, чем мы их видим сейчас. Согласно современным представлениям, древние океаны полностью исчезли. Произошло это в результате крупных горизонтальных перемещений и скупивания океанической коры. Тем самым была создана возможность для образования новых зон растяжения, для появления молодых океанов. Благодаря всестороннему изучению океанов, и в первую очередь благодаря осуществлению программы глубоководного бурения, в настоящее время известно, что Атлантический и Индийский океаны возникли в мезозое (примерно 140—150 млн лет назад), а Северный Ледовитый океан — в кайнозое (примерно 60 млн лет назад). Наиболее древним считается Тихий океан, однако и его конфигурация в прошлом несомненно была иной.

Таким образом, Мировой океан появился на нашей планете более миллиарда лет назад и претерпел сложную эволюцию, в результате которой исчезли одни океаны и возникли другие. Что же касается современных океанов, то они сравнительно молоды, — конечно, в геологическом понимании возраста.

Откуда же на поверхности Земли появилась вся эта колоссальная масса морской и океанической воды и растворенных в ней солей?

Большинство исследователей склоняются к мысли, что основным источником океанической воды и главных анионов ее солей послужили пары воды и газа, выносимые на поверхность Земли в процессе вулканической и интрузивной деятельности. Основным доказательством, убеждающим в справедливости этой точки зрения, является удивительное сходство состава газовых выделений, сопровождающих вулканические и интрузивные процессы, с составом атмосферы и океана. Об этом же свидетельствует весьма низкое содержание воды и большинства анионов в составе литосферы, что исключает возможность их накопления за счет процессов выветривания горных пород.

В отличие от анионов, основные катионы океанических вод содержатся в горных породах в значительных количествах. В газовых же выделениях их чрезвычайно мало. Поэтому главным источником катионов принято считать породы литосферы.

В одной из своих последних работ, посвященных проблеме образования океана, А. П. Виноградов пришел к выводу, что горные породы, воды и некоторые газы появились одновременно, как результат единого процесса выплавления и дегазации мантии Земли². Иными словами, источником гидросферы нашей планеты является вода мантии. Так как количество выплавленных пород у континентальной коры в 2—3 раза выше, чем у океанической, изменение объема океана и его уровня следует, по мнению Виноградова, рассматривать как функцию становления и развития континентов. Установленная им зависимость между массой выплавленных базальтов и объемом выделяемой при этом ювенильной (глубинной) воды позволяет говорить о том, что количество воды в океанах увеличивалось параллельно с развитием континентов.

Таким образом, процесс накопления водной массы океана и рассмотренных в ней солей длился не менее миллиарда лет и теснейшим образом связан с формированием всего облика нашей планеты.

МЕНЯЛСЯ ЛИ СОСТАВ ОКЕАНИЧЕСКИХ ВОД СО ВРЕМЕНЕМ?

«Характерной постоянной нашей планеты» называл В. И. Вернадский солевой

¹ Пейве А. В.— Геотектоника, 1969, № 4, с. 5.

² Виноградов А. П. Введение в геохимию океана. М., 1967.

состав океанических вод. Согласно его представлениям, химический состав океана почти не менялся с ходом геологического времени. Хотя он и не оставался постоянным в строгом смысле этого слова, но колебания совершались около некоторого среднего значения. Данная точка зрения, по мнению Вернадского, наиболее соответствует имеющимся эмпирическим данным.

Называя химический состав океанических вод величиной постоянной, Вернадский прежде всего хотел подчеркнуть устойчивость солевого состава океана ко всякого рода изменениям в окружающей среде. Огромная масса и высокая подвижность океана позволяют ему быстро нивелировать местные аномалии состава, и только длительное направленное воздействие геологических процессов может оставить в нем существенный след.

Стабильность солевого состава океана, наряду с его внушительной массой, несомненно, способствует и ограниченное число компонентов, слагающих основную часть его солей. Ранее уже упоминалось, что львиную долю всех растворенных в океане соединений составляют одиннадцать «главных ионов океанической воды». Четыре из них — Sr^{2+} , Br^- , F^- , H_3BO_3 — пользуются довольно ограниченным распространением на нашей планете, и их влияние на состав океанических вод невелико. Следовательно, химический состав воды океанов определяется всего семью главными ионами. Колебаниями их относительного содержания и ограничивается, в основном, возможность изменения солевого состава океана.

Таким образом, у Вернадского были достаточно веские основания называть солевой состав океана «характерной постоянной нашей планеты».

Идеи Вернадского получили дальнейшее развитие в трудах А. П. Виноградова, А. Б. Ронова, М. Г. Валяшко и ряда других советских и зарубежных геохимиков. Некоторые из них сохранили приверженность взглядам Вернадского относительно постоянства солевого состава океана, другие под влиянием новых данных пришли к выводу о возможности ограниченных изменений.

Существенно иная позиция была сформулирована в одной из монографий Н. М. Страхова, который пришел к заключению о значительных временных изменениях состава и концентрации вод Мирового океана как на ранней, так и на поздней стадиях развития Земли¹.

Столь противоречивые мнения являются следствием сложности проблемы. Их появление прежде всего вызвано ограниченностью отпавших данных для экскурса в прошлое океана. И все же, несмотря на значительность расхождений во взглядах, некоторые представления о солевой массе океана можно считать общепризнанными, по другим вопросам позднее время наблюдается сближение точек зрения. Прежде всего это относится к проблеме источников воды и солевой массы океана, которыми у воды и анионов признаются продукты дегазации мантии, а у катионов — продукты разрушения горных пород литосферы. В этом вопросе исследователи единодушны. Во же время вывод об относительном постоянстве соотношения солей в Мировом океане может быть принят лишь с оговорками.

Начнем с того, что этот вывод подразумевает постоянство соотношения анионов и не может быть распространен на катионы, так как их поступление в океан определяется не процессом дегазации мантии, а процессом выветривания пород литосферы. Однако и применительно к анионам представление о постоянстве их соотношения нуждается в существенных уточнениях. По-видимому, относительно стабильным в течение геологического времени могло быть содержание в морской воде хлора (как, впрочем, и других галогенов), который устойчив по отношению к процессам окисления и образует хорошо растворимые соединения. Что же касается таких анионов, как SO_4^{2-} и HCO_3^- , которые по содержанию в морской воде следуют за хлором, их геохимическая судьба представляется более сложной.

Как известно, на раннем этапе развития Земли ее атмосфера была относительно бедна кислородом. Это, несомненно, ограничивало содержание сульфатов в океанической воде. Лишь с увеличением содержания кислорода в атмосфере количество сульфатов в океанических водах стало возрастать и постепенно достигло современного уровня. Зато содержание углекислого газа в атмосфере далекого геологического прошлого было более высоким. Он постепенно убывал с течением времени за счет образования карбонатных пород и в результате процессов фотосинтеза.

Вполне правдоподобным представляется также предположение о достаточно

¹ Страхов Н. М. Типы литогенеза и их эволюция в истории Земли. М., 1968.

высоком содержании в первичных океанических водах иона NH_4^+ , который отсутствует в водах современного океана.

В настоящее время существует мнение, что состав анионов океанических вод полностью стабилизировался с появлением на Земле кислорода, т. е. примерно 2,0—2,5 млрд лет назад. По-видимому, это действительно так. Однако нельзя забывать, что главная масса современной атмосферы имеет биогенное происхождение. Следовательно, содержание в океанических водах анионов SO_4^{2-} и HCO_3^- в значительной мере контролируется биогенными процессами, скорость эволюции которых в течение новейшего этапа развития Земли (последние 600 млн лет) была особенно велика.

Очевидно, катионный состав океанических вод во многом зависит от миграционных свойств катионов и их способности давать хорошо растворимые соединения. Однако эти факторы являются постоянно действующими, а эволюция состава катионов океанических вод с течением геологического времени зависит не столько от них, сколько от изменения состава разрушающихся горных пород, характера их выветривания и условий миграции продуктов разрушения.

В ходе тектонической эволюции менялся состав выветривающихся пород. На ранних стадиях Земли это были главным образом продукты вулканических извержений (преимущественно основного состава) и хемогенные осадки, среди которых преобладали кремнистые породы. Соответственно в составе океанической воды на раннем этапе развития океана должны были преобладать щелочноземельные элементы. В дальнейшем, по мере разрастания материков, выветриванию подверглись метаморфические и изверженные породы кислого состава, а также терригенные осадки. Причем роль последних возрастала со временем. Это должно было привести к увеличению в составе океанических вод количества щелочных элементов и заметно повысить щелочность океана.

Расширение континентов в ходе геологического развития Земли и увеличение площади терригенных осадков и почв заметно меняли условия миграции катионов. Одни из них в силу высоких сорбционных свойств (K^+) стали задерживаться на путях миграции, другие, наоборот, интенсивно мигрировали и накапливались в океанических водах (Na^+). В результате соотношение калия и натрия в океанических водах неизбежно должно было меняться с геологическим временем.

Таким образом, есть все основания считать, что при общем постоянстве состава основных компонентов океанических вод, о котором говорили Вернадский и другие, их относительное содержание с геологическим возрастом постепенно изменялось. Эти изменения носили направленный характер и являлись отражением общей эволюции состава внешних оболочек нашей планеты.

НЕВИДИМЫЕ СВИДЕТЕЛИ

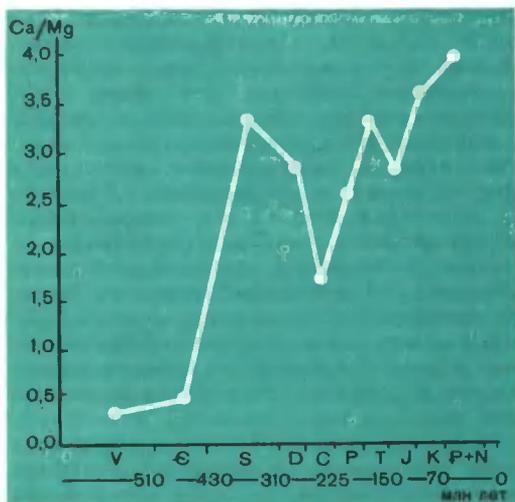
Прямых показателей солевого состава древних морей не сохранилось. Ими могли бы стать поровые воды, захороненные в морских глинистых осадках, но их изучение показало, что после захоронения состав поровых вод и пород, в которых они заключены, существенно изменился. В связи с этим приходится опираться на косвенные данные. К их числу относится состав осадочных пород, образовавшихся в морских бассейнах прошедших эпох. Он в той или иной мере отражает среду осадкообразования, а также состав адсорбированных глинистыми породами катионов, которые сформировались в подводных условиях и несут информацию о солевых компонентах океанических вод.

На примере карбонатных пород Русской платформы и Северной Америки А. П. Виноградову, А. Б. Ронову и В. М. Ратынскому удалось показать, что изменение содержания кальция и магния в карбонатных породах в диапазоне от протерозоя до третичного времени носило направленный характер⁴. На фоне незначительных колебаний четко вырисовывается последовательное уменьшение содержания магния и увеличение содержания кальция от протерозоя к четвертичному времени. Исходя из этих закономерностей, можно сделать вывод, что уменьшение количества магния и увеличение содержания кальция в составе карбонатных пород с ходом геологического времени было общим для всей Земли и отражало, по-видимому, изменения в солевом составе Мирового океана.

Необратимые изменения химического состава свойственны также и глинам — породам преимущественно морского происхождения. Установленная для карбонатных пород тенденция роста отноше-

⁴ Виноградов А. П., Ронов А. Б., Ратынский В. М. Эволюция химического состава карбонатных пород. — В кн.: Сопоставление по осадочным породам. М., 1952.

ния концентраций кальция и магния от древних пород к молодым достаточно ярко проявляется у глин Русской платформы, что позволяет сделать вывод об универсальном характере этой тенденции⁵. Наряду с этим, анализ глин Русской платформы показал, что с течением геологического времени содержание калия уменьшается в два с лишним раза и несколько увеличивается содержание натрия. Аналогичным образом изменяется содержание натрия и калия в глинах Северной Амери-

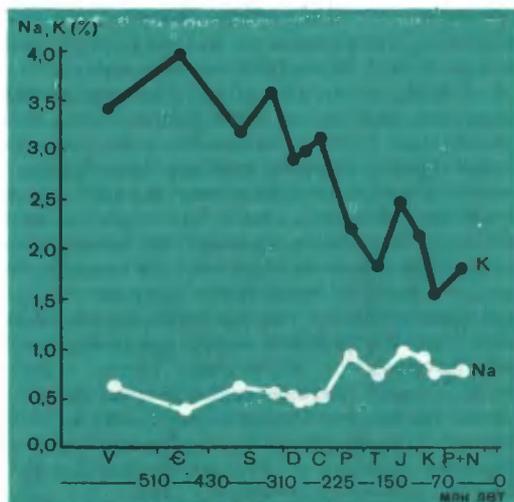


Изменение со временем кальций-магниевого отношения в глинах Русской платформы [по А. П. Виноградову, А. Б. Ронову, В. М. Ратынскому; 1952 г.]. По этому графику можно проследить, как менялось отношение содержания кальция и магния в водах древних морских бассейнов. Буквенными индексами на этом и последующих графиках обозначены геологические подразделения: V — венд, E — кембрий, O — ордовик, S — силур, D — девон, C — карбон, P — пермь, T — триас, J — юра, K — мел, P — палеоген, N — неоген.

ки, средний состав которых выявлен для трех крупных возрастных групп осадков — докембрийской, палеозойской и мезокайнозойской.

Важным показателем того, как менялось со временем соотношение щелочных элементов в морских водах, следует считать эволюцию химического состава

глауконитов — пород, морское происхождение которых признается всеми исследователями. Сведения об изменении во времени химического состава глауконитов содержатся в работах А. Л. Яншина⁶ и Г. А. Казакова⁷. Согласно данным Яншина, глаукониты позднего рифея, а также ордовика и кембрия характеризуются более высоким содержанием K_2O , чем глаукониты последующих эпох. Соответственно Казаков, изучавший глаукониты разного возраста (от рифейских до современ-



Изменение со временем содержания натрия и калия в глинах Русской платформы [по А. П. Виноградову, А. Б. Ронову; 1956 г.]. Графики отражают изменение концентрации этих элементов в водах древних морей, где отлагались глины.

ных) на разных территориях, установил, что содержание калия, магния, двухвалентного железа и алюминия с ходом геологического времени уменьшалось, а количество натрия, кальция и трехвалентного железа возрастало. Соответственно менялось и соотношение концентраций CaO/MgO , K_2O/Na_2O и др. На протяжении докембрия содержание калия в глауконитах менялось незначительно. В дальнейшем, от палеозоя до настоящего времени, оно уменьша-

⁶ Яншин А. Л. Бюлл. МОИП, 1964, отд. геол., т. 34, № 5, с. 3.

⁷ Казаков Г. А. Исследование пригодности глауконитов для определения абсолютного возраста осадочных пород. — В кн.: Химия земной коры, ч. 2, М., 1964.

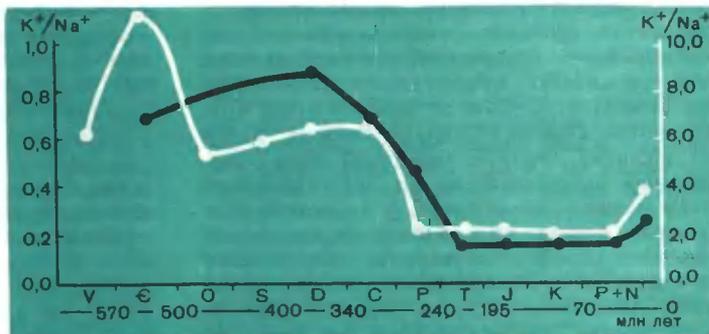
⁵ Виноградов А. П., Ронов А. Б. — Геохимия, 1956, № 2, с. 3.

лось с 5,7 до 3,8 вес.%. Весьма показательно, что как в глинах, так и в глауконитах наиболее резкие изменения в отношении концентраций K_2O/Na_2O и CaO/MgO приходятся на границу мезозоя и палеозоя.

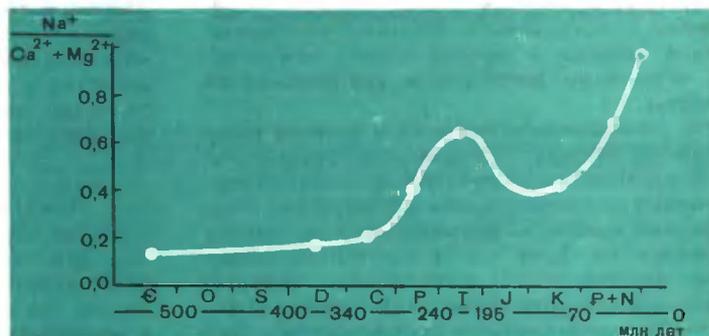
Незримыми показателями катионного состава вод древних океанических бассейнов являются сорбированные на поверхности глинистых частиц катионы морских вод. С помощью экспериментальных исследований установлено, что между ка-

платформы и Северной Америки последовательное уменьшение отношения концентраций K/Na от древних к более молодым отложениям фиксируется и в составе поглощенного комплекса глин Арктического океанического бассейна. Одновременно достаточно четко устанавливается, как растет со временем относительное содержание натрия и уменьшается количество щелочноземельных элементов. Любопытно, что, так же как у карбонатов и глин Русской платформы, наиболее

Изменение с ходом геологического времени относительного содержания калия и натрия в поглощенном комплексе морских глинистых отложений Советской Арктики (черная кривая) и в глинах Русской платформы (белая кривая).



Изменение с ходом геологического времени относительного содержания натрия и щелочноземельных элементов в поглощенном комплексе морских глинистых отложений Советской Арктики.



тионами морских вод и катионами, сорбированными на поверхности глинистых частиц, накапливающихся в морских водоемах, существует равновесие, которое определяется составом морских вод и сорбционной способностью глин. Знание этих зависимостей открывает возможность для реконструкции катионного состава морей прошедших эпох по составу адсорбированных элементов.

С этой целью был изучен состав поглощенных катионов морских глинистых отложений в ряде районов Советской Арктики; возрастной диапазон этих отложений — от кембрия до настоящего времени⁸. Результаты исследований показали, что установленное для глин Русской

резкий, скачкообразный характер наблюдаемых изменений фиксируется в этих породах на рубеже палеозоя и мезозоя.

Таким образом, сопоставление данных о химическом составе разновозрастных карбонатных и глинистых пород Русской платформы и Северной Америки, глауконитов различных районов СССР, адсорбированных катионов глинистых пород Арктики позволяет с достаточной уверенностью говорить об общих необратимых изменениях состава осадочной оболочки Земли со временем. Применительно к основным катионам морских вод эти из-

⁸ Грамберг И. С. Палеогидрохимия терригенных толщ. Л., 1973.

менения сводятся к уменьшению с геологическим временем относительного содержания калия и магния и увеличению содержания кальция и натрия. Причины этих изменений многообразны, но в качестве главной выступает изменение химического состава размываемых пород.

КАК ВЫГЛЯДЕЛА БЫ НАША ПЛАНЕТА, ЛИШЕННАЯ ВОДЫ?

Огромные пространства, скрытые под водами морей и океанов, еще до недавнего времени были недоступными для геологического изучения. Но последние десятилетия принесли нам интереснейшую информацию. Оказалось, что земная кора под океанами существенно отличается по своему строению от земной коры континентов. Она значительно тоньше, в ней отсутствует гранито-гнейсовый слой, сложенный преимущественно породами осадочного и среднего состава, а комплекс осадочных пород под океанами во много раз по мощности уступает осадочному комплексу континентов. Основные и ультраосновные породы верхней мантии, залегающие на континенте на большой глубине, в океанах существенно приближены к поверхности. Поэтому вулканические породы в океане имеют почти исключительно основной и ультраосновной состав.

Необычным оказался и рельеф ложа океана. Наряду с огромными относительно выравненными пространствами глубоководных котловин, здесь обнаружены подводные хребты, возвышающиеся над ложем океана на 3—4 км и протягивающиеся на десятки тысяч километров. Это так называемые срединные океанические хребты. Примечательными особенностями этих уникальных геологических сооружений являются высокая тектоническая подвижность, широкое развитие вулканических процессов, повышенная сейсмичность. Существенно отличаются от континентов и обширные пространства между океаническими хребтами. Тут и многочисленные подводные горы вулканического происхождения (особенно их много в Тихом океане), и каньоны, и желоба, и глубоководные долины.

Теперь мысленно уберем покров океанических вод и представим себе нашу планету лишенной водной оболочки. На поверхности ее, так же как на Луне и на других планетах Солнечной системы, будут обособлены сухие моря и океаны, отличающиеся по своему составу и

строению от смежных континентов. Глазам наблюдателя откроется система горных хребтов, охватывающих почти всю Землю. Максимальный перепад высот на планете при этом составит около 20 км. Обратят на себя внимание обширные пространства дна Тихого океана, покрытые многочисленными конусами потухших вулканов, очевиднее станут масштабы вулканической деятельности, связанной с рифтовыми зонами срединно-океанических хребтов и так называемыми зонами Заварицкого—Беньофа. Так как большая часть осадков накапливается в водной среде, с исчезновением ее резко уменьшилась бы интенсивность процессов образования и накопления осадков. Основным агентом выветривания стала бы атмосфера. Состав последней также изменился бы. Уменьшилась бы роль кислорода, возросло содержание сернистых соединений и углекислого газа. До минимума оказалась бы сведена жизнь на Земле, если она вообще могла бы сохраниться.

В целом Земля стала бы значительно более похожей на своего спутника Луну, на Венеру и Марс. При этом следует иметь в виду, что так выглядела бы Земля, если бы с ее поверхности исчезли воды морей и океанов. А если бы их никогда не было на Земле? Думается, что сходство с другими планетами Солнечной системы, несмотря на разницу в эволюционном развитии, было бы еще большим.

★

Хотя океан и его окраинные моря с давних пор известны человеку, мы и сейчас еще знаем о них чрезвычайно мало. Естественно, что, живя на суше, человечество прежде всего было заинтересовано в изучении и освоении континентов. Лишь последние 30—40 лет началось активное наступление на океан. Для этого, конечно, были необходимы предпосылки. И они появились в виде новых технических средств, позволивших исследователям проникнуть на ранее недоступные глубины и в такие трудно осваиваемые области, как Северный Ледовитый океан и моря Антарктиды. Новые данные о строении океанического дна, о составе слагающих его пород, об особенностях современных геологических процессов, происходящих на океаническом дне, о составе океанических осадков позволили приоткрыть завесу, скрывающую геологическое прошлое Мирового океана. Но это лишь первые шаги. Совершенно очевидно, что мы стоим у истоков знаний о геологии океана.

Проблемы исследовательской лаборатории

Г. И. Абелев

Мы предлагаем читателям познакомиться с работой лаборатории иммунохимии и диагностики опухолей Всесоюзного онкологического научно-го центра АМН СССР, которая в прошлом году отметила свое двадцатилетие.

За двадцать лет своего существования лаборатория завоевала большой научный авторитет в области иммунологии рака. Среди главных ее достижений — открытие первого раково-эмбрионального белка — альфа-фетопротеина (АФП), показавшего сложность процессов канцерогенеза и онтогенеза. Эта работа положила начало иммунодиагностике рака. Изучение регуляции синтеза АФП в нормальном развитии и в опухолях — предмет многолетних исследований лаборатории. Здесь же были получены первые иммунологические доказательства существования эндогенных онковирусов у млекопитающих. Много внимания лаборатория уделяет разработке новых иммунологических методов исследования, главным образом высокочувствительных

микрометодов, позволяющих анализировать специфические белки, синтезированные одиночными клетками.

Работы по альфа-фетопротину были удостоены Государственной премии СССР (1978) и Первой премии по иммунологии рака Нью-Йоркского института по изучению рака (1975).

Вопросы, затронутые в публикуемой статье, несмотря на свою биологическую специфику, мы полагаем, имеют более общее значение: они могут представить интерес не только для биологов, но и для всех, чья жизнь связана с наукой, а также для тех, кто знает работу научных учреждений только с внешней стороны. По-видимому, обсуждение проблем, возникающих в научном коллективе, на примере данной лаборатории поможет нашим читателям сформулировать собственные принципы, которыми можно руководствоваться в исследовательской или научно-организационной деятельности.



Гарри Израилевич Абелев, профессор, доктор биологических наук, заведует лабораторией иммунохимии и диагностики опухолей Всесоюзного онкологического центра АМН СССР. Лауреат Государственной премии СССР (1978).

Двадцать лет для лаборатории — много. Может быть, даже чересчур много — лаборатория может себя пережить. Действительно, меньше и сил, и гибкости, и легкости на подъем. Консерватизм собственного опыта проявляется во всем и часто неосознанно — находишь решения и подходы как бы заново, а оказывается, что эти решения уже были тобою же найдены — и много лет назад. Самое опасное — упорное продолжение работы над пробле-

мами, утратившими уже научный смысл, — совершенствовать сульфамиды в эпоху антибиотиков или биться над получением моноспецифических сывороток, когда уже есть гибридомы.

Не менее опасно вновь и вновь повторять себя — подходы, которые привели к успеху, важные результаты, смысл которых уже ясен, — вообще стараться дважды вступать в один и тот же поток.

Этот опасный груз, конечно, накапли-

вается за время жизни лаборатории и стремится вывести ее из настоящей в мнимую деятельность.

Страх этих симптомов старения, естественно вызываемый их появлением, ведет к потере уверенности, утрате доверия к собственному интересу и интуиции, нервозности и метанию от одной моды к другой, а это уже настоящий конец.

Таковы опасности. И все же я глубоко уверен, что большие «устоявшиеся» лаборатории нужны в науке, а в нашей особенно. Они формируют критический минимум исследователей, имеющих общий язык, создают широкую и основательную методическую базу для разностороннего подхода к проблеме, мобильность и, главное, обеспечивают возможность сугубо поисковых, рискованных исследований. Для становления начинающих исследователей такие лаборатории дают возможность найти себя — свою область интереса, свой стиль работы. Лекарство же от старения — не уходить от трудных проблем, не имеющих готовых подходов к решению в прошлом опыте, идти за проблемой, всегда выходящей за пределы компетенции лаборатории и требующей нового опыта.

ОБЩИЙ ЯЗЫК ЛАБОРАТОРИИ

В основе общего языка группы лежит единая шкала ценностей. Лаборатория — это прежде всего своя шкала ценностей, свой язык, обеспечивающий взаимопонимание, внутреннее единство, сходный взгляд на мир. Без общего языка лаборатория — чисто формальное объединение.

В хорошем случае люди объединяются в группы или лаборатории, создавая общий язык. Наш случай был хорошим.

Ядро нашей лаборатории — З. А. Авенирова, Н. В. Энгельгардт, А. И. Гусев, В. С. Цветков, Н. И. Храмова и я — сложилось, когда не было даже и мысли о создании лаборатории. Нас объединяло стремление к прочности и ясности, что было тогда, в середине и конце 50-х годов, непростым делом. Проблема, по которой мы работали у Л. А. Зильбера, — специфические опухолевые антигены — была крупной, яркой, перспективной, но не имела тогда прямых подходов для биохимического анализа. Метод анафилаксии с десенсибилизацией, создавший основу для зильберовского подхода, не мог пойти дальше самых

общих утверждений об антигенном отличии опухолей от соответствующих нормальных тканей. Противоопухолевая вакцинация отдельными фракциями — метод сугубо качественный, не давший и до сегодняшнего дня ясности о природе иммуногенных антигенов опухолей. Анализ опухолевых фракций, реагирующих с сыворотками опухоленосителей, казалось бы, наиболее обоснованный подход к биохимии специфических антигенов, — но он получался лишь на немногих опухолях, в области пограничных значений и не имел ясной биологической основы. Основные работы делали по аналогии — сравнивали вирусные и «невирусные» опухоли, чтобы доказать вирусное их происхождение и вирусную природу их специфических антигенов. Твердой почвы под ногами не было, и желание обрести эту твердую почву, найти надежную позицию для систематического подхода к проблеме, желание получать надежные и воспроизводимые результаты было главным желанием и становилось определяющим в формировании нашей шкалы ценностей.

Главным критерием в оценке любой работы мы выбрали ясность и твердость. Преципитация в геле, которую мы нашли, наладили, прочувствовали и полюбили, стала нашей твердой почвой, общим методическим языком, исходной позицией во всех последующих исследованиях, критерием убедительности и надежности каждой работы.

Пока мы не видели полосу антигена, никакие кресты, цифры и контроли не могли нас убедить в его специфичности, а увидев полосу, мы уже знали все и про антиген, и про его создателя.

Масштабность, престижность, приоритетность и даже сенсационность — все это было исходно, мы начинали свою научную жизнь в этой атмосфере. Стоило сделать что-либо стоящее, иногда лишь предварительное, — и эти результаты сразу же становились достоянием самой широкой аудитории — в докладах и обзорах Л. А. Зильбера и в наших докладах, которые Лев Александрович выдвигал всегда на самые широкие всесоюзные и международные конференции. Мы, скорее, сторонились известности, она, пожалуй, угнетала нас, создавая несоразмерность нашего вклада его звучанию. Известность не входила в формирующуюся шкалу ценностей.

Мы рвались к ясности и твердости независимо от звучания и резонанса проблемы. Это было нелегко по существу

и часто вызывало конфликты с Львом Александровичем.

— Последнюю пуговицу нельзя пришить к работе — это было его обычным комментарием.

— То, что Вы делаете, — интересно от силы для сорока человек в мире, а то, что я предлагаю, — интересно всем.

— Вы сделали хорошую работу по эмбриональному антигену, с этим достаточно, надо искать специфический антиген в гепатоме и в опухолях человека — это несравненно важнее.

Мы временами говорили на разных языках. У Льва Александровича была своя шкала ценностей — масштаб, принципиальность, приоритетность проблемы лежали в ее основе. Возраст и предчувствие больших перемен в вирусологии рака, на пороге которых мы все тогда находились, горючили его.

Но нажим лишь усиливал наше стремление не отрываться от найденной уже твердой почвы и не оставлять проблем, возникающих при анализе «на уровне индивидуальных антигенов». Именно на этом и сложилась лаборатория с ее системой ценностей, имеющей свои сильные и слабые стороны.

ВНУТРЕННИЕ КРИТЕРИИ ПРОТИВ ПРОВИНЦИАЛИЗМА

Провинциализм — понятие психологическое, можно быть провинциальным в научных центрах и вполне столичным вдали от них. Провинциализм — большое зло, изнутри разъедающее чаще всего те области науки, которые находятся как бы на периферии, ближе к прикладным сферам. Замкнутость группы, отсутствие «протока» сотрудников, нечастые контакты с параллельно работающими исследователями и недостаточность критики — все это способствует возникновению провинциализма. Отрыв от центров научной жизни, изоляция и отсутствие прямых рабочих контактов с ними, естественно, ведут к представлению, что настоящее дело, настоящая наука делается там — в этих центрах, которые формируют проблемы, подходы, уровень и критерии исследования. Научная провинция живет вторичной, отраженной, заимствованной жизнью, ее шкала ценностей во вне, она постоянно примеряется «на столицу», крайне подвержена моде и поэтому посто-

янно шарахается из одной крайности в другую.

Новые идеи или методы, приходящие извне, воспринимаются научной «провинцией» с экзальтацией, гипертрофируются и абсолютизируются, становятся определяющими в восприятии и оценке собственных и чужих работ. «Провинция» не верит себе, своему интересу и потому не имеет стабильных, преемственных научных направлений, не имеет собственной основы. Провинция мерит себя столичным аршином, причем таким, каким она себе его представляет.

Другая крайность научного провинциализма — развитие сугубо локальных, часто искусственно созданных и искусственно поддерживаемых направлений, не имеющих серьезного научного значения. Обе крайности — следствие одного и того же — ложных критериев.

Истинные критерии определяются существом дела, ложные же — вырастают из желания быть научным, оригинальным или современным.

Мне кажется, что наша лаборатория не страдала этими формами провинциализма, стремилась решать возникающие по ходу дела задачи, доводить их до ясности и твердости, ориентируясь при этом на собственные внутренние критерии — на свою шкалу ценностей. Наш «аршин» был в нас, в собственных выработанных и прочувствованных критериях, относящихся и к направлению, и к уровню работы. Это позволяло спокойно делать свое дело и доверять своему интересу. Признание и мнение специалистов всегда было для нас очень серьезным, но не определяющим фактором. При этом самым главным в оценке работы для меня было то, насколько она приближается к пониманию изучаемого вопроса, а не ее сравнение с другими работами в этой области. Не знаю почему, но я всегда избегал разговоров о том, кто оригинальный, кто творческий, кто только хороший исполнитель, сравнивать людей, особенно внутри лаборатории, и резко пресекал такие обсуждения. По этой шкале мы никогда не обсуждали и не оценивали наших работ.

Главное — полностью выкладывать в решении проблемы и поменьше думать при этом о том, кто как выглядит.

Опасность же отрыва в том, что новые и принципиальные решения и подходы могут просто пройти мимо, не задеть, не повлиять на работу, хотя именно они и нужны были для решения проблемы. С нами, я думаю, это иногда случалось.

СТИЛЬ — МЕТОДЫ И СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ПОДХОДЫ

Проблемы, на которых складывалась наша группа, не имели ни решений по аналогии, ни общих подходов, нуждающихся лишь в реализации для конкретного случая.

Нужен был собственный, адекватный проблеме методический аппарат, своя система анализа. Задача же первоначально сводилась к выявлению и идентификации единичных антигенов, специфичных для данной ткани и особенно для опухоли, на фоне огромного избытка общих антигенов. Нашей конкретной задачей, которую мы сами себе поставили, было создание системы анализа на «уровне индивидуальных антигенов». На этом в 1956—1962 гг. и формировалась будущая лаборатория с ее проблематикой, языком и стилем. К 1961—1962 гг. мы уже имели такую систему анализа на основе иммунодиффузии, позволяющую идентифицировать специфический антиген в системе, получить к нему моноспецифические антитела, выделить сам антиген и локализовать его на срезах. Эта система привела нас к обнаружению альфа-фетопротейна в опухолях печени, органоспецифических антигенов в опухолях и индивидуальности антигенного спектра опухолей.

Я думаю, что большая часть нашей текущей работы, может быть 2/3 ее, были посвящены методам. Помимо существа дела, требующего собственных методических подходов, меня никогда не привлекали проблемы, хотя еще и не решенные, но имеющие готовые методические подходы для своего решения. Их решение уже заложено в готовых методах, и они сегодня не сделаны просто потому, что у кого-то не дошли до них руки, но они уже на конвейере. Меня всегда больше интересовала разработка подхода, гарантирующего решение, чем сам результат, и проблема казалась тем более интересной, чем менее реальной она была в методическом отношении.

На протяжении всех лет, еще до создания лаборатории, центральное место в нашей работе занимали методы: сепараторы, преципитация в геле, иммунофльтрация¹, иммунофлуоресценция, иммуноавтордиография, изотахофорез на

пленках, иммуно-электронная микроскопия, «обратный» локальный гемолиз с прослеживанием судьбы клетки.

Успех в решении наших задач и постановка новых проблем, как правило, возникали не из общих соображений, а из специфических подходов, подсказываемых самой системой и неудачей задуманных экспериментов.

Обычно это был путь: анализ проблемы → план эксперимента → неудача → анализ неудачи или «шероховатости» результата → причина неудачи → решение задачи. Заранее намеченный план эксперимента — это, скорее, повод для начала работы, а настоящая работа начинается с неудачи, — когда сталкивается логика экспериментатора с внутренней логикой изучаемого явления. Эти две «логики» никогда не совпадают, и неудача, плохое укладывание результата в ожидаемую схему или альтернативу — это сигналы самого феномена, которые надо увидеть и услышать. Обычно эти неудачи, «шероховатости», мелкие неувязки с ожидаемым результатом, а также специфические, нейтральные по отношению к поставленному вопросу особенности системы или результата приводят либо к пониманию проблемы, либо к ее новому повороту.

Анализ артефактов при электрофорезе в агаре позволил нам понять роль электроосмоса в геле, освободиться от этих артефактов, овладеть этим методом и сделать ряд вариантов, основанных на использовании электроосмоса (иммунофльтрация «быстрых» и «медленных» антигенов, иммунофльтрация с возвращением реагентов в исходные позиции, электроэлюция белков из геля).

Анализ неустойчивых результатов при изотахофорезе в мембранах и наблюдение за всасыванием капель жидкости в пленку при движении границы ионов привели к пониманию непрерывности пласта жидкости в пленке, особенностей электроосмоса в ней, что позволило проводить чрезвычайно точный изотахофорез в мембранах².

Обнаружив АФП не только в опухолевом узле, но и в окружающей ткани на аутопсийном материале, вопреки обоснованным ожиданиям, мы пришли к введению гамма-глобулинового контроля на пассивный «захват» белков из крови. Только этот внутренний контроль обеспе-

¹ Иммунофльтрация — разработанный нами совместно с В. С. Цветковым метод очистки антигенов, основанный на их иммунологической специфичности.

² Абелев Г. И., Каримова Э. Р. — Ж. Всес. хим. об-ва, 1982, № 4, с. 69.

чил надежность иммунофлуоресцентного определения АФП в опухолях и, отчасти, в нормальных тканях.

«Шероховатости» в истощении антител к антигену лейкозных вирусов нормальными тканями низколейкозных мышей, при которых эти антитела почему-то «неспецифически» ослаблились, помогли обнаружить антиген лейкозных вирусов у всех мышей и на всех стадиях их развития. Это было первым доказательством существования эндогенных вирусов С-типа у мышей.

Мы могли бы спокойно пройти мимо «шероховатости» результатов истощения, подобрав оптимальную дозу нормальных антигенов или объяснив эти результаты вирусным «загрязнением» наших мышей. Но, проверив это самое естественное объяснение, мы убедились, что это не так и вышли на новую, крупную проблему.

Присутствие альфа-фетопротейна в крови контрольных мышей, сидевших в одной клетке с мышами, получившими CCl_4 , поначалу казалось простым недоразумением. Анализ же этого недоразумения показал, что CCl_4 , выдыхаемый подопытными мышами, индуцирует некроз печени и альфа-фетопротейн у мышей, сидящих в одной клетке с подопытными. Так был разработан прекрасный метод индукции альфа-фетопротейна ингаляцией CCl_4 .

Специфическая локализация клеток, продуцирующих альфа-фетопротейн в перинекротической зоне поврежденной печени, дала подход к анализу роли структуры печени в регуляции синтеза этого белка.

Ни один из этих подходов нельзя было придумать или предусмотреть заранее. Это специфические подходы, подсказанные системой или неувязками в ходе опытов. Чтобы увидеть их, надо работать самому, додумывать до конца непонятные и часто мелкие вещи и иметь открытыми глаза и уши для постоянного общения с системой, всегда обращающейся к экспериментатору. Так называемые тайны природы обусловлены селективным восприятием экспериментатора, видящим явления сквозь фильтр представлений, в которых он работает.

События же живут по своей логике, не скрывают ее, всегда пользуются случаем предложить путь для расшифровки своего языка, и хороший эксперимент должен быть непрерывным диалогом исследователя и системы.

Итак, разработка адекватных методов и поиск специфических подходов —

основные особенности стиля лаборатории³. Они же несут в себе и определенную ограниченность. Такой стиль может быть плодотворным только при достаточно широком и основательном общем фундаменте, иначе он может выродиться в крохоборство.

РИСК ПОД ПРИКРЫТИЕМ

Из сказанного ясно, что собственно исследование (в отличие от простой дедукции из известных принципов) начинается с противоречия, с тупика, с неудачи. На этом месте кончаются подходы, продиктованные общими соображениями, и начинаются поиски специфических подходов. Дело это напряженное, требующее сверхсосредоточенности, крайне малопродуктивное, не гарантирующее определенного результата, а потому рискованное. Заниматься им в условиях «пресса продуктивности», требующего постоянной отдачи, практически невозможно. А обходить такие ситуации — значит уходить от подлинных проблем и решений, отказываться от настоящего поиска.

Лаборатория, особенно большая, может позволить себе роскошь рискованных, непродуктивных исследований, и в этом, на мой взгляд, ее главная роль. В лаборатории всегда идут работы, находящиеся в «продуктивной» стадии, они создают надежное прикрытие для рискованных и сугубо поисковых решений.

Это, в свою очередь, дает возможность лаборатории постоянно вводить новые, крупные и трудные проблемы, без чего она неминуемо измельчает. Особенно важен «риск под прикрытием» для начинающих исследователей.

Поработав какое-то время в русле идущей, продуктивной темы и убедившись, что «параллельные у него сходятся», что он может получать результаты, и приобретя уверенность, молодой сотрудник попадает, наконец, на свою неудачу, заходит в свой тупик, переживает свой кризис. И здесь кончается его обучение и начинается формирование своего подхода, своего стиля, своей настойчивости и хладнокровия. Период кризиса труден сам по себе, а в условиях пресса продуктивности или при необходимости «показать

³Abelev G. I., Engelgardt N. V., Elgorf D. A. Immunohistochemical and immunohistochemical methods in the study of tumor-associated embryonic antigens.— Meth. Cancer Res., 1979, v. XVIII, p. 1.

себя» он просто невозможен. В ситуации кризиса, которую должен пройти каждый молодой исследователь, лаборатория дает ему право на неудачу, на риск, на непродуктивный период при заинтересованности в результатах его работы и в нем самом.

Устоявшиеся лаборатории — подходящая почва для созревания индивидуальных исследователей.

Кроме того, в них возможна дифференциация по индивидуальным особенностям, когда каждый может проявлять свои наиболее сильные стороны и не быть универсалом.

В нашей лаборатории работа «под прикрытием» шла с самого начала. Еще когда не было лаборатории, а была группа из трех человек, Н. В. Энгельгардт отделилась от основной работы для налаживания иммунофлуоресценции, на что потребовалось около трех лет «непродуктивной» работы. Этот «отход» позволил выйти всей работе на новый необходимый уровень исследования и создал первоклассного иммуноморфолога.

В период 1962—1969 гг. «прикрытие» обеспечивалось продуктивной работой по альфа-фетопротеину¹ и органоспецифическим антигенам печени, по иммунодиагностике гепатом. Одновременно шли «непродуктивные» поиски высокочувствительных иммунодиффузионных методов, иммунофлуоресценции альфа-фетопротеина, препаративного выделения этого белка, разворачивалась работа по мембранным антигенам лейкозов и клеток печени.

В 1969—1973 гг. лаборатория занималась производством иммунодиагностикума на альфа-фетопротеин и высокочувствительной иммунодиагностикой рака печени, эндогенными вирусами. Под этим «прикрытием» разворачивалось изучение клеточных основ синтеза альфа-фетопротеина в печени, которое стало «щитом» в 1973—1979 гг. одновременно с исследованием экспрессии вирусных антигенов на мембране.

В этот период разрабатывался иммуноизотопофорез в геле и на мембранах, который сформировался в стройный метод к 1979 г. и стал давать диагностические результаты в 1981—1982 гг. Параллельно шли работы по раково-эмбриональному антигену кишечника, по культурам печени и гепатом, по локальному гемолизу в геле

для прослеживания стволовых клеток гепатомы.

Эту, последнюю тему, особенно для нас важную, мы многократно атаковали более семи лет с самых разных сторон, а начала она давать четкие результаты лишь в 1982 г., обеспечив серьезный прорыв в анализе регуляции альфа-фетопротеина и, возможно, разворот основной линии исследований по этой проблеме.

Около двух лет ушло на безуспешные попытки определить альфа-фетопротеин на ультратонких срезах, приведшие к очень четким и принципиальным результатам на третьем году работы.

Конечно, в условиях небольшой группы, находящейся под непрерывным «прессом продуктивности», большинством из этих перспективных работ, обеспечивающих и вводящих совершенно новые для нас проблемы и подходы, пришлось бы прекратить. Я сам постоянно пользуюсь прикрытием, главным образом, для разработки новых методов.

Таким образом, рискованная работа над неудачами — привилегия стабильной лаборатории, ее основа, ее сильная сторона и лучшее средство от ее старения.

ЭКСПЕРИМЕНТ, КЛИНИКА, ПРОИЗВОДСТВО

Случилось так, что наши чисто экспериментальные исследования привели к иммунодиагностике рака, что свело нас с клиницистами и с производством. Нам повезло в этих контактах. Клиницисты — профессор Н. И. Переводчикова и академик АМН СССР Н. А. Краевский, — клиницисты самого высокого класса, и с ними мы никогда не чувствовали разногласий. Но, по мере расширения клинических контактов, все больше проявлялось различий в целях, интересах, подходах. Эти различия вырастают в сложную проблему при работе экспериментаторов в клиническом институте. Казалось бы, что и те, и другие — онкологи, и имеют одну цель и говорят на одном языке. Но это не так. Экспериментаторы и клиницисты имеют различные цели, определяющие различную шкалу ценностей и, как следствие, разный язык.

Принципы, лежащие в основе злокачественного роста, еще не поняты. Цель экспериментаторов — раскрыть природу опухолевого роста. Наибольшую цену для них имеют факты, вскрывающие молекулярные, генетические и клеточные основы опухолевой трансформации и механизмы взаимодействия опухоли и организ-

¹ Abelev G. I. Alpha-fetoprotein in ontogenesis and its association with malignant tumors. — Adv. Cancer Res., 1971, v. 14, p. 357.

ма. Особенно ценны исследования, выявляющие общие черты в возникновении вирусных, канцерогенных и спонтанных опухолей,— работы, связывающие различные группы явлений. Индивидуальные отклонения в развитии опухолей игнорируются. Оригинальные наблюдения ценятся намного выше подтверждающих и уточняющих.

Для теоретика-онколога эксперимент имеет целью анализ явления. Чем проще его система, чем меньше в ней переменных — тем больше ее разрешающая способность, тем определеннее, однозначнее ответ эксперимента. В идеале — это уравнение с одним неизвестным, например термочувствительный мутант онкогенного вируса по способности вызывать опухолевую трансформацию или вариант клеточной линии, отличающийся от исходной только одним признаком, например способностью метастазировать. Аналитический эксперимент стремится к предельному упрощению системы — трансформация в культуре ткани, изоляция гена трансформации, определение элементарных эффектов этого гена. Системы экспериментаторов всегда искусственны, они предельно удалены от клинической ситуации и отнюдь не моделируют ее. Лишь такой отход от реальной клинической действительности может привести к пониманию природы злокачественности и может дать истинное, полное знание, которое ляжет в основу рационального лечения опухолей. Добыть это знание, сделать его достаточно глубоким и полным — а лишь в своей полноте оно пригодно для практического использования — цель экспериментатора. И эта цель определяет критерии для оценки его работы.

Цель клинициста — иная. Он изучает и лечит больного, и его ценности распределяются по шкале — лечение, диагностика, профилактика. Факты и обобщения теоретической онкологии он отбирает и оценивает со своих позиций. В выводах эксперимента клинициста интересует их надежность, и, в меньшей степени, насколько эти данные оригинальны. Скорее, наоборот.

Большую ценность для клинициста имеет знание и понимание индивидуальных особенностей течения болезни у конкретного пациента.

Интересы экспериментатора и клинициста в повседневной жизни и их язык совпадают редко, главным образом в области диагностики некоторых форм опухо-

лей. В большинстве же случаев конкретные интересы существенно различны.

Крупнейшие достижения теоретической биологии, генетики, клеточной биологии и экспериментальной онкологии, имеющие высший балл по шкале ценностей экспериментатора, клинику еще не затронули.

Расшифровка генетического кода, механизма синтеза белков, выделение, клонирование и определение структуры генов, открытие онкогенных вирусов, открытие эндогенных вирусов, открытие обратной транскрипции и интеграции онкогенных вирусов с клеточным геномом, открытие вирусных и клеточных онкогенов, злокачественная трансформация в культуре ткани — крупнейшие достижения теоретической биологии и онкологии — пока ничего не дали ни для лечения, ни для диагностики, ни для профилактики опухолей человека. Лишь в немногих частных случаях они помогли предположительно установить этиологию некоторых редких форм опухолей — лимфомы Бэркита и карциномы носоглотки, в возникновении которых принимает участие герпесоподобный вирус.

Огромная по масштабу и финансированию, тщательно спланированная международная программа Национального ракового института США, целью которой была найти онкогенные вирусы человека и разработать иммунотерапию опухолей, не дала значимых клинических результатов. Эта программа основывалась на предположениях теоретической онкологии. Очевидно, что полнота знания в онкологии еще недостаточна для их эффективного практического использования.

Вместе с тем гораздо более скромные теоретические достижения создали и продолжают создавать новые направления в клинической онкологии — химиотерапию, иммунодиагностику и иммунотерапию.

Очевидно, что одни и те же факты и теоретические положения имеют, по крайней мере, в настоящее время совершенно различное значение для онкологатеоретика и клинициста. Отсюда возникает опасная и разрушительная тенденция — оценивать конкретные экспериментальные работы по их значению для клиники, что совершенно неправильно и может нанести большой вред онкологии.

Сходные отношения иногда возникают в институтах, имеющих научные и производственные отделения, когда научные исследования начинают оценивать-

ся по их непосредственной производственной пользе.

Однако клиника не может и не должна ждать окончательного решения теоретических проблем. Она ведет постоянный поиск в решении собственных вопросов и стремится использовать имеющиеся знания для своих целей.

Так возникает **клинический эксперимент**, существенно отличающийся от **аналитического эксперимента**, рассмотренного выше. Клинический эксперимент стремится максимально приблизиться к клинической ситуации — это прежде всего **моделирующий эксперимент**, призванный разрешать конкретные клинические вопросы, которые нельзя изучать на больных. К ним относятся исследования по гистогенезу опухолей, по определению канцерогенности различных веществ, по отработке схем лечения, по иммунологическим маркерам опухолей и т. д. Моделирующий эксперимент сближает позиции экспериментаторов и клиницистов и оценивается по двойной шкале — теоретической и практической.

Наконец, третий вид эксперимента — **прямой клинический эксперимент**, выясняющий терапевтические, диагностические или этиологические вопросы непосредственно в клинике. Примером здесь могут служить такие эксперименты, как выбор оптимальной схемы лечения, проверка эффективности иммунотерапии вакциной БЦЖ или интерфероном, опыты по иммунолокализации метастазов «радиоактивными» антителами, серологическая или урологическая диагностика опухолей. Этот тип эксперимента полностью подчинен клиническим целям и оценивается по клинической шкале.

Противоречия в подходах теоретиков и клиницистов реальны, их не надо «замазывать» — наоборот, надо видеть их причину. Единственный выход при работе в областях, смежных между теоретической и практической биологией, — не создавать компромиссный «общий язык», а знать оба языка, ясно представлять себе обе системы ценностей. Бельгиец должен знать два языка, швейцарец — три, а не стремиться к доминированию своего языка в разноязычной стране или к созданию эклектического эсперанто.

Если эксперимент привел в область, где можно использовать результат в клинике, то экспериментатор должен переходить на «клинический язык», работая вместе с клиницистом над реализацией его целей.

То же и для клинициста. Если он сталкивается с явлением, проливающим свет на природу злокачественного процесса, то он должен работать как онколог-теоретик. Блестящими примерами таких исследований может служить теория прогрессии клинициста Фулдса, раскрытие природы плазмодитом, цитогенетика лейкозов человека.

Онколог-экспериментатор обязан свободно владеть обоими языками, знать клиническую проблематику, чтобы видеть специфические выходы в клинику и, когда они возникают, самому их реализовывать в контакте с клиницистами.

В нашей сугубо экспериментальной лаборатории неоднократно получались результаты, нашедшие выход в клинику: это альфа-фетопроtein, антиген эритробластов, моноклональные легкие цепи при лимфомах, раково-эмбриональный антиген, иммунохимические методы. Они же выходят и в производство. И если дело доходит до серьезного практического использования, то значит оно серьезно и с запасом сделано в эксперименте. За много лет работы мы постоянно осваиваем два языка, и это дает глубокое удовлетворение.

О ПОИСКАХ И РАЗРАБОТКАХ

В последние годы все чаще приходится слышать, что характер исследовательской работы коренным образом изменился, что современная наука (в частности, биология) уже не делается индивидуальными исследователями, что успех определяется большими коллективами, целевыми программами, разумной организацией, штатами и средствами, что резко возрос дух конкуренции, заставляющий «работать локтями», спешить с результатами и публикациями. Я уверен, что эти, казалось бы, бесспорные утверждения ошибочны. У меня такое чувство, что характер нашей работы не изменился совсем, что и как 20 лет назад поиск требует риска, полной отдачи, сосредоточенности и везения, а результаты его всегда непредсказуемы. Ошибка, как мне представляется, в том, что смешивают поиск и разработку. Они, действительно, неразделимы в реальном исследовании, но их ценность для науки существенно различна.

Пути поиска уникальны, они полностью основаны на интуиции и индивидуальности исследователя, они требуют от него нестандартного подхода, стой-

кости, мужества, подлинного интереса, сильного воображения. В поиске громадную роль играет случай, везение. Ученый, ведущий поиск, незаменим, как незаменим художник или композитор.

Результаты поиска формируют задачу для разработок. Когда ясен принцип явления, четко сформулирована задача исследования и намечены, хотя бы в принципе, пути решения задачи, успех, безусловно, определяется разумной программой, правильным руководством, четкой организацией и обеспечением исследования. От исследователя здесь требуются иные качества — четкость, высокий профессиональный уровень, настойчивость и организованность. Разработки сходных проблем ведутся, в отличие от поиска, сходными путями. Это и создает дух конкуренции, весьма свойственный современной науке. На этом же основано распространенное мнение о решающем значении научного руководства, организации, концентрации сил и технического оснаще-

ния для эффективности науки. Для фундаментальной науки, не только разрабатывающей, но и ставящей новые проблемы, для науки, острой которой в поиске, эти принципы и недостаточны, и неадекватны.

Характер нашего дела не меняется. О нем точно сказал поэт:

Наше дело очень простое,
Не терять сверху равновесья,
Верить в звездное поднебесье,
А про землю помнить не стоит.⁵

⁵ Антокольский П. Канатоходцы, 1975

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Зильбер Л. А., Абелев Г. И. ВИРУСОЛОГИЯ И ИММУНОЛОГИЯ РАКА. М.: Медгиз, 1962.

Абелев Г. И. ЭМБРИОНАЛЬНЫЕ АНТИГЕНЫ В ОПУХОЛЯХ. Анализ в системе альфа-фетопротеина.— В кн.: Опухолевый рост как проблема биологии развития. М.: Наука, 1979.

К СВЕДЕНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ

До конца 1983 года редакция журнала «Природа» предполагает опубликовать следующие статьи:

ФИЗИКА И АСТРОНОМИЯ

- Я. Б. Зельдович. Современная космология.
Б. Б. Кадомцев, А. И. Рязанов. Что такое синергетика.
Д. С. Цакадзе. Сверхтекучесть в природе.

БИОЛОГИЯ

- А. Е. Гайсинович. 100 лет фагоцитарной теории И. И. Мечникова.
А. А. Малиновский. Системная логика дарвинизма.
М. С. Павлов и др. Рыбы в «Красной книге СССР».
А. С. Шевелев. Парадоксы иммунитета.

НАУКИ О ЗЕМЛЕ

- В. Я. Барлас, Е. Я. Ранцман. Где произойдет землетрясение?
В. В. Крючков. Стратегия охраны природы Севера.
А. А. Никонов. Землетрясения в легендах и сказаниях.

ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

- Ю. В. Бромлей, П. И. Пучков. Этнические общности.
Т. И. Ойзерман. Философские предпосылки естествознания Нового времени.
Б. В. Раушенбах. «Закон сохранения ошибок» в изобразительном искусстве.

Предыстория геосинклиналей (на примере Урала)

С. Н. Иванов



Святослав Несторович Иванов, член-корреспондент АН СССР, заведующий лабораторией теоретической геологии Института геологии и геохимии им. А. Н. Заварицкого Уральского научного центра АН СССР. Основные труды относятся к происхождению и металлогении геосинклиналей. Последнее десятилетие занимается предгеосинклинальной историей развития земной коры. Лауреат Государственной премии СССР.

Долгое время образование горноскладчатых областей Земли, столь богатых полезными ископаемыми, объясняли с помощью геосинклинальной теории. По классическим представлениям геосинклинальный цикл состоит из нескольких стадий. Сначала прогибается земная кора и образуется морской бассейн, на дне которого изливается базальтовая лава (эта стадия и есть собственно геосинклинальная). Затем дно бассейна поднимается, формируются цепочки островов (островные дуги), на дне накапливаются осадки, морской бассейн замыкается. Наконец, на месте геосинклинали возникает складчатое горное сооружение, пронизанное интрузиями гранитоидов, вызывающими метаморфизм горных пород и упрочение земной коры.

Однако в наше время, когда выяснилось кардинальное отличие земной коры океанов от коры материков, стали очевидными горизонтальные перемещения и разрывы материковых плит, представления о геосинклинальном цикле существенно изменяются. Недавно получены убедительные данные о ведущей роли в этом процессе восходящих движений подкорового, мантийного вещества Земли с огромных глубин (многие сотни километров). Именно с позиций, основанных на этих новых данных, можно понять многие необъяснимые в классической геосинклинальной теории

особенности тектоники, вулканизма, накопления осадков в отложениях горноскладчатых областей протерозойского времени (1650—570 млн лет назад), на которые обращали внимание специалисты.

Так, в статье, сравнительно недавно опубликованной в журнале «Природа», Б. М. Келлер отметил очень малые скорости накопления осадков в рифее (большая часть протерозоя) по сравнению с фанерозоем (периодом, начавшимся 570 млн лет назад и продолжающимся и сейчас)¹. Сильно разнится и длительность геосинклинальных тектонических циклов: рифейский цикл длился 800—1000 млн лет, а циклы позднего времени — 200 млн.

Раздумывая над этими парадоксами, Б. М. Келлер осторожно ставит под вопрос даже достоверность радиоактивных часов Земли, основанных на постоянной скорости радиоактивного распада химических элементов. Однако независимость скорости изотопных превращений элементов от внешних условий (температуры и давления) и ее постоянство — фундаментальное представление современной физики, базирующееся на огромном фак-

¹ Келлер Б. М. Загадки верхнего докембрия. — Природа, 1979, № 1, с. 66.



Рифейские кварциты гр. Урал-Тау на Южном Урале — типичные пологолежащие отложения платформенного чехла.

тическом материале. Следовательно, нужно искать иное решение загадок рифея. Оно возникло при изучении классического разреза образований рифея на западном склоне Южного Урала, туда мы и направим свои поиски. Этот разрез отличается полным набором разновозрастных отложений, причем отложившиеся некогда пласты хорошо сохранились. Поэтому разрез считают эталонным и называют его всесоюзным стратотипом рифейских осадков. Изучение этих отложений имеет большое научное значение.

Рифейские образования Южного Урала, как и ряда других районов (например, южного обрамления древней Сибирской платформы), заключают еще одну необъясненную особенность, на которую также впервые обратил внимание Б. М. Келлер. Эти отложения состоят в основном из тонкообломочных терригенных (от лат. terra — земля, т. е. снесенных с земли, с суши) и отчасти глинистых пород, а также карбонатных осадков — главным образом до-

ломитов. Поскольку они несут признаки мелководья, их традиционно считают образованными в прибрежных условиях, свойственных геосинклинальным морям. Среди этих рифейских геосинклинальных отложений по всему разрезу встречаются мощные толщи песчаников и кварцитов, являющихся характерными наземными и прибрежно-береговыми отложениями континентальных платформ, а не геосинклинальных морей.

Б. М. Келлер уже давно обратил внимание на это парадоксальное накопление платформенных отложений среди геосинклинальных осадков. Он был принужден сделать предположение об их генетической чужеродности, об их вторжении в область геосинклинальных бассейнов издалека, с Восточно-Европейской платформы, при ее общем подъеме, непосредственно не связанном с геосинклинальным накоплением осадков².

Таким образом, при оценке палеогеографической и более общей тектонической обстановки формирования рифейских осадков песчаники и кварциты пере-

² Келлер Б. М. — Известия АН СССР, сер. геол., 1970, № 7, с. 99.

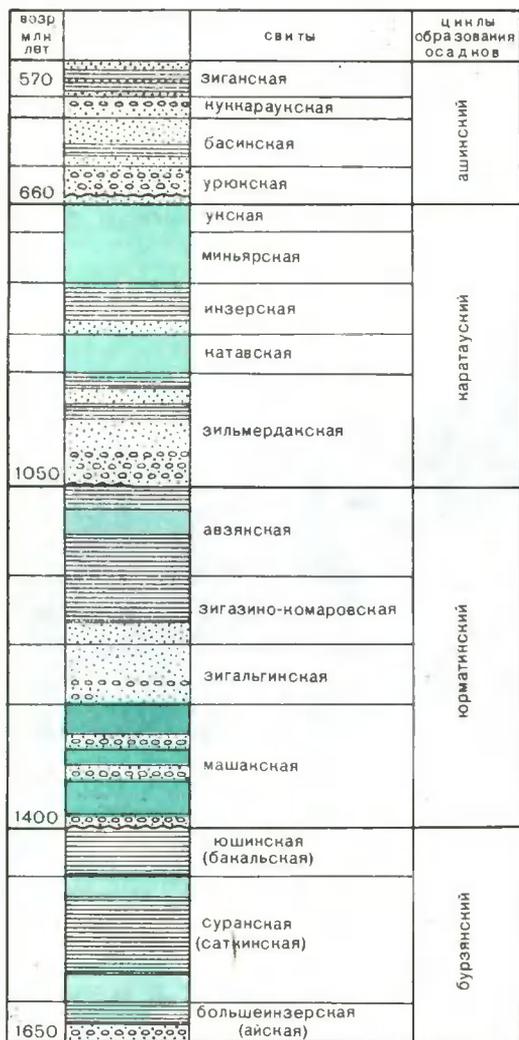
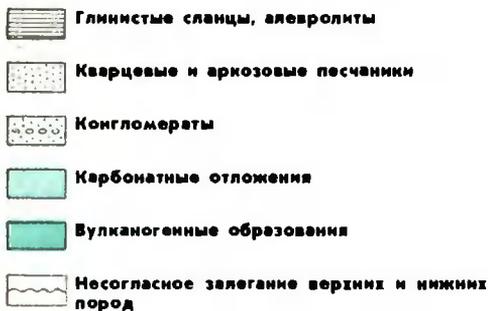


Схема стратиграфического строения отложений верхнего протерозоя (рифей и венда) Башкирского антиклинория, общая мощность которых составляет около 10 км. Видны три четких ритма отложений в рифей — бурзянский, юрматинский, каратауский.



стали считать показателями условий образования вмещающих их толщ, признавая их посторонними пришельцами.

Однако многие новые данные, полученные за последние годы, заставляют отказать от этого, казалось бы, единственно возможного решения. Во-первых, было подтверждено, что пласты кварцитов и песчаников располагаются в разрезе уральского рифея строго закономерно, в подоснове трех ритмов накопления осадков. Сверху они неизменно сменяются все более и более тонкозернистыми отложениями вплоть до глин, затем толщами карбонатных пород. Во-вторых, в основании среднего ритма в составе так называемой машакской свиты и частично в других кварцито-песчаниковых свитах детальными исследованиями, проведенными геологом А. Ф. Ротарем, обнаружено много прослоев крупнообломочных пород — грубых песчаников и конгломератов. Тщательные исследования тонких особенностей кварцевых зерен из этих пород, выполненные в лаборатории нашего института Л. В. Анфимовым, показали, что коренные источники сноса рассматриваемых обломочных перемещенных пород были расположены очень близко от мест их осаждения. Об этом также говорит обилие в песчаниках отдельных участков полевого шпата, неизменно разрушающегося при длительной транспортировке. Удалось также установить, что направление, со стороны которого поступал обломочный материал, неоднократно менялось. Таким образом, предположение о чужеродности песчаников не подтвердилось; следовательно, их присутствие среди мощных толщ терригенно-карбонатных пород составляет третью загадку докембрия Урала наряду с малыми скоростями накопления осадков и длительностью геосинклинального цикла.

Решение всех трех загадок упорно не дается в рамках существующих фундаментальных представлений о природе геосинклиналей. История науки полна такими примерами, когда существующая гипотеза или даже теория, хорошо объясняя большое число явлений, не могла объяснить какое-то одно из них, кажущееся, на первый взгляд, частным, малозначительным. Но по мере изучения этого явления с целью уместить его в рамки существующей теории, его противоречивость и значение все возрастали и приводили к кризису и затем созданию новой более совершенной фундаментальной основы.

В нашем случае потребовалось пересмотреть всю совокупность существую-

щих представлений о зарождении и развитии геосинклиналей, привлечь новейшие данные из арсенала мобилизма. Поэтому, чтобы уяснить предлагаемое нами решение всех трех загадок, нужно сначала обратиться к последним достижениям в понимании формирования Урала, а следовательно и аналогичных складчатых поясов Земли.

История образования Урала и весь основной фактический материал, на котором она создана, недавно были пересмотрены с мобилистских позиций, т. е. с позиций, допускающих крупные (на сотни и более километров) горизонтальные передвижения очень больших блоков (плит) земной коры. При этом древние тектонические обстановки и их смена восстанавливались по составу образовавшихся тогда горных пород путем сравнения последних с лучше изученными более молодыми и современными осадками и продуктами вулканических извержений. Такой подход к изучению складчатых сооружений разработан А. В. Пейве и его последователями и впервые применен к Уралу. Была составлена первая в мире тектоническая карта на формационной основе, открывшая перспективные пути дальнейшего изучения Урала и создавшая новые основы для понимания его металлогении³. В результате было выявлено, что образованию Урала предшествовал разрыв континентальной плиты с последующим, в ордовике (около 500 млн лет назад), горизонтальным раздвижением ее частей и созданием океанического бассейна с земной корой, отличной от континентальной. В дальнейшем этот океанический бассейн вновь замкнулся. Столкнувшиеся его берега образовали Уральские горы, а океаническая кора ушла под континенты и, видимо, частично была надвинута на их края.

В действительности ход событий был более сложным, но сейчас не он интересует нас, а лишь события, предшествующие разрыву и раздвижению континентальной плиты (или, выражаясь языком старых представлений, события, предшествующие образованию геосинклинального моря).

Уже при исследовательской работе по составлению тектонической карты Урала было установлено, что наиболее ранние



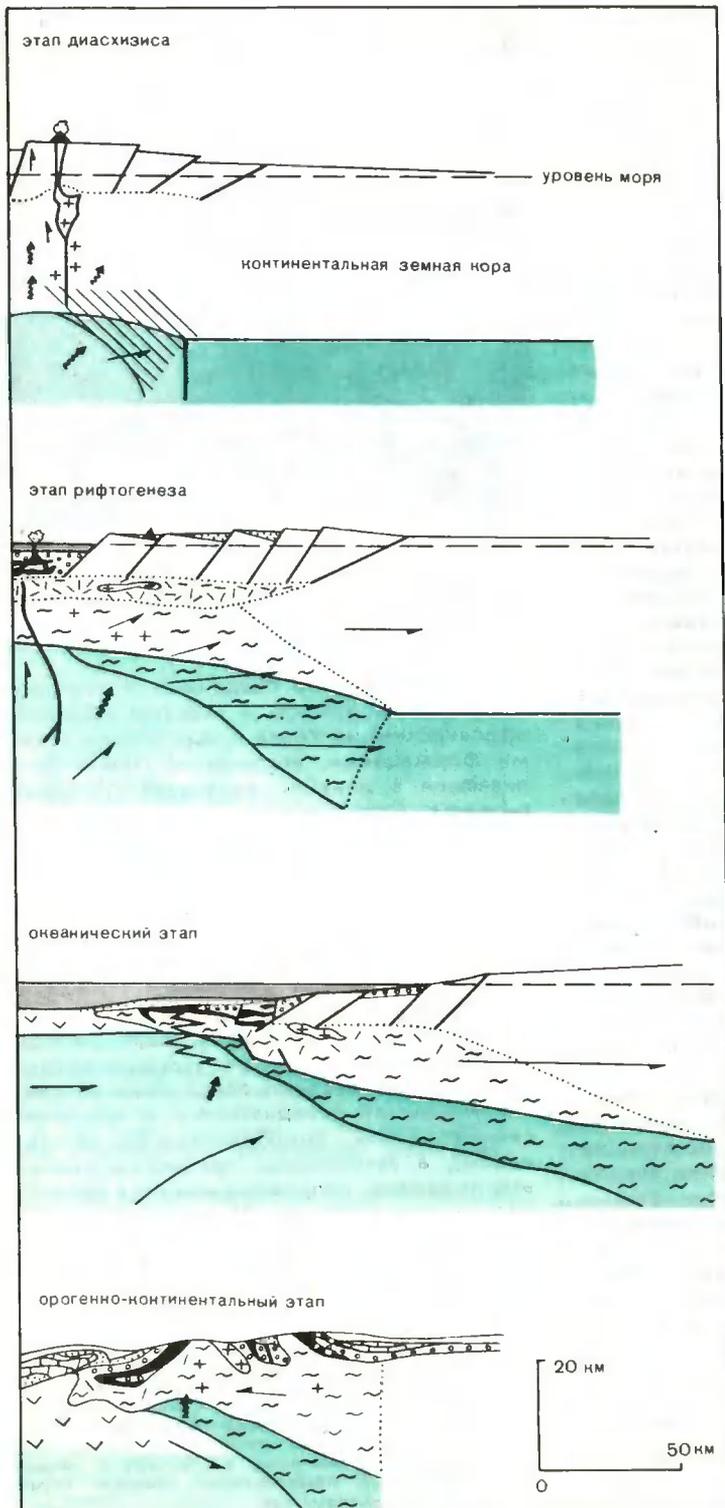
Валунистый конгломерат среднего рифея на гр.Шеток. Светлые жидкие кварца, пересекающие валуны в одном направлении, свидетельствуют об их коренном залегании. Узорные пятна на некоторых валунах — скальный мох.

нижнепалеозойские осадочные отложения (остатки кембрийских и главным образом ордовикские) на Урале представлены такими формациями, которые обычно накапливаются в линейно вытянутых провалах рельефа. Они в ряде случаев сопровождаются вулканическими породами и являются, таким образом, скорее всего рифтогенными⁴.

В последнее десятилетие в развитии земной коры выявлено важное значение зон автономной тектоно-магматической активизации, или зон диасклизиса (греч. — взламывание, разрушение). Сибирскому геологу К. В. Боголепову еще раньше удалось установить, что рельеф многих горных областей исходно обусловлен не геосинклинальной складчатостью и пост-геосинклинальным горообразованием (орогенезом), а автономным процессом глыбовых подвижек, сопровождающихся своеобразным магматизмом. Ученик Боголепова Ч. Б. Борукаев недавно установил, что этот процесс был существенным элементом в формировании земной коры в докембрии.

³ Тектоническая карта Урала масштаба 1:1 000 000. Под ред. Пейве А. В., Иванова С. Н. М., Министерство геологии СССР, 1977; Пейве А. В., Иванов С. Н. и др. Тектоника Урала (объяснительная записка к тектонической карте Урала масштаба 1:1 000 000).— М.: Наука, 1977.

⁴ Рифты — узкие (порядка 40—100 км) щелевидные депрессии земной коры, простирающиеся на многие сотни и тысячи километров. Они ограничены в боках плоскостями сбросов (нередко ступенчатых), обычно сопутствуют щелочному вулканизму и сопровождаются извержениями главным образом базальтовых лав.



Этапы развития земной коры. На рисунках показана правая часть симметричной структуры.



Терригенные отложения преимущественно континентального склона и подножия



Платформенные, главным образом грабневые отложения



Геосинклинальные морские образования



Вулканы, преимущественно базальты



Интрузии преимущественно щелочных пород и области гранитизации



Земная кора океанического типа



Миониты



Пластически деформированные горные породы (гнейсы, сланцы и др.)



Разуплотненная верхняя мантия



Область дополнительно высокого давления



Нормальная верхняя мантия



Направление и величина смещения вещества за несколько сотен миллионов лет



Направление поступления преимущественно щелочных флюидов с глубин более 100 км



Порфировая лава из отложений среднего рифея. Хорошо видна столбчатая отдельность, типичная для наземных образований.

Взламывание континентальной земной коры происходит из-за внедрения в подкоровое пространство разуплотненного сильно нагретого вещества мантии, находящегося в состоянии частичного расплавления. Оно поднимается в виде своеобразного мощного столба — диапира — с огромных глубин. Этот мантийный диапир обуславливает местное вздутие земной коры, которое с течением времени постепенно снижается и расширяется по мере растекания в стороны подкорового «пузыря» разуплотненной мантии. Приведенное нами и другими исследователями сопоставление зон диасхизиса с зонами рифтогенеза показало их генетическую связь и позволило наметить следующий ход событий. При подъеме достаточно мощного диапира земная кора трескается в своих верхних зонах и образуются рифты с характерным по составу магматизмом. Продукты магматизма — вулканические лавы и их глубинные аналоги — имеют при этом разнообразный состав, но характеризуются обычно ярко выраженным щелочным уклоном и другими признаками глубинного происхождения.

При продолжительных и мощных процессах подъема разуплотненной мантии земная кора разрывается полностью и образующиеся при этом ее части расходятся в стороны, создавая океаническую структуру сначала небольшую, типа Красного моря, а затем и более крупную, типа Атлантического океана. Такой ход развития земной коры ясно намечается при сделанном нами сопоставлении геологических особенностей зон диасхизиса, рифтогенеза и материковых берегов, образовавшихся путем разрыва континента (например, атлантических берегов обеих Америк, Европы и Африки)⁵.

Следовательно, в полном цикле развития земной коры в подвижных поясах должны быть следы платформенного додиасхизисного этапа, этапа диасхизиса, рифтогенеза, океанического (или, иначе говоря, начала собственно геосинклинального этапа), островодужного и орогенно-континентального. Океанический, островодужный и орогенно-континентальный этапы сейчас хорошо известны, и мы их здесь

⁵ Иванов С. Н. Природа метаморфических и магматических серий в рамках и срединных массивах геосинклиналей. — В сб.: Международные геологические конгрессы. Доклады советских геологов. Петрология. М., 1980, с. 45.



Смятые в складки песчаники верхнего рифея, превращенные в слюдястые кварциты. Южный Урал.

не рассматриваем, а лишь упоминаем для полноты картины.

Каждому из перечисленных этапов свойственны свои особенности накопления осадков и вулканизма, т. е. свои собственные формации горных пород и их наборы в определенной последовательности. Конечно, климат, многие индивидуальные особенности каждой конкретной обстановки и их последующие преобразования сильно осложняют картину, затушевывая эти характерные информативные формационные признаки. Тем не менее формационный анализ, основанный на сопоставлении древних и молодых, современных образований с учетом бесспорных изменений лика Земли, лучше всего освещает прошлое земной коры.

Произведенный нами пересмотр формационной принадлежности уральских верхнедокембрийских осадочных толщ и включенных в них изверженных пород показал, что в них отсутствуют типичные геосинклинальные осадки, такие как морские радиоляриевые яшмы, связанные с подводными вулканидами, ритмично-слоистые толщи (граувакковый флиш) и несортированные скопления обломочных пород — образования так называемой нижней молассы⁶. Было показано, о чем мы уже упоминали, что кварциты и песчаники, типичные представители платформенных образований (озерных, морских, прибрежных и сухопутных), являются не чужеродными, а закономерными характер-

ными членами, свойственными рифею Урала.

Таким образом, господствовавшая точка зрения о том, что рифейды европейского склона Урала представляют геосинклинальные образования, была поколеблена. Следовательно, сопоставление этих рифейских отложений с более молодыми палеозойскими геосинклинальными стало неправомерным. В первом случае — это в действительности континентальные платформенные осадки, а во втором — геосинклинальные (орогенные).

Судя по наличию конгломератов, полевощпатовых песчаников, залегающих в узких, очень длинных депрессиях поверхности Земли, специфическому вулканизму и другим признакам, условия образования толщ верхнего докембрия западного склона Урала, во всяком случае, в определенные этапы (1350, около 1000, около 600 млн лет назад), определялись общим подъемом земной коры, рифтогенезом и сопровождающим его последующим опусканием. Об этом свидетельствуют стратиграфические перерывы (обусловленные сносом осадков вследствие подъема земной коры) перед отложением грубых, а затем все более мелкообломочных пород, закономерно сменяющихся глинистыми осадками и карбонатными образованиями.

Но может быть, это все же миогеосинклинальные (бортовые) отложения верх-

⁶ Иванов С. Н. О байкалидах Урала и природе метаморфических толщ в обрамлении эвгеосинклиналей. — В сб.: УНЦ АН СССР, научные доклады. Свердловск, 1979; Он же. — Доклады АН СССР, 1977, т. 237, № 5, с. 1144.

недокембрийской настоящей геосинклинали (эвгеосинклинали), которая располагалась восточнее, как это предполагалось многими до сих пор? Главным основанием для такого предположения служат мощные накопления магматических, преимущественно базальтовых пород в осевой зоне и на западном склоне Приполярного Урала. Считается, что именно здесь осевая геосинклинали зона (эвгеосинклинали зона) позднего докембрия косо, с юго-запада пересекает зону, где позже, в палеозое, формировался Урал. Однако исследования докембрийских пород, проведенные здесь Б. А. Голдиным, В. Н. Пучковым и другими, показали, что базальты, принимавшиеся за эвгеосинклинали, в действительности являются континентальными, платформенными. Гранитоиды, как установил Г. Б. Ферштатер, тоже не являются поздне-геосинклинали, а принадлежат ранней вулканической ассоциации, зарождающейся на больших глубинах, как это происходит в зонах диасхизиса. В докембрийских отложениях Приполярного Урала нет исключительно характерной для эвгеосинклинали тесной ассоциации ультраосновных мантийных пород, океанических базальтов и яшм, составляющих обычно в геосинклиналях характерную «офиолитовую триаду», нет ни одного члена этой триады, нет также более поздних андезитовых вулканических толщ, нет орогенных гранитоидов и типичных для геосинклинали осадочных пород (флиша и др.), но зато обильны магматиты, щелочные и с щелочным уклоном, с характерной для зон диасхизиса и рифтогенеза геохимией и металлогенией.

Для окончательного принятия предложенной нами трактовки рифейских образований Урала требовалось справиться с еще одним и, как будто, непреодолимым препятствием. Дело в том, что рифейские толщии местами интенсивно смяты и метаморфизованы. Когда же это произошло? На р. Белой и ее притоках, рассекающих рифейские толщии Южного Урала, в отдельных местах видно, как верхнерифейские смятые слюдястые и кварцито-слюдястые сланцы срезаны сверху почти горизонтальной или наклонной поверхностью, на которой лежат массивные кварцито-песчаники ордовикской системы нижнего палеозоя. В других частях стратиграфического разреза отмечаются перерывы в последовательности напластований. Это давало основание считать, что рифейские толщии подвергались обычной геосинклинали складчатости в конце позднедокембрийско-



Несогласный контакт между слюдястыми толщии кварцито-песчаников ордовика (вверху) и сланцами рифея (внизу). Обе толщии расланцованы позднейшими, палеозойскими, деформациями, но направление плоскостей расланцования не совпадают, что свидетельствует о тектоническом передвижении по плоскости контакта. Береговой уступ р. Белой.

го тектонического цикла. Однако, как сейчас стало хорошо известно, интенсивная мелкая складчатость образуется не только в последний орогенный период развития геосинклинали, но и часто сопутствует разрывам в земной коре, не связанным с геосинклинали процессом (приразломная складчатость). Стратиграфические же перерывы в отложении осадков означают лишь последующий размыв или отсутствие отложений вследствие подъема земной коры и создания гор. Но причиной подъема в данном случае является не складчатость, а вертикальные глыбовые движения, характерные для зон диасхизиса и рифтогенеза.

Наши исследования показали, что динамометаморфизм горных пород с образованием сланцев происходит также в зоне разрыва земной коры на глубинах ниже 10—13 км. На этих глубинах хрупкий разрыв вследствие высокого общего давления и повышенной температуры заменяется пликвативными пластическими деформациями. При неоднородном, как обычно, составе земной коры ее пластическая деформация приводит к скольжениям и причудливой складчатости некоторых слоев.

Итак, подведем итоги. Верхнедокембрийские толщии западного склона Урала имеют не геосинклинали происхождение

ние⁷. В это время в зоне будущего Урала не было геосинклинали, а развивался очень длительный и периодически активизирующийся предгеосинклинальный процесс. Он зародился, возможно, в самом начале позднего докембрия и даже несколько раньше (в конце раннего протерозоя) и вполне отчетливо проявился на границе раннего и среднего рифея, приблизительно 1350 млн лет назад. К этому времени относятся внедрения в земную кору характерных для зон диахизиса магматических горных пород (гранитов рапакиви и других с щелочным уклоном), а также подъем земной поверхности и образование рифтовых провалов. Последующее общее опускание обусловило отложение мелководных озерно-морских осадков, прерванное около 1 млрд лет назад (на границе среднего и позднего рифея) новым циклом подъема и рифтогенеза, сменившегося затем отложением осадков в той же, что и ранее, закономерной последовательности. В самом конце позднего докембрия кратковременно появляются первые признаки формирования субокеанической земной коры.

Самый последний подъем и рифтогенез, приведший к полному разрыву земной коры, произошел уже в палеозое в конце кембрия — в ордовике и привел к разрыву континентальной платформы, раздвижению ее частей и образованию на месте будущего Урала океанического бассейна. С этого момента и начинается привычная геосинклинальная история Урала, как и других аналогичных складчатых областей: накопление океанических базальтов и скудных глубоководных осадков, затем замыкание океана, формирование островодужных отложений и мощных вулканических андезитовых толщ, гранитизация и образование новой континентальной земной коры.

Изучение геологических материалов по другим складчатым областям Земли (по горным областям юга Сибири, Казахстану, Аппалачам Северной Америки и отчасти другим) показывает, что такой ход истории, по-видимому, свойствен не только Уралу, а является более общей закономерностью развития складчатых поясов. Многие геологические и геофизические данные говорят о том, что весь этот про-

цесс определяется внедрением на обширных пространствах в подкоровые зоны тех или иных областей Земли крупных сильно нагретых масс разуплотненной мантии, медленно поднимающихся из очень глубоких недр планеты. Именно эти мантийные массы обуславливают предрифтовое вспучивание земной коры, ее разрыв, раздвигание и образование океанических впадин и соответствующий каждому этапу характерный магматизм и образование специфических осадков. Недавно опубликованные работы А. Л. Яншина, Е. В. Артюшкова и А. Е. Шлезингера, как и более ранние работы О. Г. Сорохтина, обосновывают идею формирования мантийных диапиров на границе нижней мантии и ядра Земли. Следовательно, история развития земной коры и, видимо, литосферы в целом состоит не из повторения геосинклинального цикла длительностью 200—250 млн лет, как обычно принято считать, а из гораздо более длительных этапов (до 1 млрд и более лет), начинающихся грандиозными поднятиями глубинных мантийных диапиров и заканчивающихся мощным горообразованием и гранитизацией верхних частей земной коры после замыкания океанических бассейнов.

Загадки, остро поставленные в статье Б. М. Келлера, решаются созданием новых фундаментальных представлений, ведущих к признанию негеосинклинальной природы рифейских толщ Урала. Последние формировались в условиях континентальной платформы, и их очень медленное накопление, не сопоставимое со скоростью отложения геосинклинальных осадков, тому дополнительное подтверждение. Рифтогенез, неоднократно осложнявший платформенные условия, лишь в палеозое привел к полному разрыву континентальной плиты и образованию океанического бассейна. Эволюция этого бассейна составляет уже раннюю историю Уральской геосинклинали.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Монин А. С. ПОПУЛЯРНАЯ ИСТОРИЯ ЗЕМЛИ. М.: Наука, 1980.

ОКЕАНОЛОГИЯ. ГЕОФИЗИКА ОКЕАНА. Т. 2. Геодинамика. М.: Наука, 1979.

Иванов С. Н. О БАЙКАЛИДАХ УРАЛА И СИБИРИ.— Геотектоника, 1981, № 5.

Яншин А. Л., Артюшков А. Е., Шлезингер А. Е. ОСНОВНЫЕ ТИПЫ КРУПНЫХ СТРУКТУР ЛИТОСФЕРНЫХ ПЛИТ И ВОЗМОЖНЫЕ МЕХАНИЗМЫ ИХ ОБРАЗОВАНИЯ.— Доклады АН СССР, 1977, т. 234, № 5.

⁷ Трактовка верхнедокембрийских образований как рифтогенно-депрессивных в основном принята и в новом фундаментальном труде Геологического института АН СССР: Тектоника Северной Евразии. М., 1980.

Серебряные колокола

Т. Б. Шашкина,
кандидат физико-математических наук
Одесса

ЛЕГЕНДЫ О КОЛОКОЛАХ

«На склоне самой высокой горы Говерлы стоял город с замком. Жил в этом городе сильный русский князь — лишь одного стольнокиевского признавал он выше себя. Этот князь однажды созвал мастеров со всех Карпат. А на Карпатах были такие мастера, каких нигде больше в Европе не бывало. И князь велел им отлить колокол, чтобы звон его раздавался по всей стране. Колокол отлили из чистого серебра. Он звонил, и всякий знал, что, пока слышен звон, жива, свободна страна!»¹.

О серебряных колоколах существуют поверья, народные предания, легенды, стихи.

Ни географического, ни этнографического прикрепления легенды о серебряном колоколе не имеют. Хронологические рамки их неопределенны. Состав колокольного сплава (колокольной бронзы) считается или секретом мастеров, не подлежащим разглашению, или, напротив, безнадежно утраченным. Между тем этот секрет (четыре части меди, одна часть олова) был раскрыт еще в начале XI в. бенедиктинским монахом Теофилом в сочинении «О различных искусствах» и с тех пор неизменно воспроизводился во всей последующей литературе по бронзолитейному



Колокол «Редноновский» (1647 г.) — один из «серебряных» колоколов колокольни Ивана Великого Московского Кремля.



Один из «серебряных» колоколов Эрфурта (ГДР), посвященный Козьме и Дамиану (1625 г.).

производству. Более того, с середины XIX в. письменные источники настойчиво отрицают необходимость серебра в сплаве. К этому же времени относятся первые пробы анализов древних памятников колокольного литья, показавшие наличие в колоколах только олова, меди, иногда небольших примесей свинца, цинка или железа².

Таким образом, рецепт сохранился, а легенда все равно живет. В одном из ее современных вариантов сообщается, что серебро для звука нужно обязательно, в подтверждение «припоминается» какое-нибудь популярное издание. В другом варианте выясняется, что о серебряных колоколах знают от старых людей, старых мастеров или звонарей. В третьем рассказывается, что серебро в колоколах особое, не уловимое никакими физическими или химическими методами.

Легенда, таким образом, имеет как бы несколько взаимопроникающих смыслов: наилучший металл — серебро, иногда позолоченное, иногда даже золото для наилучшего — серебряного, иногда золотого, иногда малинового звучания, в знак наилучшего, наиважнейшего наименее значительного события. Известна китайская сказка, в которой голос колокола, несущего победу, мог родиться не из серебра, железа или золота, а только из металла, смешанного с кровью человека, готового отдать жизнь за свою землю. В средневековой Европе

¹ Сафонов В. Колокол Говерлы. М., 1950, с. 9.

² Ledebur M. Die Legierungen in ihrer Anwendung für gewerbliche Zwecke. В., 1980, с. 68—69; Кнаббе В. С. Литейное дело. СПб, 1900, с. 219—220.

колокольный сплав вообще был, что говорится, на кончике языка: даже фармацевтические и кулинарные ступки считались отлитыми из него. Репутация сплава в ремесленной среде была столь велика, что вплоть до недавнего времени ему давали обобщенное название «металл» (в отличие от обычной бронзы).

Среди более чем трех десятков химических анализов русских колоколов XI—XIX вв., проведенных автором этой статьи современными аналитическими методами, серебра не оказалось ни в одном. Точнее говоря, серебро обнаружилось на уровне естественного содержания примесей (сотые доли процента) и лишь в нескольких случаях — в десятых долях процента. Те же результаты сообщаются иностранными источниками: ни в одном из исконо считавшихся серебряными колоколов химическим анализом наличие серебра не подтвердилось³.

И все же серебряные и золотые колокола были. «5-го июня 1890 г. в Харькове на колокольном заводе П. П. Рыжова состоялась отливка царского колокола из серебра — колокол предназначен для Успенского кафедрального собора. В первом ярусе колокольный устраивается из железа раковина, в которой и будет висеть колокол... Этот колокол имеет 17 пуд. 35 фунт. чистого серебра и незначительное количество меди и олова, необходимых для сплава.»⁴ И в другом месте: «Золоченые колокола имеются; кажется, только в городе Таре, в Сибири, при церкви Казанской Божьей Матери. Их там шесть; все они небольшие от 1 до 45 пудов. Вызолочены они тарским мещанином Семеном Можайкиным по следующему случаю. Любимый брат этого мещанина, быв по торговым делам в степи, попался в плен к киргизам; брат, узнав об этом, дал обет, что если пленник благополучно возвратится из плена, то он по-

золотит колокола. Брат вернулся, и горячность братской любви заставила выполнить данный обет»⁵. В некоторых музеях сохранились небольшие ручные колокольчики из серебра. Известен бронзовый колокол, инкрустированный листовым серебром.

«КОЛОКОЛЬНАЯ» БЫЛЬ

Чтобы как-то подобраться к загадке этой легенды, нужно принять во внимание несколько групп фактов.

1. Серебра действительно не должно быть. Сохранились сведения о том, что серебряный колокол, отлитый в Харькове, имел звук «жидкий, бессильный, неполновесный»⁶. Несколько лет назад было проведено специальное исследование, посвященное установлению влияния примесей на акустическое поведение стандартной колокольной бронзы (современный стандарт Cu — 78—80%, Sn — 20—22%, примеси — 1—2%). Среди различных специально вводимых добавок изучалось влияние серебра (до 5%) на механические и акустические характеристики сплава — твердость, скорость звука, затухание (уменьшение амплитуды колебаний). Выяснилось, что легированная серебром колокольная бронза имеет несколько повышенные твердость и затухание и несколько более низкую скорость звука, но далеко не в той степени, чтобы влияние серебра можно было бы признать сколь-нибудь акустически значимым⁷.

2. Состав и фазовая структура колокольной бронзы. В практике музыкального материалоустройства критерием качества «звучащего» материала служит так называемая акустическая константа — величина, учитывающая скорость звука, плотность и затухание через выражение $1/R\sqrt{E/\rho}$, где R —

затухание, E — модуль Юнга, ρ — плотность материала. Это выражение выведено для «резонансного» дерева, но оно получено с учетом совокупности общих требований к материалу музыкального инструмента с точки зрения неискаженного и оптимального по мощности излучения и поэтому в качестве обобщенного критерия может быть распространено на «резонансный» металл. В общем случае колокольная бронза обнаруживает нормальную двухфазную структуру: первая фаза — твердый раствор олова в меди (α -фаза) и вторая — механическая смесь (так называемый эвтектоид) α - и δ -фаз, где δ -фаза — интерметаллическое соединение $Cu_{31}Sn_8$ со сложной кубической решеткой типа γ -латуни, относящаяся к особому классу так называемых электронных фаз Юм — Розери. Оказалось, что в зависимости от концентрации компонентов все физические свойства сплавов системы медь — олово, входящие в акустическую константу, имеют перегибы (скачки, или минимумы — максимумы) при 32—33% Sn, т. е. в области δ -фазы. Это значит, что состав, соответствующий δ -фазе, аномален по сравнению с другими. Иначе говоря, при этом составе акустические свойства проявляются в «химически чистом виде», в то время как при других составах они соответствуют доле этой фазы. Такое заключение в дальнейшем подтвердилось исследованием акустических свойств реальных исторических образцов колокольного литья, показавшим, что все акустические параметры меняются параллельно относительному содержанию δ -фазы (все же остальные факторы — чистота, пористость, размер ячеек фаз и т. п. — имеют подчиненное значение).

Таким образом, особые свойства колокольной бронзы как «звучащего», «резонансного» сплава связаны со свойствами δ -фазы в системе медь — олово, интерметаллического соединения $Cu_{31}Sn_8$. Это соединение, однако, обладает исключительно высокой хрупкостью — колокол, отлитый из бронзы такого состава (67,5% меди, 32,5% олова), не выдержал бы

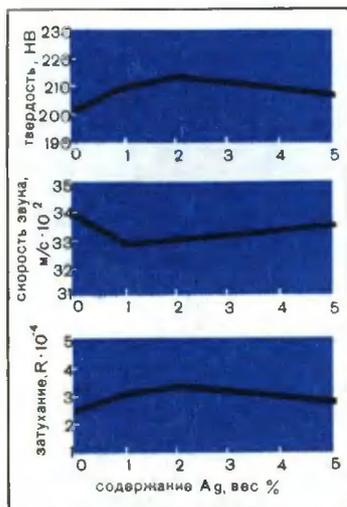
³ Ellorhorst W. Handbuch der Glockenkunde. Weingarten, 1957, S. 79—80; Sjögren P. G. — Acta campanologica, 1977, v. 2, № 1, p. 19.

⁴ Пыляев М. — Истор. вестник, 1896, т. 42, с. 177.

⁵ Там же, с. 202.

⁶ Рыбаков С. Г. Церковный звон в России. СПб, 1896, с. 17.

⁷ Schad C. R., Warlimont H. — Metall, 1972, 26 Jg. H. 1, S. 10.



Влияние серебра на твердость колокольной бронзы (вверху), скорость (в центре) и затухание звука в ней (внизу).

и одного удара языком. Но здесь — то как раз и раскрывается рациональная основа легендарного рецепта: если сплавы, различающиеся содержанием олова, расположить по их способности выдерживать деформацию без разрушения, то окажется, что колокольный сплав попадает почти на границу области допустимой хрупкости. Оптимум пропорций компонентов в сплаве при этом очевиден — оптимум акустических свойств и механической прочности: с одной стороны, как можно больше олова, чтобы увеличить долю носителя специальных свойств сплава — «резонансной» δ -фазы, с другой стороны, не столь много, чтобы лишить сплав демпфирующей способности матрицы — пластичной α -фазы.

3. Цвет δ -фазы и химический состав древних колоколов. В зависимости от содержания олова сплавы системы медь — олово обнаруживают целую гамму различных цветовых оттенков: при 4—5% Sn бронза имеет желтоватый

цвет, при 10—12% — оранжевый, при 14% — желтый, при 20% — желтовато-серый, при 22% — беловато-серый, при 24% — серебристо-белый, при 27—32% — серебряный, при 38% — серый.

И вот что интересно. Как результаты исследований русских колоколов, так и данные для некоторых западноевропейских⁸ показывают, что ранние колокола (XI—XIII вв.) были небольших размеров и практически всегда имели повышенное содержание олова — до 23—26%. Колокольная бронза такого состава имеет серебряный вид (археологи поэтому часто так и пишут: «белый сплав», «зеркальный сплав»); самым «серебряным» из числа исследованных автором оказался колокол XI в. древнерусского Переяслава (его остатки хранятся в историческом музее г. Переяслава-Хмельницкого), в этом колоколе 29,4% олова (по этой причине он, вероятно, и разбился).

Позднее, примерно к XV—XVI вв., когда колоколотейное ремесло уже овладело техникой отливки крупных колоколов, с высоким содержанием олова в сплаве стали отливать только такие же небольшие колокола, как и более ранние; для больших же назначали гораздо более низкое содержание — 17—18%, — очевидно, из соображений гарантированной прочности. И уже совсем в недавнее время, на последнем этапе эволюции ремесла, произошла своего рода унификация рецепта к единому среднему составу (20—22% олова) для колоколов любого веса и размера, ставшему своеобразным международным стандартом.

Таким образом, в силу производственной традиции колоколотейного ремесла колокола относительно небольших размеров (диаметром до 60—90 см) отливались с повышенным содержанием олова и по этой причине — из-за высокого

относительного количества δ -фазы — имели белый или серебристо-белый цвет. Видно, к таким именно колоколам относятся следующие характерные описания, встречающиеся в исторической литературе: «На колокольне нижегородского Печерского монастыря висит вседневный колокол XV века. Он весом около 36 пудов; от нынешних колоколов отличается большей белизной, звонкостью и фигурой многосложных привесок, называемых ушами»⁹.

4. Серебряные колокола и серебряные голоса. Серебро в легенде функционирует не только как примесь благородного металла, но и как чистый, мелодичный, переличатый серебристый звук — точь-в-точь в такой же оценке, какая часто дается голосам хороших певцов. Откуда же появились словосочетания «серебристый звон», «серебряный голос», «серебристый смех», ставшие фразеологизмами не только русского, но и европейских языков? Каковы особенности звучания хороших голосов и хороших колоколов, которые определяют одинаковость их субъективной оценки — серебристый?

Прежде всего, нужно заметить, что практика музыкального искусства выработала ряд критериев для оценки различных звучаний — по высоте, громкости и тому, что нас более всего будет интересовать, — тембру, иначе говоря, характеристике, определяющей качество воспринимаемых звуков — «глубину», «цвет», «окраску» (густой, мягкий, бархатистый, светлый, тонкий, яркий, тусклый, глухой).

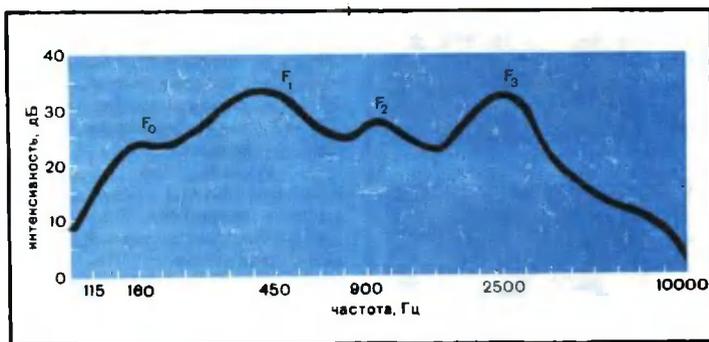
Ленинградским физиологом-акустиком В. П. Морозовым были получены усредненные интегрально-статистические спектры вокальной речи (пения) для мужских и женских голосов в зависимости от характера тембра как принципа деления певческих голосов на типы: бас, баритон, тенор, меццо-сопрано, сопрано, колоратурное

⁸ Скиндер В. А. Бронза. Ее природа и история с древнейших времен. СПб, 1908, с. 80.

⁹ Макарий. — Зап. Импер. археол. о-ва, 1850, т. III, с. 78.

сопрано и т. п.¹⁰ Результаты показали, что частотные спектры мужских голосов характеризуются наличием области самого низкого основного тона (F_0) и трех областей частот — формант: нижней F_1 (300—600 Гц), или низкой певческой форманты, средней F_2 (700—1300 Гц) и так называемой верхней певческой форманты F_3 в области высоких частот (2100—3000 Гц). В женских голосах также выявляются три ясно выраженных максимума, соответствующих формантам мужских голосов, однако область основного тона, располагающаяся в женских голосах на октаву выше, практически совпадает с областью низкой певческой форманты. Средняя форманта выражена несколько более четко, третья, или высокая, певческая форманта располагается в области от 3000 до 3500 Гц. Таким образом, спектральная картина певческого голоса, отражающая характеристики тембровых различий, является в основном трехформантной. Что же касается субъективных оценок, то установлено, что низкая певческая форманта придает голосу мягкость и массивность, тогда как высокая певческая форманта как раз обеспечивает восприятие голоса как звонкого, серебристого, легкого, мелодичного (это было подтверждено затем в опытах с искусственным подавлением высокой певческой форманты в магнитофонных записях известных певцов: голоса, лишённые высокой певческой форманты, воспринимались на слух как глухие, тусклые, бесцветные, усталые, без яркости и звона, сама же форманта воспринималась как соловьиная трель).

Приводимые В. П. Морозовым данные показывают, какую роль играют высокие спектральные составляющие в обеспечении эстетических оценок звонкости. Здесь дело прежде всего в том, по-видимому, что высокая певческая форманта целиком попадает в область



интегрально-статистический спектр мужского голоса (тенора), отражающий его спектральный состав. F_0 — основной тон (115—225 Гц); F_1 — низкая певческая форманта (300—600 Гц); F_2 — средняя певческая форманта (700—1300 Гц); F_3 — верхняя певческая форманта (2100—3000 Гц). Низкая певческая форманта придает голосу мягкость и массивность, высокая — звонкость, «серебристость», легкость и мелодичность. Шкала частот нелинейная.

максимальной чувствительности слуха (1000—3000 Гц). Кроме того, в этой же области слух отличается повышенной разрешающей способностью по высоте: так, звуки с частотой в области 2000 Гц воспринимаются как различные, если они отличаются по частоте всего на 0,1—0,4% — не потому ли в «серебряных» голосах слышится трель соловья?

Теперь вернемся к историческим «серебряным» колоколам. Как уже говорилось, факт наличия таких колоколов в России подтверждается свидетельствами историков — как правило, это колокола небольших размеров с повышенным содержанием олова. К сожалению, акустические исследования этих колоколов не проводились. Но вот что дает сравнительный анализ данных немецкой колокольной истории. В Эрфурте (ГДР) было несколько колоколов, исконно считавшихся «серебряными». Известный колокольный мастер и исследователь колокольного искусства Ф. П. Шиллинг приводит сле-

дующие сведения об этих колоколах: колокол «Безымянный» («Sine nomina»), отлитый в 1475 г. Отто Янсоном, — самый малый из «серебряных» колоколов — не сохранился; колокол «Кантабона» (1492 г.), около 600 кг с диаметром 65 см, основной тон — фа второй октавы; четырехсоткилограммовый колокол, посвященный Козьме и Дамиану (отлит в 1625 г.), — самый большой по размеру из «серебряных» колоколов Эрфурта, его диаметр 69 см, основной тон — ре-бемоль второй октавы; небольшой звонный колокол «Ангельский» (1475 г., работы выдающегося мастера Клауса фон Мюльхаузуна) в 250 кг с диаметром 55 см, тон — ля-бемоль второй октавы. К этому можно прибавить и сведения одного из проспектов колоколотейной мастерской Шиллингов: для нового карильона г. Магдебурга в 1977 г. был отлит набор бронзовых колоколов, из них четыре наименьших называются «серебряными» из-за серебристо-светлого звучания. Приводится и основной тон этих колоколов: ля второй октавы, до-диез, ми и фа-диез третьей октавы¹¹.

Что же мы видим? Основной тон колоколов с серебристым тембром приходится на область второй и третьей октав, область частот 500—2000 Гц. Но нужно учесть и то, что основной тон определяет только высоту воспринимаемого слухом звучания колокола, суммарный же акустический эффект

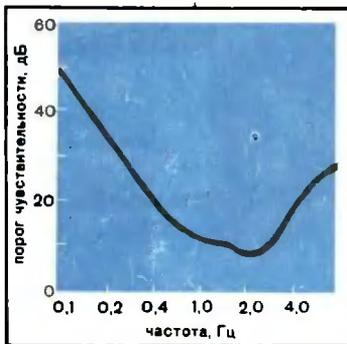
¹⁰ Морозов В. П. Биофизические основы вокальной речи. — Л., 1977.

¹¹ Schilling F. P. Erfurter Glocken. В., 1968.

звучания создается всей совокупностью тонов — основным и частичными тонами — обертонами, так как специфичкой колокольных звучаний как раз является особое обертоновое богатство, большой набор раздельно воспринимаемых признаков. Как минимум пять из них слышны даже в небольших колоколах: основной тон, тон октавой ниже основного тона, тон октавой выше и два промежуточных — терция и кварта (то есть ряд $1/2f_0$, f_0 , $4/3f_0$, $3/2f_0$, $2f_0$). Мы видим, таким образом, что вся доступная слуховому восприятию звуковая масса серебряных колоколов приходится на область максимальной чувствительности слуха, с гарантией охватывая спектральный участок верхней певческой форманты — фактор серебряности в восприятии музыкальных тембров.

Приведенные данные, как кажется, дают возможность предположить момент исторической привязки в легенде о серебряных колоколах, как бы ту ее «материальную базу», которая могла послужить источником устойчивых психологических оснований для возникновения преданий о серебре в колоколах — существование реальных исторических колоколов серебряного цвета с серебряным звуком.

5. «От любви своея душевныя и от сердечного желания». Теперь сосредоточим внимание на другом вопросе — этической и эстетической стороне легенды. Вплоть до начала XX в. колокола, как правило, дарили, жертвовали. Очень часто это вызывалось какими-нибудь особыми, даже чрезвычайными событиями, когда жертвователи в результате сильного душевного потрясения, в акте щедрости, раскаяния, в знак памяти или обета, в подарок хотел отлить колокол самый большой, самый красивый, самый ценный, самый благозвучный. Это отражено и в надписях на русских колоколах: отлит «подаянием», «коштом», «вкладом», «иждивением», «тщанием», сообщается, кто дал вклад и в знак какого события¹². Из таких же этических побуждений часто делались де-



Среднестатистическая кривая порогов слуховой чувствительности человека. Вся доступная слуховому восприятию звуковая масса серебряных колоколов приходится на область максимальной чувствительности слуха, охватывая участок верхней певческой форманты. Шкала частот нелинейная.

нежные сборы, сборы серебряных монет или ложек. Приведем свидетельства: «При отливке некоторые из присутствующих, благоговейно крестясь, бросают в расплавленную массу серебро, принося этим посильную лепту, другие же полагают, что от этого звон будет чище»¹³; «Долгое время считалось, что при добавлении серебра в колокольный сплав получается более чистый звук, и благодаря благочестию верующих такие взносы были не малы. Теперь уже определенно отказались подмешивать серебро в сплав; мы склонны считать, что в прежние времена серебро жертвователей попало не столько в печь, сколько в кошелек мастеровых»¹⁴.

В упомянутой выше китайской сказке для отливки са-

мого большого на земле колокола приглашается самый искусный мастер. Доля мастера отыскивает самое желтое золото, самое белое серебро, самое черное железо. А когда это не помогает, бросается в чан с расплавленным металлом, чтобы ее кровь смешалась с серебром, железом и золотом. Только тогда получается колокол огромный, без единой трещины, голос его то прозрачен и нежен, как перелив горного ручейка, то грозен и величествен, наполняя все сердца радостью и покоем, делая их отважными и мужественными.

«НАРОДНАЯ АЛХИМИЯ»?

Итак, мотив серебряного колокола это отнюдь не беспредметная фантазия. Перед нами сложный клубок ассоциативных связей, так как основное ядро представления часто строится из этического, эстетического элементов и, если можно так сказать, производственно-технологического, химического.

И это можно понять. Образ колокола апеллирует к глубоким слоям сознания, вызывая сильные зрительные и слуховые ощущения, основанные на оценке цвета и тембра, на переносе слуховых впечатлений на зрительные и обратно, выражая предощущение красоты, идеала. Мы видели, что авторы легенды не имеют никакого представления о том, что представляет собой колокольный сплав. В попытках перевести на язык слов внутренне переживаемые зрительные и звуковые ощущения, они как бы «материализуют» их в благородный металл. Серебро в легенде — чистая метафора, своего рода «народная алхимия»: из-за сильной эстетизации ощущений тайна превращения обычного металла в сплав с особыми свойствами становится тайной превращения заурядной меди в незаурядное серебро или золото.

Таким образом, колокол как объект художественного восприятия содержит и предметный, материальный аспект. Не потому ли так трудно отделить друг от друга реальное и фантастическое в легенде о серебряных колоколах?

¹² См., напр.: Мартынов А. А. — Русский архив, 1896, ч. 34, в. 1, 3, 4.

¹³ Пыляев М. Указ. соч., с. 178.

¹⁴ Viollet-le-Duc E. Dictionnaire Raisonné de l'Architecture Française du XI-e au XVI-e siècle. P., 1868, t. 3, p. 282.

Б. С. КУЗИН И А. А. ЛЮБИЦЕВ О СИСТЕМАТИКЕ

Давняя дискуссия и современность

А. К. Скворцов,
доктор биологических наук
Москва

Публикуемые ниже выдержки из переписки А. А. Любицева и Б. С. Кузина, выбранные Р. Г. Баранцевым из архивных материалов, интересны, как мне кажется, в нескольких отношениях.

Во-первых, просто как человеческий документ. Большинство писем относится к 1943—1944 гг. Шла Великая Отечественная война. Жизнь даже и в тылу была тревожной и нелегкой, возможности для исследовательской работы, не связанной непосредственно с военными нуждами, крайне ограничены. Тем не менее оба ученых — уже тогда пожилых — занимаются обдумыванием и обсуждением самых, казалось бы, отвлеченных вопросов. В те годы существовала такая присказка. Ученые бывают условные и безусловные. Условные — это те, которые работают только при наличии надлежащих условий, безусловные же и без всяких условий все равно работают. Во время войны, действительно, многие ученые, оказавшись без всяких условий для экспериментальных исследований, занялись активной теоретической разработкой проблем своей науки. И эта неугасающая творческая активность безусловных ученых стала одним из важных факторов, позволивших нашей стране по окончании войны, несмотря на все понесенные потери, развернуть широчайший фронт научных исследований на высоком теоретическом уровне и в фантастически короткие сроки.

Обращает на себя внимание дружеский тон, неизменно сохранявшийся в течение всей полемики, хотя к общему согласию Кузин и Любицев так и не пришли. Даже когда один пишет другому: «Боюсь, что Вы начнете тут махать руками и плевать», — это звучит не обидно и не раздраженно, а вполне добродушно — и так и воспринимается оппонентом.

Хорош и язык писем. Кто-то даже сказал, что стиль писем «художественный». Я уверен, что ни тот, ни другой из корреспондентов не стремился к «художественности». Просто они оба умели пользоваться русским языком. Но на фоне того «научного стиля», к которому мы теперь все более привыкаем в биологической литературе, уже и самый обыкновенный правильный русский язык начинает выглядеть высокохудожественным.

Стремясь к точности выражения своих мыслей, и Кузин, и Любицев, несомненно, тщательно продумывали и редактировали текст каждого письма — хотя этот текст предназначался лишь одному-единственному читателю. Невольно приходит на ум сопоставление с иными современными авторами, которые присылают статьи в редакции научных журналов, желая адресоваться к тысячам читателей, но не давая себе труда как следует отредактировать свои произведения.

Но главное в публикуемой переписке, конечно, — ее науч-

ное содержание. Начало и основная часть переписки отделены от нашего времени уже без малого четверть десятилетиями. Но обсуждаемые Кузиным и Любицевым вопросы до сих пор служат предметом острых дискуссий. Будь авторы переписки живы и выступи они перед биологической аудиторией, их выступления и теперь вызвали бы живой интерес. И то, что переписка публикуется сейчас, мне кажется, даже особенно интересно, так как позволяет нам увидеть и обсуждаемые вопросы, и позиции участников дискуссии уже в некоторой исторической перспективе.

У Кузина и Любицева есть и общие взгляды. Это прежде всего отрицание филогенетической основы систематики. «Если бы система была отражением генезиса форм, — пишет Кузин (12.1.1944), — она изобиловала бы переходными формами и группами». А этого, по мнению Кузина, не наблюдается, и «в этом факте заключается решительный довод против филогенетической систематики».

Не парадокс ли: ведь при обосновании эволюционной теории и Ламарк, и Дарвин прежде всего опирались именно на существование промежуточных, «переходных» форм. Глядя на один и тот же мир живых существ, насколько различным можно его видеть! Еще и сейчас школа «фенетической систематики», особенно сильная в Англии, за свой основной, краеугольный тезис принимает отделение си-



Александр Александрович Любищев (1890—1972) — доктор сельскохозяйственных наук, профессор. В 1911 г. окончил естественное отделение физико-математического факультета Санкт-Петербургского университета. Жил и работал в Петербурге, Симферополе, Перми, Самаре, Ленинграде, Киеве, Пржевальске, Фрунзе. С 1950 г. — в Ульяновске. Занимался систематикой земляных блошек, биометрией, общими вопросами системы, формы, эволюции организмов. В Архиве имеется 50 его писем к Б. С. Кузину за период с 1929 по 1970 г.



Борис Сергеевич Кузин (1903—1973) — доктор биологических наук, профессор. В 1924 г. окончил естественное отделение физико-математического факультета Московского университета. Жил и работал в Москве, Карелии, Казахстане. С 1953 г. — в Борке Ярославской области. Занимался систематикой жуков и клошей, прикладной энтомологией, гидробиологией. В Архиве имеется 50 его писем к А. А. Любищеву за период с 1936 по 1970 г.

стематики от всяких «филогенетических спекуляций».

Верно, конечно, что систематика (=таксономия) и филогенетика — не одно и то же. Можно успешно разрабатывать систематику, не затрагивая вопросов филогенеза. Однако, если мы хотим иметь у систематики какую-то теорию, мы должны дать ответ на вопрос: что же такое «естественная система», к которой мы стремимся, что лежит в основе ее «естественности»? Кузин по этому поводу прямо не высказывается, но можно понять, что ответ он видит в своем понимании «типа». Тип более крупной так-

сономической группы включает в себя, обобщает типы более мелких групп. Соответственно и структура системы, по Кузину, должна быть иерархической. Притом иерархия эта не условна, а отражает какие-то объективные отношения, и, следовательно, в принципе, в пределе, к которому следует стремиться, естественная система должна быть единственной. Эти представления Кузина в основном соответствуют взглядам дарвиновских натуралистов и систематиков (как Ж. Кювье, А. Декандоль и др.). Современная систематика также стремится к единственной иерархически по-

строенной системе, но понятие типа теперь уже не играет центральной роли, его заменило представление об общности происхождения.

Идея Любищева существенно иная: он основывается на комбинаторике признаков («своих элементов»), рассматриваемых как самостоятельные сущности. Естественная система, по Любищеву, — такая, в которой положение элемента в системе отражает максимум признаков этого элемента. При этом «все признаки равноценны, и, следовательно, порядок положения признаков в иерархической лестнице совершенно произво-

лен» (18.9.1944). Поэтому иерархичность не может иметь основополагающего значения, и, в принципе, возможно построение нескольких разных естественных систем.

Таким образом, Любищев выступает как пионер и протагонист современной «числовой», или «неоадансоновской», систематики. (Основные идеи насчет равноценности и свободной комбинаторики признаков высказал еще в XVIII в. современник К. Линнея француз М. Адансон, но идеи эти ни при их появлении, ни в дальнейшем, почти в течение двух веков, не привлекали к себе серьезного внимания и только в 50-х и 60-х гг. нашего века пережили бурное возрождение, прежде всего в среде младших поколений английских и американских систематиков. Идеи «числовой систематики» во многом совпадают с идеями «фенетической» школы. Но «числовая систематика» не обязательно предполагает отмежевание от филогенеза, а «фенетическая» не обязательно оперирует числовыми показателями.)

Больше всего Кузин и Любищев спорят о том, насколько возможно и полезно математизировать биологическую систематику. Идея математизации овладела Любищевым, по его собственным словам, уже в 1911—1912 гг. — т. е. в такие молодые годы, когда он, конечно, еще не мог достаточно глубоко постигнуть ни сущности систематики, ни тенденций ее развития, ее методов и проблем. Но и впоследствии Любищев исходил не из внутренних проблем и представлений самой систематики, а подходил к систематике с неизменных позиций своей *idée fixe*. Не вникая в анализ накопленного систематикой идейного багажа, Любищев запросто заявляет, что «систематика пока не наука» (18.2.1944). Статья наукой она сможет только в результате внедрения в нее математики. При этом под математикой Любищев понимает только измерения и вычисления. «Измеряй все, что можно измерить, и делай все неизмеримое измеримым». Принципиально неизмеримое я решительно отвергаю» (26.11.1943).

Стоит напомнить, что дру-

гой, не менее выдающийся сторонник математизации биологии, основатель (1939) и долготный редактор журнала, специально посвященного такой математизации (*Bulletin of Mathematical Biophysics*), Николай Николаевич Рашевский, в конце концов пришел к заключению, что наибольший интерес в применении к биологии представляют неметрические разделы математики (как топология и т. п.). Да и позволительно спросить: где грань между математикой и логикой и чем использование логики принципиально уступает применению математики? А логика необходимо должна присутствовать в каждой науке.

Идеал Любищева — «в области биологической систематики создать нечто вроде обобщенной кристаллографии» (18.9.1944). В этой формуле, как и в других высказываниях Любищева, не находит отражения специфичность живого, т. е. именно то, что должно бы быть основной отправной точкой любой биологической теории. Здесь Любищев опять смыкается с школой «фенетической систематики», для которой как раз и характерно игнорирование различий между живым и неживым. (Особенно четкое и развернутое изложение взглядов этой школы дали Дж. Джилмур и С. Уолтерс¹. Философские позиции школы — в основном позитивистского толка, хотя Э. Майр использует более деликатное обозначение — «номинализм».)

В отличие от Любищева, отправные точки Кузина находятся «внутри» систематики. Кузин не сомневается, что систематика — наука, и не считает ее положение таким плачевным, как его изображает Любищев. Кузин не видит чего-либо революционизирующего во внедрении биометрических методов, хотя и не отрицает их полезности для многих частных случа-

ев. К претензиям «точной» систематики Кузин относится с иронией, и вычисление «таксономических расстояний» без обиняков называет задачей «вполне химерической», подчеркивая, что «ценность таксономического признака не может быть сведена к количественному выражению» (27.5.1944).

Если Любищев считал, что внедрение измерений и вычислений позволит очистить систематику от «болтовни и шарлатанства», то Кузин, наоборот, думал, что это засорит науку работами, которые делаются «без участия мозгового аппарата». И сейчас, 40 лет спустя, обе противоположные точки зрения находят своих сторонников. На мой взгляд (я смотрю «изнутри»), колоссальный наплыв работ по «числовой систематике», имевший место за эти 40 лет, подтверждает скорее прогноз Кузина, нежели Любищева. Решения каких-либо крупных проблем систематики «числовые» методы не принесли, «обещанной воды из камня» (Кузин, 24.11.1949) не выскли.

Не будучи одержим идеей что-то навязать систематике, что-то в ней радикально перевернуть, а спокойно о ней размышляя, Кузин делает некоторые очень тонкие и верные наблюдения. Так, он очень образно обрисовывает контраст между увлекательностью работы систематика и скукой печатного оформления результатов этой работы. Справедливо отмечает, что для принятия правильного таксономического решения систематик должен очень хорошо знать изучаемую группу, должен в нее основательно «всмотреться». Но что вполне ясно исследователю «всмотревшемуся», то бывает трудно доказать человеку, с данной группой не знакомому, и особенно тому, кто вообще не имеет опыта работы в систематике. Эта ситуация и служит поводом упрекать систематиков в «субъективизме» и ратовать за «объективные» числовые методы.

Кузин защищает систематику, сравнивая его суждения с суждениями о произведениях искусства. Конечно, сравнение живых существ с произведениями искусства более оправдан-

¹ Gilmour J. S. L., Walters S. M. Philosophy and classification.— In: *Vistas in Botany*, v. 4. L., 1963, p. 1.

² Майр Э. Принципы зоологической систематики. Пер. с англ. М., 1971, с. 454.

но и более содержательно, нежели те сравнения с кристаллами или с коническими сечениями, к которым прибегает Любичев, но все же аргументация Кузина (и, похоже, он сам это чувствовал) не имеет решающей убедительности. Между тем дело элементарно просто: таксономическое суждение по своей природе — суждение синтетическое³. А числовые методы имеют аналитический, чисто дедуктивный характер. Поэтому, сколь бы несовершенным и не-

точным ни казалось синтетическое суждение систематика, замена его суждением аналитическим есть не решение проблемы, а принципиально методическая ошибка. Разумеется, это не значит, что количественные методы вовсе неинтересны для систематика. Несомненно, они могут быть интересны и полезны — но только в роли вспомогательной, а не главной. И в этом отношении систематика

очень отличается, например, от экологии, в которой при разработке некоторых важных разделов количественные методы действительно играют центральную, решающую роль.

Вопросы, обсуждавшиеся в переписке Кузина и Любичева, — это, так сказать, «вечные» вопросы биологической систематики (да в известной мере и всей биологии). Поэтому, высказав в настоящем кратком комментарии свои собственные взгляды и оценки, я отнюдь не претендую на подведение какой-то черты, завершающей дискуссию. Наоборот, я уверен, что дискуссия продолжится и в будущем.

³ Сворцов А. К. Хемосистематика и основные понятия систематики. — В кн.:

Биохимические аспекты филогении высших растений. М., 1981, с. 12; Он же. Логическое и внелогическое в познании истины. — Природа, 1982, № 3, с. 123.

Из переписки Б. С. Кузина и А. А. Любичева [1943—1950]*

Б. С. Кузин — А. А. Любичеву

22.9.1943

Все эти годы я много размышлял о свойствах системы. Чтобы их понять, очень важно было определить природу типа, центрального понятия систематики. У меня о нем сложилась некоторая концепция. Это понятие очень родственно понятию стиля в искусстве. С Е. С. Смирновым¹ мы не можем прийти к полному единству взглядов. Он все хочет пощупать там руками. А это, по-моему, принципиально невозможно. Систематический тип только манифестируется, и он не только не может проявляться в отдельных представлениях группы с большей или меньшей полнотой, но и не поддается вообще наглядному изображению.

Мне кажется, что Е. С. в основе морфолог, а не систематик. И его сбивает с толку морфологическое представление о типе. Оно совсем отлично от систематического. Центральным понятием морфологии мне представляется план строения. Его можно было бы назвать прототипом. Очень близкое к моему пониманию типа я нашел у Тrolля. Его тип несомненно систематический. Но пользуется этим понятием он в морфологическом исследовании.

А. А. Любичев — Б. С. Кузину

26.11.1943

...О введении понятия стиль (в эстетическом смысле) в биологию я давно думаю. Еще будучи в Симферополе в 1919—21 годах, я делал два доклада: «Об эстетическом подходе к решению биологических проблем» и «О стиле в биологии». Понятие стиля я думаю провести в ряде случаев:

*Печатается с сокращениями по архивным материалам А. А. Любичева, хранящимся в Ленинградском отделении Архива АН СССР, ф. 1033, оп. 3. Порядок писем определен логикой диалога.

¹ Евгений Сергеевич Смирнов (1898—1977) — известный советский ученый, энтомолог, занимался также общими вопросами биологии.

1) например, в окраске насекомых: как в истории живописи и, в частности, в одежде переходят от любви к грубоконтрастным тонам к таким картинам, где палитра, по существу, очень бедна, но несмотря на это достигается большая выразительность, так и у насекомых есть группы с яркими красками и есть группы в стиле Рембрандта; 2) стиль морфологический, когда определенное «изобретение» в той или иной части животного переносится на совсем не гомологические части; 3) стиль биогеографический... Я мечтаю написать когда-нибудь книгу «Ландшафтная биогеография» и подбираю материал отовсюду. То, что Вы пишете о типе, остается мне совершенно непонятным: что это значит «систематический тип только манифестируется... и не поддается наглядному изображению»? Я считаю, что иду по стопам Галилея: измеряй все, что можно измерить, и делай все неизмеримое измеримым. «Принципиально неизмеримое» я решительно отвергаю.

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

14.12.1943

Вопрос стиля и систематики я понимаю несколько шире, чем Вы. Мне кажется, что центральное понятие систематики — тип — подобно понятию стиля в искусстве. Там стиль так же проявляется в ряде произведений определенной эпохи или определенного мастера, как тип проявляется во всякой естественной группе организмов. Стиль, как и тип, очень явственно ощущается, но столь же трудно поддается сколько-нибудь точному словесному описанию или наглядному изображению.

Измерять все, что можно измерить, — задача почетная. Но измеряемое не всегда можно сделать измеримым. И мне кажется, что самые существенные вопросы биологии ни в коей мере не могут быть разрешены путем измерения. И меня это не огорчает. Измерение совершенно необходимо для придания найденной истине объективного характера. Но я не меньше ценю и субъективные истины, познаваемые непосредственно путем созерцания. Но такое мое отношение к субъективным истинам вытекает из моего взгляда на цели познания. Ценность его, по-моему, не столько просветительная (для широких масс), сколько она состоит в совершенствовании духа познающего.

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

22.12.1943

Хочу поделиться с Вами мыслями, возникшими у меня при чтении Вашей «Программы общей систематики».

Первое, что я хочу Вам сказать, это то, что я не считаю положение систематики как науки таким уж плачевным, каким оно представляется Вам. Верно, большинство систематиков имеет или превратное представление о значении своей науки и ее задачах и методах или совсем не имеет об этих предметах полностью никакого представления, а занимается только определением уже известных форм и описанием новых. Но это ведь и совершенно неважно, что думает систематик-средняк. Будем ему благодарны не за то, что он думает, а за то, что он делает. А продельывает он довольно кропотливую и скучную, но необходимую работу по инвентаризации форм и по предварительной их классификации. И иногда и то и другое удается ему прекрасно, несмотря на самые чудовищные его общие установки...

Согласен с Вами, что различие некоторых видов связано с большими трудностями. Согласен также, что методика различения очень близких форм мало разработана. Но, во-первых, подавляющее большинство видов хорошо отличается друг от друга и нет никакой надобности изучать общие законы систематики на особо трудных группах. Во-вторых, я сомневаюсь в том, что можно найти какие-либо универсальные способы различения близких видов. Мне кажется, что вся трудность этого дела заключается только в нахождении достаточно стойких признаков. И только до тех пор, пока мы не откопали таких признаков, мы имеем горькую необходимость прибегать к биометрическим методам, громоздкость которых (по крайней мере, меня) приводит в уныние. Я глубоко уверен, что хорошие отличительные признаки между всеми группами и видами можно найти. Их только нужно искать. Иногда долго и упорно...

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

8.1.1944

Нужно ли быть очень благодарным систематикам за их «кропотливую, скучную» работу? Ни в коей мере: Вы отлично

знаете, что занятие систематикой — не скука, а наслаждение чисто эстетическое. Там же, где требовалась кропотливая и скучная работа (настоящее описание, а не глупейшая размазня, которая под видом описаний фигурирует в сводках), они в подавляющем большинстве от нее уклонялись и привели к тому, что в сколько-нибудь серьезной и трудной группе каждый специалист является единственным хозяином и разобраться в ней нельзя по описаниям, а только имея огромный сравнительный материал.

Теперь в отношении применения биометрии к систематике: она им кажется слишком громоздкой... Но вот Вам сравнение: систематики долго и безуспешно искали различия между личинками двух майских жуков; я поработал около 200 часов и получил номограммы, при помощи которых во всех случаях можно различить виды по одному экземпляру. То же и с блошками рода Хальтика...

Систематика в общем все же сильно отстала даже по сравнению с другими областями биологии, а если принять в соображение огромный терминологический и синонимический мусор, тщательно охраняемый с болезненной чувствительностью к нарушению приоритета и преклонением перед типами — картина неприглядная.

Вообще спор о роли «измерения» между нами основан на недоразумении. Я тоже считаю, что цель познания заключается в «усовершенствовании духа познающего», но так как человек склонен ошибаться, то он и должен всегда сам себя проверять, и без такой непрерывной проверки путем измерения он не сможет разрешить ту основную, поставленную им перед собой, задачу. Здесь легко впасть в ошибку, придав своим субъективным склонностям объективную значимость. Существеннейшие вопросы не только биологии, но и вообще всякой науки, могут быть разрешены только комбинацией интуиции, созерцания и измерения или строго логического мышления. Иначе получается не наука. В случае одного созерцания — чисто поэтическая (в лучшем случае), а не научная теория; в случае одного измерения — накопление научного мусора, навозной кучи, в которой только случайно может оказаться жемчужное зерно.

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

8.1.1944

...Для всякого рассуждения о форме и системе совершенно необходимо разрешить (для себя) вопрос — есть ли органическая форма результат процесса необходимо predeterminedного (материалом, функцией, средой и т. д.) или процесса творческого, т. е. в известной мере свободного от всякой необходимости, как свободного фантазия художника? Разрешение этого вопроса очень важно в том отношении, что тот или иной ответ на него определяет границы объективного познания формы, а следовательно, и самое содержание морфологии и систематики. Этот вопрос не разрешим в той же мере, как не разрешим вопрос о свободе воли. Но всякий может принять для себя то решение, какое ему больше приходится по вкусу. Я считаю процесс образования органических форм творческим (но, конечно, в известной части и необходимо predeterminedным).

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

10.2.1944

Ваши письма доставляют мне огромное удовольствие хотя бы потому, что служат иллюстрацией изречения Оскара Уайльда: «Когда со мной сразу соглашаются, я чувствую, что я неправ». Если то, что мне кажется ясным, оказывается не ясным даже моим ближайшим если не единомышленникам, то сходно-мысленникам, то очевидно, я неладно изложил. Многое из Ваших возражений против моей критики иерархической системы основано на недоразумении: я, конечно, не смешиваю дихотомию с иерархией...

Я определяю естественную систему как такую, где максимальное количество свойств элементов системы определяется положением в системе. Значит, естественная система не допускает субъективного решения, а только объективные, но возможно, что этих решений не одно, а несколько... В своих исканиях того порядка, в котором природа расположила органические формы, я не стесняю себя прокрустовым ложем иерархической системы (отнюдь не отрицая того, что в известных частях си-

стемы иерархический подход может быть вполне рациональным), а свободно ищущую форму системы.

Примером неиерархической системы я привел систему Менделеева, хотя и ее можно, так сказать (что и делалось до Менделеева) иерархизировать; вся штука в том, что ее нельзя иерархизировать до конца. И иерархическая система отнюдь не объединяет в гармоническую систему то количество свойств элементов, которое дает периодическая система: только на базе периодической системы можно было сделать предсказания, что никто и не пытался делать, пока система химических элементов была иерархической...

Ваше утверждение, что может быть только иерархическая система организмов, меня просто поражает. А, например, совокупность биотипов, образующих гибриды по закону Менделя: это же явно не иерархическая система, а при наличии независимости генов — чисто комбинативная. Ее никак нельзя выразить в форме иерархии, а только в виде пространственной решетки многих измерений. Это кажется яснее ясного. Ваш пример с мирозданием совершенно не убедителен. Вам кажется, что одна звезда не может быть отнесена к разным созвездиям. Но ведь созвездия — превосходный пример проекции реального мира на нашу зрительную сферу, и наблюдателю, находящемуся где-нибудь за пределами Галактики, распределение звезд будет казаться совсем иным. Следовательно, если мы хотим получить не нашу субъективную систему мироздания, а строго объективную, то нам, узнав точно все расстояния звезд, придется их группировать по конгрегациям в пространстве, если такие есть. А, может быть, таких конгрегаций нет, и нам придется их группировать просто по трем пространственным координатам. Но весьма возможно, что и эта система будет не естественной. Насколько мне помнится ...во Вселенной имеются звездные потоки с противоположными направлениями движения. Тогда, значит, беря Вселенную в динамике, нам придется не придавать большого значения актуальному расположению звезд, а группировать их по потокам. И, наконец, может быть другая группировка: не по их положению и не по включению в тот или иной поток, а по возрасту и т. д. Если мы примем эти три признака независимыми, то вот Вам уже трехмерная комбинативная система звезд. Охотно допускаю, что и во Вселенной найдутся такие естественные элементы, которые сохраняются в любой естественной системе, и что в

идеальной естественной системе будет сильный иерархический элемент: только утверждаю, что это не доказательство и что постулат об иерархической структуре всякой естественной системы, по крайней мере, не доказан, а для многих систем, вероятно, и не верен...

В отношении того, есть ли органическая форма результат процесса, необходимо предопределенного или в какой-то мере творческого, т. е. свободного от всякой необходимости, как фантазия художника: считаю зволюцию вообще процессом творческим, и, вместе с тем, вместе с А. К. Толстым считаю, что «тщетно, художник, ты мнишь, что творений своих ты создатель...» Ведь Вы, кажется, тоже склонны к платонизму. Истинное творчество вообще не в том, что оно абсолютно свободно, а в том, что оно свободно от материальной необходимости... Умение преодолеть материальную необходимость и подняться в сферу идейной необходимости и есть истинное творчество, истинная свобода...

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

12.1.1944

...Конгрегации, т. е. естественные группы всех порядков строго отграничены одна от другой... Меня с самых первых шагов поражала четкость и отграниченность систематических групп. Думаю, что в этом факте заключается решительный довод против филогенетической систематики. Если бы система была отражением генезиса форм, то она изобиловала бы переходными формами и группами...

Второе важнейшее свойство конгрегаций состоит в том, что их компоненты одинаковой таксономической ценности равно удалены один от другого...

В моем ...представлении компоненты конгрегации располагаются как бы на периферии многомерной сферы, в центре которой помещается тип группы, не осуществленный ни в одном из реальных ее представителей. Я не настаиваю на том, что расстояния между всеми членами конгрегации идеально одинаковы. Но я думаю, что этот вопрос никогда не будет разрешен с математической точностью. Для меня ясно только одно, что компоненты конгрегаций не могут быть размещены ни на отрезке прямой, ни на плоской схеме, ни на трехмерной модели.

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

16.2.1944

...Вы утверждаете, что компоненты одинаковой таксономической ценности одинаково удалены один от другого. Какое многообразие Вы имеете при этом в виду: мыслимое, осуществленное, т. е. с включением всех вышерших организмов, или же актуально существующее? Так как Вы аргументируете актуальной, а не потенциальной систематикой, то, по-видимому, имеете в виду третье понимание многообразия, но это означает, что Вы утверждаете абсолютное отсутствие селективности при вымирании организмов. Я думаю, в пользу неравномерного распределения элементов в пределах конгрегации говорит интересный эмпирический закон Виллиса, не имеющий пока никакого объяснения: именно, что распределение видов в родах одной естественной группы резко асимметрично и максимум обычно касается мономорфных видов...

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

15.1.1944

После рассмотрения свойств конгрегаций мы вплотную подходим к центральному понятию систематики — понятию типа. Совершенно естественно встает вопрос: вокруг чего же сгруппированы конгрегации? В центре помещается тип. Определить это понятие не так просто. Для удобства я начну с отрицательных определений.

Систематическим типом не может быть та схема обобщенного предка, какой пользуются сравнительные анатомы. Эта схема скорее может быть названа планом строения. А план строения, как я считаю, есть такое же центральное понятие морфологии, как тип в систематике. Любая организация в пределах данной группы может быть сведена к схематическому плану строения, но она не выводится из него с логической необходимостью. «Предок» не включает в себе *ipriscite* признаков всех компонентов группы. Для систематики это понятие лишено ценности...

...Тип обязательно должен в какой-то форме включить в себя признаки всех компонентов. Совершенно ясно, что такой тип не может существовать в природе и что он не может быть сконструирован или нагляд-

но описан нами. В то же время он есть самая настоящая реальность, самое подлинное ядро конгрегации, которым только и обусловлено его существование.

Тип есть чистая идея многообразия форм, составляющих систематическую группу. Никакая идея не может быть адекватно воплощена в каком-либо материальном предмете. Но она манифестируется через его форму. Так и тип систематически манифестируется через форму проявления данного органического многообразия.

Что же следует понимать под формой проявления многообразия в группе организмов? Характер направлений и амплитуду изменчивости всех их признаков.

Знакомясь с многочисленными представителями какого-либо рода, мы узнаем, какие признаки у них варьируют, в каком направлении и в каких пределах. В результате этого ознакомления у нас и складывается представление о типе рода.

У хорошего систематика это представление очень отчетливое. Руководствуясь им, он смело включает вновь открытую форму в данный род или, наоборот, выделяет из его состава формы, которые не подчиняются законам варьирования признаков, характерным для этого рода, и которые, таким образом, являются чуждыми его типу, не укладываются в его поле. Но этот систематик, конечно, никак не сможет нарисовать или описать тип, хотя он является для него настоящей реальностью, независимо от того, осознает он это или нет. И это свое представление о типе, это чутье типа он не сможет передать никакому другому человеку. Он может только облегчить ему постижение типа путем правильной обрисовки границ рода, разбивки его на подчиненные группы и составления хороших описаний. Но всякий его преемник, желающий постичь тип этого рода, обязательно должен сам просмотреть все его виды. И не просто просмотреть, но углубленно взглянуться в каждый из них, многократно сличить и сравнить их между собой.

В этом и есть характерная особенность систематики. Она наука прежде всего наглядная (как и морфология). Ее истины постигаются не путем доказательств и логических выводов из наблюдаемых и понятных с первого взгляда фактов, но посредством углубленного созерцания. Поэтому они и носят в значительной мере субъективный характер. Это не значит, что они не достоверны. Но они воспринимаются

только одним лицом и не могут быть с должной убедительностью показаны другому.

Тут имеется полная аналогия с восприятием произведений искусства. Допустим, вы тонкий знаток живописи и пленены какой-то картиной. Вы можете прекрасно передать словами сюжет этой картины, изложить ее композиционный принцип, описать гармонию красок и светотеней. Но ваш слушатель ни за что не составит из вашего описания сколько-нибудь полного представления о ней и не пленится ею заочно. Он обязательно должен видеть ее сам...

Любая работа по физиологии, генетике, экологии, механике развития может быть прочитана с большим или меньшим интересом. А систематическую монографию не сможет прочитать с начала до конца даже тот, кто сам занимается систематикой данной группы, как никакая завхоз или энтузиаст бухгалтерии не прочтает с интересом инвентарную книгу...

Истинная цель всякого занятия систематикой заключается лишь в постижении типа группы. Представление о типе, возникающее в результате этих занятий, не может быть сообщено другому. Следовательно, оно не имеет характера объективного познания. Но тем не менее, оно является настоящим познанием и обладает не меньшей достоверностью, чем любое другое. А раз так, то оно содействует совершенствованию духа познающего, в чем и заключается, на мой взгляд, единственная достойная цель научного занятия.

Боюсь, что Вы начнете тут махать руками и плеваться на всю эту ересь. Лучше было бы обо всем этом с Вами поговорить, чем писать в письме. Но я, вероятно, напишу Вам еще одно или два подобных письма и отпущу Вашу душу на покаяние.

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

22.3.1944

Ваше последнее письмо, как и прочие, доставило мне огромное удовольствие, и конец его, где Вы думаете, что я буду махать руками и плеваться на Вашу ересь, показывает только, как плохо Вы меня знаете и насколько полезнее переписка словесного разговора. Ведь мы с Вами видались

много раз и никогда не вели разговоров на эту тему, а сейчас, когда мы переписываемся, мы узнаем друг друга гораздо лучше и глубже, чем без предварительной переписки.

Теперь перейду к разбору Вашего понятия систематического типа. Я с Вами согласен, что типом не может быть ни предок, ни общая схема, ни «средняя форма», что он не может существовать в природе и что он не может быть сконструирован или наглядно описан нами. Согласен и с тем, что тип есть чистая идея многообразия форм, манифестирующаяся через форму проявления данного органического многообразия, что он познается путем углубленного созерцания, что несмотря на субъективный характер он имеет значительную достоверность, что такая идея не может быть с должной убедительностью передана другому и что здесь имеется полная аналогия с восприятием произведений искусства и что невозможность передать это другому и объясняет противоречие между истинным наслаждением, доставляемым занятием систематикой, и невозможностью читать подряд систематические сводки. Согласен с Вами и в том, что истинное значение систематического созерцания, как и всякого углубленного созерцания, заключается в совершенствовании духа познающего. Вас, вероятно, немало удивит, что я, вместо ожидаемого Вами отмахивания и отплевывания, как будто капитулировал безоговорочно по всем существенным пунктам Вашего письма. Но это только кажется. Фактически ко всем моим согласиям я должен прибавить следующую оговорку: «При настоящем состоянии систематики». Я считаю своей задачей (основной задачей моей жизни — общей систематики) именно подвинуть систематику в направлении от искусства к науке и в само искусство внести научную струю, «алгеброй поверить гармонию». Это, конечно, не новость: издавна в этом отношении было сделано немало блестящих попыток: Пифагор, Платон, Леонардо да Винчи и др. Это, по-моему, и есть подлинный платонизм: сам Платон был изумительный художник и в то же время: «да не вступает сюда никто, не знакомый с геометрией». Такой же диапазон у великого Леонардо. Вы же стоите на консервативной точке зрения, на которой стояли Кант и др. Кто-то сказал, что выражение «о вкусах не спорят» вовсе не означает, что вкусы одинаково совершенны и субъективны (иначе нельзя было бы употреблять выражение «безвкусный»), но что вкус имеет определенную

обязательность, только эту обязательность невозможно рационально обосновать. Вы, как и многие, видимо, в этом видите существенное различие между искусством и наукой, хотя как раз в этой области различие вовсе не существенно. И в точных науках, даже царице наук — математике (вернее, там особенно сильно) углубленное созерцание играет огромную роль, и там и сейчас многие положения остаются возникшими каким-то неизвестным путем в голове ученого и не могут быть доказаны дедуктивно... Этим, между прочим, объясняется курьезный факт, на который я натолкнулся сам при чтении математических сочинений и который я раньше объяснял своим математическим дилетантизмом, пока не узнал от специалистов-математиков, что и для них это правило справедливо: именно самыми трудными местами обычно бывают те, где автор пишет: «нетрудно видеть», «легко показать» и т. п. Этот курьез, очевидно, объясняется тем, что человек, проникший вглубь данного предмета, уже настолько легко охватывает чистым созерцанием определенные теоремы, что они для него очевидны, и он просто не трудится над доказательствами, а для людей, не возвысившихся до этого уровня, приходится проделывать большую дедуктивную работу. Но история точных наук вместе с тем показывает, что даже величайшие умы иногда погрешали, руководствуясь «чистым созерцанием», и прогресс точных наук состоял именно в том, что на место созерцания ставилась дедукция или индукция. Я лично собираю многие такие факты и надеюсь, если смерть не положит конца моей пока довольно бесплодной возне, свести их в форме сочинения «Эмпирическая гносеология как основа философии пробабиллизма». Проверка алгебры гармонии нужна поэтому даже для величайших умов, но она особенно нужна для очищения атмосферы науки от болтовни и шарлатанства...

Тип систематической группы есть, по моему, общая формула того многообразия чистых форм (в смысле Скиапарелли), которые и составляют любую таксономическую единицу. Как все формы конических сечений могут быть объята одной формулой, которую, конечно, нельзя наглядно представить, так то же самое мы имеем и в систематике. И когда будет достигнуто это, вернее, когда удастся наладить путь, по которому можно будет идти к этой бесконечно удаленной цели, тогда исчезнет то противоречие, которое сейчас наблюдается между высоким наслаждением занятиями систематикой и сухостью система-

тических описаний. Красота и наслаждение останутся: и то, и другое есть и в математике, но это оточнение систематики будет вернейшим средством для изгнания тех бракоделов, шарлатанов, болтунов и просто невежд, которыми кишит современная биология вообще и систематика в частности...

Б. С. Кузин — А. А. Любицеву

18.1.1944

... Вы считаете нашу современную систематику и ее методы несовершенными и полагаете, что после устранения недостатков в описаниях, после установления относительной ценности систематических признаков, после выработки объективных методов оценки систематической близости форм и т. д. настанет счастливая эра новой систематики, т. е. логически строгой и рациональной. Тогда, очевидно, не придется для определения видов прибегать обязательно к помощи крупных специалистов, и дело это можно будет поручить хорошо вышколенным лаборантам, которые, произведя несколько измерений, сразу укажут вам номер вида по каталогу или, если вид окажется новым, скажут, к какому роду его отнести и на каком расстоянии поставить от ранее известных видов. Конечно, это гипербола, но ведь всякий идеал гиперболичен.

Говоря серьезно, я сомневаюсь, чтобы систематика могла быть когда-либо таким коренным образом рационализирована. И я даже склонен считать ее положительной стороной, что занятия ею не общедоступны. Это отталкивает от нее любителей механической научной работы, каких теперь много подвизается в генетике и физиологии, где Морган и Павлов указали пути изготовления приличных научных работ без участия мозгового аппарата.

Существенный прогресс в систематике кажется мне возможным только в части более добросовестного составления определительных таблиц и описаний видов. Первое ясно само собой, над методикой составления описаний нужно еще поработать. Разбивка же конгрегаций на подчиненные группы и определение положения последних в общей системе неразрывно связано с отнесением их к типу. Путь уловления типа один — углубленное созерцание. Тут никаких рецептов не преподне-

сечь. Но способностью к постижению типа и к получению наслаждения от этого занятия обладают не все люди, точно так же, как не все могут играть на музыкальных инструментах и наслаждаться музыкой.

А. А. Любицев — Б. С. Кузину

18.2.1944

Систематика пока не наука, а иногда только интуиция, а большей частью ремесленная работа, подобная ремесленной работе большинства ученых вообще. Вам кажется, что занятия систематикой не общедоступны, и Вы боитесь, что если будут разработаны стандартные методы работы, то туда хлынут «непризванные», которые нарушат Ваше наслаждение созерцанием. Но разве Вы слепы, Борис Сергеевич! Разве Вы не видите, что и сейчас, при отсутствии рациональной систематики, имеется много систематиков, которые, не обладая достоинством хороших ремесленников, не обладают и достоинствами хороших созерцателей. Рационализация систематики, как рационализация любой науки, не изгоняет интуиции, созерцания и продвижения вперед — помните слова Бэра о вечности и неисчерпаемости всякой подлинной науки; но предъявляя большие требования к чисто ремесленной стороне дела, она не пускает туда сброд, которым кишмя кишит всякая неточная наука...

Б. С. Кузин — А. А. Любицеву

27.5.1944

...Конечно, я не против биометрии как орудия искания. В этом деле она может оказать незаменимую услугу систематике. И действительно оказывает. Но мне кажется, что этим ее роль и должна ограничиться. Я решительно против биометризации систематики. Под этим я понимаю вот что: некоторые люди думают, что путем измерения различных признаков, вычисления корреляций между ними и тому подобных действий им удастся найти «расстояния» между

отдельными компонентами системы и выявить ее форму. Другими словами, найти точное место каждого вида внутри рода, рода внутри семейства и т. д.

Вот эту задачу я и считаю вполне химерической. Конечно, можно измерить длину разных предметов одной категории, расположить их по росту на прямой. Взяв второе измерение, можно разместить их на плоскости. Увеличивая число признаков, можно получить и очень многомерные схемы. Но какова будет их ценность? Мне она представляется очень сомнительной. Соотношения между компонентами органической системы выражаются вовсе не расстояниями. Ценность таксономического признака не может быть сведена к количественному выражению.

В органической форме и в системе этих форм слишком большой удельный вес имеет элемент прекрасного, эстетического начала, которое не может быть воспринято и познано дискурсивно.

Вы пишете: «Для суждения о форме системы полезно размышление над различными видами рациональных систем». И перечисляете их: система математических кривых, система неевклидовых геометрий и т. д. А я считаю, что, быть может, гораздо плодотворней для систематика могло бы оказаться размышление над такими «системами», как фуги Баха, портреты Веласкеса, французские готические соборы, «Подражания корану» или «Песни западных славян» Пушкина. Я говорю «плодотворней» потому, что форма животных и растений по своему существу гораздо ближе к элементам перечисленных мною систем, чем к формам кривых, кристаллов, органических соединений и т. д...

...Для целей диагностики, быть может, и не бесполезно знать, например, что Пушкин употреблял букву «а» во столько-то раз чаще, чем Лермонтов, который, в свою очередь, налегает больше на «у»; что Бах не скупился на мелизмы, обязательно заканчивает фуги органичным ходом и всегда мажорной каденцией; что фигуры полотна Греко вытянуты в длину, а у Веронезе все вертикали слегка наклонны. Но все эти признаки ничтожно мало определительны в сравнении с огромным содержанием искусства названных авторов.

И можно ли видеть новую эру в подходе к оценке и восприятию прекрасного в этих подсчетах гласных и измерении углов наклона вертикалей? А Вы ожидаете обновления систематики именно через точное измерение признаков и точное (выраженное в каких-то определенных единицах)

определение места компонентов системы. По-видимому, именно в этом смысле Вы говорите о новой систематике.

Но я, конечно, ничего не могу возразить против того, что характеристики, основанные на ошибках глазомерного определения, никуда не годятся и что их необходимо заменить более точными. Для меня также ясно, что без биометрии не обойтись, когда требуется разграничить формы, отличающиеся друг от друга колеблющимися и трансгрессирующими признаками. Но на мой взгляд, все же лучше одному человеку потратить много времени на отыскание стойких отличительных признаков, чем предлагать всем последующим систематикам производить несколько измерений на каждом экземпляре данного вида. И тут дело не в том, что это в конечном счете дает экономию времени, а в том, что стойкий признак лучше позволит оценить взаимоотношения данного рода с прочими. Все эти численные характеристики мало наглядны. А наглядность — основа систематики и морфологии.

Я могу следующим образом резюмировать свою точку зрения. Все стороны органической формы и системы форм, доступные постижению через число, должны быть познаны этим путем. Из систематики и морфологии нужно изгнать все ошибки и погрешности, основанные на ошибках наших органов чувств, на их несовершенстве. Нельзя пренебрегать никакими методами различения близких форм.

После всей этой необходимой рационализации уже можно приступить к настоящей оценке системы, в которой измерение вряд ли даст что-либо существенное. В каждом искусстве есть некоторая доля ремесла. Не овладев ремесленными приемами, нельзя заниматься творческой работой. Но на одном ремесле тоже далеко не уедешь, и доля ремесла в создании, например, «Страстей» Баха исчезающе мала в сравнении с гигантским художественным смыслом этого произведения.

Мне кажется, что все предлагаемые Вами реформы систематики относятся только к ее ремесленной части. Конечно, эта часть очень и очень хромает. Ее необходимо подтянуть. А все-таки вряд ли это приведет нас к какой-то новой систематике.

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

18.9.1944

...Охотно допускаю, что в области систематики я не поднимаюсь выше опереточного уровня, но это все-таки музыка, а не простая какофония, которую испускает большинство систематиков. А если Вы сможете написать оперу в систематике, то я буду Вас приветствовать. Но боюсь, что если брать такой крутой раскат, то ничего дальше благих пожеланий не выйдет. В науке приходится двигаться последовательными этапами: правильно говорят, что если бы у Кеплера были наблюдения современной точности, то он не открыл бы своих законов, так как планеты движутся не по эллипсам, а по эпициклоидам эллипса, при достаточно грубом подходе не отличимых от эллипса. Если мне удастся в области биологической систематики создать нечто вроде обобщенной кристаллографии и вместе с тем показать некоторые перспективы дальнейшего развития систематики и морфологии, то это будет для меня совершенно достаточно, а прогресс в науке, конечно, совершенно безграничен. Мне думается, в Ваших возражениях Вы все время сбиваетесь с научной позиции на позицию субъективного мечтания...

Теперь по поводу Вашего письма о моих соображениях относительно формы системы... Вы приводите две возможных формы: иерархическую и комбинативную, между тем у меня особый упор проводится на третью форму, коррелятивную, которая в некоторых частных случаях имеет сходство с комбинативной системой. Коррелятивная система отрицает независимость признаков, которая лежит в основе чисто комбинативной системы, и так как большинство признаков в организме зависимы, то ясно, что чисто комбинативная система просто невозможна. Но как в малых масштабах можно пользоваться плоской геометрией, так в пределах низших таксономических единиц можно пользоваться комбинативной системой. При высших таксономических единицах комбинативный принцип все более ослабевает. Возможность иерархии (и даже генетического подхода) в системе я вовсе не отрицаю, утверждаю только, что расположение элементов в иерархии еще не означает, что иерархический принцип является наиболее экономным...

Кроме того, у Вас не полная ясность относительно комбинативной системы... Вы считаете, что чисто комбинативной системой является такая, где ни одна из групп

данного подразделения не будет обладать специфическими признаками, а исключительно комбинацией признаков. Это вовсе не означает комбинативной системы. При совершенной комбинативной системе мы можем построить безупречную иерархию, где всегда подчиненные группы будут четко отличаться определенными признаками. Но суть дела в том, что все признаки равноценны и, следовательно, порядком положения признаков в иерархической лестнице совершенно произволен... Отличие элементов системы не по признакам, а по комбинациям признаков в целом может совмещаться и с иерархической, и коррелятивной структурой системы.

Б. С. Кузин — А. А. Любицеву

24.10.1944

Я не могу сказать, что я не люблю математику. Это было бы кощунственно в отношении человеческого разума, проявляющегося в математике наиболее блистательно. Но я считаю математику глубоко чуждой биологии. Они принципиально антагонистичны. Такой же точки зрения держится и Тролль. Это мнение у меня покамест больше всего базируется на интуиции. Поэтому я сейчас не стану его развивать и обосновывать. Нужно будет об этом хорошо подумать. Применение же математики в некоторых областях биологии не только допустимо, но положительно необходимо. Только результат его применения не стоит ни в какой пропорции с величиной математики как науки.

Я не сомневаюсь, что с помощью методов вариационной статистики можно различать виды, не различимые покамест более простым способом. Но много ли таких очень близких видов?

Я был бы целиком за математизацию систематики, если бы считал возможным каким-либо образом математически выразить сходственные отношения между компонентами групп (всеми компонентами, а не двумя-тремя, крайне сходными между собой). Но такая возможность кажется мне столь же мало вероятной, как возможность выразить в математических понятиях сходственные отношения между лирическими стихотворениями Пушкина, которые, кстати сказать, взятые все вместе, образуют

хорошо очерченную группу, вполне противоположную другим подобным и также естественным группам, каковы лирика Лермонтова, Тютчева, Мандельштама...

Верно, биология — не право, не музыка и не этика. Математика к ней больше применима, чем в этих областях. Но больше ли перспективы она здесь открывает? Можно ли сказать, что морфология и систематика становятся более «научны» от введения в них элементов математики? По-моему, нельзя, т. к. математика не задевает в них их самого существенного. Вариационная статистика так же относится к зоологии, как акустика к музыке. Кое-что она «объясняет», но факты и положения морфологии и систематики воспринимаются и осмысливаются нами не через нее, а через непосредственное созерцание. Так и музыку мы воспринимаем непосредственно, не нуждаясь для этого в вычислениях длин волн, силы звуков, длительности их звучания и т. д. Впрочем, Вы этого не отрицаете. Вы говорите только, что познанное в науке интуитивно должно быть после этого доказано дискурсивно.

Моя точка зрения отличается от Вашей, по-видимому, тем, что я и в науке не все считаю поддающимся дискурсивному доказательству. В частности, я думаю, что построив систему какой-либо группы, я не смогу никакими словами убедить постороннего человека в ее правильности, как это делают математики в отношении своих выводов и положений. В то же время у меня может быть самая полная уверенность в объективности моих систематических построений. И другой математик, ознакомившись сам с моей группой, также найдет их правильными. Но судить об этом он сможет только после собственного зрительного ознакомления с моими объектами, и при этом ознакомления не поверхностного.

В этом и состоит разница между физиологией и морфологией (систематикой) как науками. Там открытая истина может быть с полной убедительностью сообщена словами. Но систематик и морфолог работают, конечно, не только для себя. Построив систему или истолковав форму, они облегчают последующим работникам наблюдать те отношения, которые стали очевидны для них самих только после длительного и кропотливого изучения данных объектов. Впрочем, это обстоятельство лично для меня не так уж сильно повышает ценность занятий морфологией и систематикой. И я упоминаю о нем только на тот случай, если Вы

считаете необходимым внесение во всякое научное занятие альтруистического элемента...

А. А. Любищев — Б. С. Кузину

20.8.1950

Б. С. Кузин — А. А. Любищеву

24.11.1949

Вы пишете: «Основная систематическая проблема — несовершенство определительных таблиц и т. д.» Никак не могу с Вами согласиться. По-моему, это не только не основная, но даже вообще вряд ли проблема систематики. Я придираюсь к этой, вскользь брошенной Вами фразе потому, что я и прежде замечал, что Вы придаете слишком большое значение вопросам определения. Но ведь предмет систематики — естественная система организмов, а не их определение. Верно, определять животных и растения совершенно необходимо. Без этого не построишь никакой системы. И все же определение само по себе — только вспомогательный процесс. Определительные таблицы его очень облегчают. Но на худой конец можно обойтись и без них. Во всяком случае, между ними и естественной системой нет ничего общего...

Счеты — очень полезный инструмент для некоторых математических операций. Иногда костяшки их плохо скользят по проволочкам. И все же никак нельзя считать, что легкость скольжения костяшек — математическая проблема.

Систематике очень не везет. Занимается ею много народу. Но почти все систематики, по крайней мере, мои знакомые, не знают, чем они занимаются. Те из них, которые пообразованнее, думают, что они выясняют филогенетические отношения в своей группе или выявляют, какой компонент данной группы когда и откуда пришел. Такими рассуждениями они и заполняют «общие» части своих сводок и монографий. Статистики же, не мудрствуя лукаво, считают самым интересным своим занятием коллекционирование, монтировку, этикетировку и уж как высшую степень науки — определение видов и описание aberrаций. Об этом они и беседуют при встречах между собой. К счастью, наивные рассуждения тех и других не портят полезной части выполняемой ими работы, т. е. сбора материала и его классифицирования. Поэтому-то систематика и живет еще, а не погибла под тяжестью наслоившейся на ней ученой и спортивной шелухи...

Относительно моей фразы, что основная систематическая проблема заключается в несовершенстве определительных таблиц. Конечно, в общем виде это совершенно неправильно. Но я имел в виду практическую систематику, потому что если мы все откажемся от практических целей систематики, то этим самым затрудним и теоретическую работу. Ваше мнение, что между естественной системой и определительными таблицами нет ничего общего, справедливо в настоящий момент, но вряд ли целесообразно считать, что оно должно быть справедливо во все времена. Мне думается, что хорошая система должна быть построена так, что определительные таблицы должны помочь возможно быстрее эту систему постигнуть. Периодическая система Менделеева является естественной системой химических элементов, но к ней должны быть привязаны и методы определения элементов...

Можно ли говорить, что математика в биологии пока ничего не дала? Конечно, есть изречение высокопоставленного лица, что менделизм ничего общего с биологией не имеет, но всякий, кто знает и понимает литературу, не может не признать, что это является золотым фондом в биологии. Здесь биология достигла просто физической точности, и об этих достижениях с восторгом отзывается такой выдающийся физик, как Шредингер¹. Это пока еще не много, это захватывает очень узкую область биологии, но дает надежду на то, что на столь же точной основе можно будет всю биологию перестроить...

Трудность несомненно в том, что для решения многих биологических проблем требуется очень высокая математика, а многие математики в биологии питаются отбросами и не могут понять подлинные биологические проблемы... Поэтому вполне определенно можно сказать, что рассуждение Тролля и ему подобных о неприменимости математики в биологии есть брюзжание лиц, не знающих положения дел и не любящих математику. (<...>)

Публикация доктора физико-математических наук Р. Г. Баранцева

¹ Шредингер Э. Что такое жизнь? С точки зрения физика. М., 1972.

Самый большой водопад Алтая

Ю. С. Шевченко,
А. А. Прусевич,
С. Н. Руднев

Институт геологии и геофизики
СО АН СССР
Новосибирск

Группа туристов-водников из Новосибирска, пробирававшихся летом 1981 г. с рекогносцировочными целями по ущелью р. Чульчи, что впадает в р. Чулышман на Алтае, натолкнулась на огромный заросший лесом глыбовый завал, перегородивший от борта до борта ущелье и образующий в этом месте гигантскую ступень, с высоты которой низвергался каскадами, весь в грохоте и водной пыли, неведомый водопад. Ни в каких источниках сведений о нем обнаружено не было. В конце мая 1982 г. мы отправились к этому водопаду.

Для начала решено было выйти к истокам Чульчи, преодолев почти 250 км через Туву и часть Алтая. Дело в том, что, судя по картам и литературным данным, на протяжении этого пути мы должны были познакомиться с мощными проявлениями новейшей тектоники и отчетливо выраженными следами третичных и четвертичных оледенений Горного Алтая. В дальнейшем это помогло бы нам отработать одну из гипотез о возрасте и происхождении водопада, с которым мы заочно встретились на экране, при просмотре фильма, снятого туристами. Гипотез было три: водопад — результат тектонических проявлений в бассейне Чульчи, следствием подпруживания русла реки моренными отложениями или продуктами горного обвала. В то время мы еще не предполагали, что встретимся с уникальным случаем, когда водопад образуется в результате обвала, надстроившего нижний край конечной морены и перегородившего долину реки...

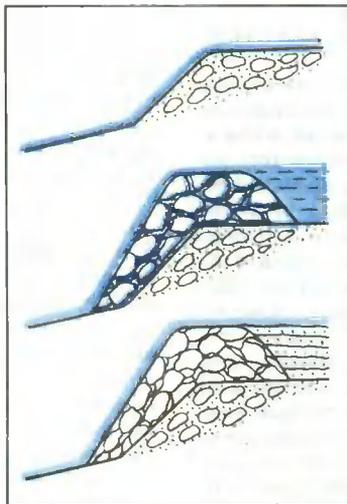
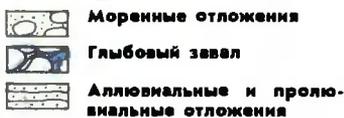


Схема развития продольного профиля русла р. Чульчи в районе водопада.



Местность, прилегающая к водопаду, имеет слабо расчлененный реликтовый среднегорный рельеф, характерной особенностью которого является большое распространение ледниковых и других аккумулятивных образований в долинах и на междуречьях. Эта выровненная поверхность носит следы мезозойско-третичной денудации. Средние отметки — 2500—2700 м выше уровня моря, в то время как отметка долины Чулышмана в устье Чульчи составляет чуть больше 500 м выше уровня моря. Здесь залегают древние протерозойские породы: толщи гнейсов, кристаллических сланцев и их разностей.

Севернее района водопада эти толщи прорваны гранитоидами нижнеордовикского интрузивного комплекса и дайками диорито-порфиров, диабазов, пегматитов, аплитов и мелкозернистых гранитов. По простиранию массивов интрузивного комплекса, даек, по ступенеобразным в плане изгибам русел рек, можно судить о трех главных направлениях древних глубинных разломов: широтном, северо-западном и северо-восточном. Кроме них на аэрофотоснимках заметны мелкие разломы и трещины. Большая часть этих нарушений подчиняется простиранию главных структур, меньшая имеет субмеридиональное направление. По всем признакам это — неотектонические нарушения.

Исследования на месте, анализ снимков и аэрофотоматериалов позволили отвергнуть взбросо-сбросовое происхождение водопадной ступени на Чульче и остановиться на следующей схеме. В результате неотектонических подвижек по одной из трещин по левому борту реки произошло смещение огромного блока пород, приведшее к обвалу и подпруживанию реки скальными обломками. В результате обвала образовалась мощная плотина объемом порядка 50 млн м³ и озеро длиной 8—10 км. Озеро впоследствии быстро наполнилось перетоленным реликтовым морен: супесью с грубообработанными и обработанными обломками пород, другими аллювиальными и пролювиальными отложениями. Это вполне вероятно, поскольку максимальный расход воды в Чульче (в районе устья) достигает 484 м³/сек при среднем расходе 15,6 м³/сек. В период нашего пребывания на водопаде расход воды составил около 150 м³/сек. В результате образовалась водопадная ступень высотой около 100 м, а продольный профиль русла реки приобрел ступенеобразный вид, причём само русло было смещено к



Водопад Непрístupный — крупнейший водопад на Алтае. Высота его падения составляет около 100 м.

правому борту. Судя по тому, что «плотина» в настоящее время заросла лиственничным лесом, возраст которого не меньше 40—50 лет, можно оценить время, когда произошел обвал: примерно 70—100 лет назад.

Здесь нужно отметить следующее: мы встретились если не с уникальным, то, по крайней мере, с редким явлением — с наложением обвала на край конечной мораны (это, в свою очередь, обусловило каскадный характер водопада). В пользу существования фронтальной конечной мораны в районе водопада свидетельствуют следующие факты: ниже водопада долина Чульчи имеет чисто

эрозионную V-образную форму, осложненную террасовидными уступами по правому берегу, и крутое падение. Причем до образования «плотины» русло реки пролегалo, как это наблюдается у большинства рек Алтая, по левому краю конечной мораны по контакту с коренными породами, в результате чего последние оказались подрезанными.

Какова дальнейшая судьба водопада? Сейчас правый склон реки в месте сужения долины, т. е. в районе водопада, осложнен оползневыми блоками. Верх борта рассечен тектоническими трещинами и мелкими разломами на множество блоков. Таким образом, вполне вероятно повторение того процесса, который 70—100 лет назад произошел на левом склоне долины; в таком случае высота ступени и водопада увеличится по меньшей мере на 30—50 м.

Но более вероятно, что река размывает плотину и водопад превратится в своеобразный крутой порог.

Нужно отметить, что подобные ступенчатые водопады являются примерами для наиболее рациональных гидротехнических сооружений, поскольку здесь нет заполнения водой огромного пространства земной поверхности, которое зачастую приносит большие убытки.

Многочисленные распросы специалистов и исследователей, а также сотрудников и егерей Алтайского государственного заповедника, поиски литературных данных, которые мы смогли провести, показывают, что, действительно, сведений об этом водопаде на Чульче нет. Таким образом, исследованный водопад является самым большим водопадом на Алтае. Мы предлагаем назвать его Непрístupный.

Концепция науки Бернардо Больцано

А. П. Огурцов



Александр Павлович Огурцов, кандидат философских наук, старший научный сотрудник Института истории естествознания и техники АН СССР. Занимается философией и методологией науки, науковедением. В соавторстве с Б. М. Кедровым написал книгу: *Марксистская концепция истории естествознания (XIX век)*. М., 1978. Неоднократно печатался в «Природе».

С именем Бернардо Больцано (1781—1848) связаны крупнейшие достижения в ряде областей математики и разработка ее фундаментальных понятий, положенных на рубеже XIX—XX вв. в основу теории множеств и теории функций действительного переменного. К сожалению, мало известно, что Больцано — выдающийся логик и теоретик науки, создатель концепции, оказавшей большое влияние на развитие логики и философии науки XX в. Эту концепцию высоко оценивали и математики, в частности Г. Кантор, Б. Рассел, и философы, например Э. Гуссерль, который подчеркивал, что наукоучение Больцано «оставляет далеко за собой все имеющиеся в мировой литературе систематические изложения логики»¹.

Кризис оснований математики, попытки перестроить математику на новых основаниях и принципах пробудили интерес к историческим формам философии математики. В этом — одна из причин появления интереса к трудам Больцано в начале XX в. и неослабевающего внимания к ним в наши дни. Кроме того, сейчас стало ясно, что построение логико-философской кон-

цепции науки возможно лишь при внимательном изучении не только истории науки, но и историографии науки, т. е. эволюции концепций научного знания, развивавшихся как специалистами в области логики и методологии науки, так и учеными различных специальностей².

ГЕНЕЗИС НАУКОУЧЕНИЯ БОЛЬЦАНО

Больцано начал свои исследования по теории науки с проблем обоснования математики. Они, в свою очередь, выросли из поисков доказательства постулата параллельных. Иными словами, его логико-философская концепция науки обобщает исследования в области оснований математики, прежде всего геометрии и арифметики. Уже в 1810 г. в работе «Соображения к обоснованному изложению математики» он проводит мысль, что анализ методов математики предполагает выход за ее пределы и обращение к логике. В это же время он делает первую попытку по-новому изложить логику, которая, по его мнению, должна радикально преобразовать все науки.

¹ Гуссерль Э. Логические исследования. Ч. I. Прологомены к чистой логике. СПб, 1909, с. 197.

² Bolzano B. Gesamtausgabe. Bd. 1—53. Stuttgart (выпуск издания начался в 1975 г.); Федоров Б. И. Логика Больцано. Л., 1979.

В 1815 г. в статье «Попытка объективного обоснования учения о трех измерениях пространства» Больцано четко формулирует исходную идею о том, что анализ постулата о параллельных связан с философским осмыслением фундаментальных понятий математики, что философско-логический анализ математического знания позволяет поднять математику на более высокую ступень совершенства, обосновать системность математического знания³.

В ходе работы над проблемами обоснования математики Больцано развивает свою трактовку логики, понимаемой им как наукоучение. В письме от 8 февраля 1834 г. к одному из своих учеников, М. И. Феслу, он замечает: «Я рассматриваю логику как наукоучение, как учение о том способе, каким следует расчлнить совокупную область человеческого знания на отдельные науки — науку о том, как они должны быть изложены»⁴. В это же время он заканчивает работу над своим главным логико-философским трудом — четырехтомным «Наукоучением», который выходит в Зульцбахе в 1837 г.

«Наукоучение» состоит из пяти частей, в каждой из которых последовательно обсуждаются определенные компоненты логической теории науки: учение об основах, где развертывается концепция истин-в-себе и его концепция познания; учение об элементах с трактовкой исходных единиц знания — представлений, истинных предложений и умозаключений, существующих сами по себе, независимо от познавательных актов; учение о познании, о возможности и условиях познаваемости истин-в-себе; эвристика, или искусство изобретения, излагающее правила исследования, имеющего целью открытие истины. Последняя часть целиком посвящена собственно наукоучению — учению о правилах разделения совокупной истины на отдельные науки и их изложению в научной литературе, прежде всего в учебниках. Не ставя перед собой задачи описания всех аспектов наукоучения Больцано, остановимся на важнейших сторонах его концепции, во многом предвосхитившей идеи современного науковедения.

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ НАУКОУЧЕНИЯ БОЛЬЦАНО

На первый взгляд концепция науки Больцано продолжает традиции того анализа структуры научного знания, которое развито в трудах И. Канта и И. Г. Фихте. Исходным пунктом этой традиции является идея системности истинного знания, из которого затем «выводится» множественность научных дисциплин и теорий. Решающая трудность этих концепций науки заключалась в переходе от трансцендентального субъекта, от всеобщего, гомогенного опыта, от априорного единства знания к факту многообразия систем знания. Хотя основная проблема Больцано — логико-философское обоснование единства теоретического знания — и совпадает с традицией трансцендентального идеализма, однако между ними существуют весьма существенные различия в трактовке как структуры научного знания, так и его генезиса.

Теории науки Канта и Фихте исследовали наряду со структурой научного знания генетико-конструктивные механизмы получения истинного знания (именно в этом состоит смысл кантовских идей о созерцании времени и пространства, об априорном синтезе, о продуктивном воображении). Больцано не приемлет этой позиции, считая ее психологизмом, внедрением в логику психологии знания. Это, казалось бы, сугубо философское различие находит выражение в трактовке специально научных проблем, в частности процедур введения объектов математики. Кант, как известно, считал, что фундаментальные понятия математики, например понятие числа, конструируются с помощью чистых, априорных форм созерцания — пространства и времени. Тем самым математика, по его мнению, не нуждается в доказательстве существования своих объектов. Больцано полемизирует с Кантом, критикует его разделение понятий на эмпирические и априорные, его обоснование математики с помощью процедур созерцания времени и пространства, подчеркивая, что математика имеет дело с понятиями и предложениями, которые должны быть поняты как истины сами по себе, в которые не входит никакое созерцание, что математика не может не обсуждать вопроса о существовании своих объектов.

В противоположность Канту и Фихте, Больцано отстаивает взгляд, согласно которому обоснование математики предполагает анализ существования идеальных объектов, таких как множество истин самих по себе, множество целых положительных

³ Bolzano B. Versuch einer objektiven Begründung der Lehre von den drei Dimensionen des Raumes.— Abhandlungen der Königlichen Böhmischen Gesellschaft, 5. Folge, Bd. 4. Praha, 1845; The Works of B. Bolzano. V. 5. Mémoires géométriques. Praha, 1948, p. 51—67.

⁴ Wissenschaft und Religion im Vormarx. Der Briefwechsel Bolzano mit M. J. Fesl. 1822—1848. B., 1965, S. 58.



Бернардо Больцано (1781—1848). С литографии И. Крихубера, сделанной в 1849 г. по портрету Г. Гольпейна 1839 г.; хранится в Архиве Австрийской национальной библиотеки.

чисел и др. При этом математика трактуется Больцано как наука о всеобщих законах (формах), которым должны следовать вещи в их существовании, как наука об априорных условиях возможности существования вещей.

Задача наукоучения, согласно Больцано, заключается в том, чтобы «научить нас тому, как излагать другие науки (т. е., собственно говоря, как составлять учебники)». Поэтому под наукоучением Больцано понимает «совокупность тех правил, которыми мы должны руководствоваться при разделении совокупной истины на отдельные науки и при изложении этих наук в особых учебниках»⁵. Концепция науки Больцано имеет два аспекта и две цели. Одна из них — теоретическая, другая — практическая. Первая имеет своим предметом анализ совокупной истины, единства истинного знания, его структуры и логики, выявление правил перехода от единой области истин-

ного знания к истинам отдельных наук, и наоборот. Вторая — направлена на улучшение искусства изложения и построения доказательств в учебниках.

В основе его концепции науки лежит подход, выявляющий объективно-идеальное, теоретическое единство истинного знания и с самого начала решительно противопоставленный психологизму. При этом подходе акцент делается на объективно мыслимом содержании истины, на содержании и структуре истин самих по себе, предложений и умозаключений самих по себе, независимо от реальных познавательных актов. Изучение актов познания, согласно Больцано, является предметом не логики, а психологии. Логика, отождествляемая им со всем наукоучением, должна осмыслить идеальное содержание истин, логическую структуру истинного знания, высвобожденную из реальных психологических феноменов и актов человеческого познания. Ее предмет — теоретическое единство знания и статус объективно-идеальных, надвременных истин.

По Больцано, мир истин обладает специфическим способом существования. Он как бы расположен между бытием и небытием. Истины обладают реальностью высшего порядка, реальностью надисторической, надвременной, не зависящей от условий места и времени, от «здесь» и «теперь», от того, мыслятся они кем-нибудь или нет. В этом существовании учения Больцано об истине самой по себе. «Я понимаю под истиной самой по себе любое положение, которое высказывает что-либо так, как оно есть, причем я оставляю совершенно неопределенным вопрос о том, высказывается или мыслится это положение кем-нибудь или нет. И в том, и в другом случае это положение получит название истин самих по себе, если, конечно, то, что оно выражает, пребывает так, как о нем сказано, иначе говоря, если предмету, о котором нечто высказывается, действительно принадлежит то, что к нему относят»⁶.

Истина сама по себе, существующая независимо от того, познана она или нет, называется Больцано объективной истиной. Она не существует во времени и познается лишь божественным разумом. Больцано неоднократно обсуждает вопрос о статусе истин самих по себе и их соотношении с познанными истинами. Это трудный вопрос для всех концепций науки первой половины XIX в. Он отвергает тот критерий истин-

⁵ Bolzano B. Wissenschaftslehre. Bd. I. Sulzbach, 1837, S. 7.

⁶ Ibid., S. 112.

ного знания, который предложил Кант и который состоит в утверждении общезначимости истин, подчеркивая, что даже всеобщность суждения не означает его истинности, а тем более объективности.

Так же, как поздний И. Г. Фихте, Г. В. Ф. Гегель и Ф. Шеллинг, Больцано пытается построить концепцию науки на принципах объективного идеализма. Сам Больцано был не просто католиком, но и теологом. Он видел в религии совокупность высших истин, способствующих утверждению добродетели и благочестия. Существование всеомеренного, божественного существа, бесконечного в своем ведении, воле и действии, оказывается важной предпосылкой не только его теологических, но и теоретико-научных и даже математических работ. Эта предпосылка лежит в основании его анализа парадоксов бесконечности, его учения об истине самой по себе⁷. «Хотя все истины сами по себе одновременно есть и истины познанные, а именно познанные Богом, все же необходимо различать истины сами по себе и познанные истины или, как еще можно сказать, истину от ее познания. Вместе с этим различием логики получают возможность говорить об истине самой по себе с таким же основанием, с каким геометр говорит о чистом пространстве (например, о возможности точки), не имея в виду заполненность пространства материей»⁸. Мир истин самих по себе — это, по словам Больцано, подлинное, вечное бытие, познание которого человеком и означает, что истина приобрела существование в некоем «здесь» и «теперь».

Эта по-существу платонистская трактовка истин и истинного знания связана с утверждением объективно-идеального статуса истин, их существования, независимости от человека и человечества. Не приемля психологизма и историцизма в трактовке истинного знания, поскольку они ведут к релятивизму, Больцано делает упор на объективном существовании истин и их смысла, превращая их в живую реальность, независимую от человека и производящую из себя весь остальной мир знания.

При всем идеализме этой концепции (а Больцано, несомненно, объективный идеалист, и не зря его называли «богемским Лейбницем»), она подчеркивает несводимость объективно-идеальных смыслов понятий и законов научного знания к психоло-



Титульный лист книги Б. Больцано «Наукоучение».

гическим и антропологическим особенностям человека, надвременную «размерность» истин, добытых человечеством. Эта линия в исследовании структуры научного знания нашла свое продолжение в современных философских концепциях, в частности в феноменологической теории науки Э. Гуссерля, в учении о мире смыслов как третьем мире, наряду с миром природы и миром психических переживаний, развиваемом К. Поппером.

Стремясь разграничить логическое, мыслимое содержание (смыслы, или содержание суждений и умозаключений) от психологического, мыслительного процесса актов, Больцано усматривает задачу наукоучения в том, чтобы выявить логическую структуру истинного научного знания. Для этого необходимо рассматривать знание как систему истин, как теоретическое единство, которое обосновывается им с помощью понятия истин самих по себе. Иными словами, Больцано строит своеобразную онтологию — онтологию объективно идеальных истин, независимых от психических феноменов и познавательных актов именно для того, чтобы подвести философский фундамент под теоретическое здание науки.

⁷ Больцано Б. Парадоксы бесконечного. Одесса, 1911.

⁸ Bolzano B. Wissenschaftslehre, Sulzbach, 1837, S. 114.

Эта онтология истин самих по себе исключает введение принципа деятельности в теорию науки. Больцано решительно противопоставляет познавательные акты и содержание истины, познавательную деятельность и истину. В этом одно из существенных отличий его теории науки от наукоучения Фихте. По мнению Больцано, истина исключает познавательную деятельность, ибо деятельность может существовать там, где истина представляет проблему, где ее еще нет. Обращение к принципу деятельности в теории науки влечет за собой, согласно Больцано, психологизацию наукоучения, отказ от изучения истинного знания, смешение истины с заблуждением.

Каков же путь от мира истин самих по себе к истинам науки? Этот путь — предмет теории познания. Согласно Больцано, познание тождественно акту суждения, т. е. переходу истин самих по себе в языковые, устно или письменно фиксируемые суждения. «Познание — это любой акт суждения, который содержит в себе истинное, адекватное истине или правильное суждение. Любое познание, — продолжает Больцано, — есть суждение, но не наоборот, не всякое суждение я называю познанием, поскольку существуют неправильные суждения, оказывающиеся не знанием, а заблуждением»⁹. Итак, наряду с определением знания как совокупности объективно-идеальных истин, Больцано выдвигает и развертывает учение о познании как суждении. В этом различии находит свое выражение исходное понятие теории науки Больцано — понятие истин самих по себе, представляющих инвариантное, постоянное содержание и принципиально отличающихся от актов суждения, изменчивых, подвижных, вариативных по своей языково-символической форме. Большой заслугой наукоучения Больцано является анализ «языка науки»¹⁰, различных типов суждений, умозаключений и выводов, используемых в научном знании, многообразных символических, семиотических средств, выработанных в истории науки.

При истолковании перехода от мира истин самих по себе к познанным истинам Больцано вводит два новых понятия. (Сразу скажем, что в прежней логике и концепциях науки эти понятия не использовались, поскольку в центре их внимания был анализ теории, ее логической структуры, а не

изучение структуры дисциплинарного знания. Больцано, по сути дела, впервые в истории логико-философской мысли анализирует способы организации дисциплинарного знания, структуру научной дисциплины, критерии формирования и функционирования научно-теоретического знания как дисциплины.) Это, во-первых, понятие учебника, в котором излагается некоторое множество ставших известными и значительных для определенного времени истин, и, во-вторых, представление о некотором круге лиц, постигающих определенную часть множества истин самих по себе. Можно провести параллели между тем, что в современном науковедении называется «парадигмой», «дисциплинарной матрицей», «научным сообществом» и вводимыми Больцано понятиями, с помощью которых он пытается соединить надвременное бытие истин самих по себе с их историческим существованием, с признанием научным сообществом части истин в качестве знания, достойного изложения в учебнике. При переходе от теоретически единого знания к знанию, распавшемуся на множество научных дисциплин, при анализе дисциплинарной структуры знания необходимо, по Больцано, учитывать и предметное единство исследовательской области, которое зависит прежде всего от логико-теоретического единства научного знания.

Решающим критерием науки для Больцано является наличие учебника. Если кратко выразить суть его позиции, то можно сказать: знание является научным, когда его изложение получило статус учебника. Ход мысли Больцано не допускает ни субъективизма, ни релятивизма. Ведь наряду с истинами, которые получили признание и усвоены людьми в тот или иной период времени, предполагается более широкое бытие истинного знания — мир истин самих по себе, надвременной мир объективных истин — гарантов достоверности знания. Эти истины не субъективны, а объективны по своему характеру, их смысловые связи и идеальное значение независимы от языково-символических способов изложения, от их осмысления и фиксации в развивающейся науке. Но, наряду с этой надвременной точкой зрения, Больцано развертывает в учении о познании и временную точку зрения, подчеркивая, что существует некоторое множество лиц, постигающих часть истин самих по себе и излагающих их в научной литературе, в частности в учебниках.

Исходя из такого определения науки, которое стремится указать на логически ясные и эмпирически фиксируемые критерии

⁹ Ibid., S. 163.

¹⁰ Ibid., Bd. II, S. 211.

научности, Больцано дает оригинальную трактовку целей и задач наукоучения как логико-философской концепции науки. Наукоучение в его интерпретации — это наука, которая учит тому, как следует излагать научное знание в учебниках, как расчленить всю область знания на отдельные подструктуры, каково отношение между различными научными дисциплинами и истинами, принятыми в них. Предметом наукоучения являются правила и нормы научного знания, нашедшие свое воплощение в учебниках. Противопоставляя цели наукоучения и дидактики, Больцано особо подчеркивает значение норм письменного изложения научных истин в учебниках. В этом он усматривает одно из существенных отличий предлагаемой им концепции науки от предшествующих логико-философских теорий науки. «Логика,— замечает Больцано,— должна быть, по моему мнению, наукоучением, т. е. указанием на то, как мы должны всю область истин расчленить на отдельные части, или науки, расчленить целесообразно так, чтобы каждая из них могла быть основательно разработана и письменно изложена»¹¹.

В противовес традиционному представлению о логике, которое ведет свое начало от Аристотеля и которое, будучи тесно связано с риторикой, отождествлялось с учением о нормах и правилах правильного рассуждения, устного изложения добытого знания или речевой коммуникации — диалога, Больцано обращает внимание на то, что существуют две формы языка науки — устный и письменный. Причем он делает акцент на изучении норм и правил письменного языка науки, изложения научных истин в учебниках. Можно сказать, что Больцано решительным образом переориентирует логику и теорию науки. Предметом наукоучения отныне становятся не только типы и структура речевой коммуникации, устного сообщения, правильного рассуждения, но и типы научной литературы, многообразие видов языка науки, нормы и правила письменной фиксации научных истин. Поэтому Больцано сосредоточивает свое внимание не на дидактических правилах устного изложения научного знания, а на логических средствах, используемых в учебниках, дает описание сравнений, определений, доказательств и других логических процедур, применяемых в учебной литературе, анализирует типы предложений и правила их связи в учебниках и в научной литературе. В специальной главе последнего тома «Нау-



Памятная медаль, выпущенная в 1981 г. Чехословацкой академией наук к 200-летию со дня рождения Б. Больцано.

коучения» он излагает основные принципы семиотики — учения о знаках, используемых и создаваемых учеными и преподавателями в ходе учебного процесса.

Обратив внимание на специфику научной литературы и логической организации знания в учебниках, Больцано впервые в истории логики дает типологию научной литературы. Помимо учебников, которые, по его мнению, являются решающей формой научной литературы, он выделяет монографии, в которых предмет исследования обсуждается специально и творчески; доклады, выдержки из книг, афоризмы; сообщения, излагающие мысли, более подробно развитые в монографиях; журнальные статьи, которые ставят своей целью сообщить новые и значительные достижения специальных наук; полемические и апологетические статьи; статьи, обсуждающие монографии и книги, рецензии.

Помимо этого Больцано упоминает публикации устных сообщений и справочники в качестве разновидностей научных изданий¹².

Эта классификация научной литературы, весьма полная для своего времени, является одной из первых попыток описания всех типов научных изданий, изучения специфики научной литературы, причем ее ядро составляет учебник как тип научной

¹¹ Ibid., Bd. I, S. 56.

¹² Ibid., Bd. IV, § 712—715.

литературы, характеризующий научную дисциплину.

Если выделить две «ипостаси» науки и две ее функции — наука как научение и наука как исследование, то в своей трактовке предмета логики как теории норм и правил изложения научного знания в учебнике Больцано обращает внимание на первую «ипостась» и функцию науки. Такое понимание задач наукоучения обусловлено теми социальными формами организации науки, которые были характерны для первой половины XIX в.

Наука развивалась в это время в лоне университетов. Ее особенность заключалась прежде всего в том, что труд исследователя здесь неотрывен от труда преподавателя. Преподаватель выступал в двух социальных ролях — ученого, в свободное время занимающегося наукой, и собственно преподавателя, который должен прочесть ряд курсов, нередко непосредственно не связанных ни с его научными интересами, ни с его научными изысканиями. Исследование было, по сути дела, побочным феноменом процесса обучения. Этот способ организации науки нашел свое отражение в трактовке Больцано предмета наукоучения: ведь он акцентирует внимание на логике изложения знания в учебной литературе, на методах и процедурах передачи знания, письменной фиксации научных достижений в научной литературе, на построении дисциплинарно-расчлененного знания¹³.

Анализ структуры дисциплинарного знания, представленного в учебнике, изучение процедур изложения теоретического знания в соответствующей литературе составляет основную задачу логики и теории науки. Исходной единицей концепции науки Больцано является уже не теория, а дисциплинарное знание, имеющее теоретическую форму и являющееся последовательностью, рядом теорий. Поэтому логическая структура научного знания, где Больцано вычленяет фундаментальные начала, исходные элементы и процедуры, характеризует именно строение дисциплинарного знания.

УЧЕНИЕ ОБ ЭВРИСТИКЕ

Наряду с изучением правил и норм изложения истинного знания в учебниках, наряду с логикой изложения готового знания, Больцано разворачивает в четвертой части своего «Наукоучения» оригинальную трактовку логики открытия — учения о правилах, которым подчиняется искусство изобретения. Здесь уже наукоучение выступает как эвристическая методология научного поиска и решения познавательных задач. Несомненный интерес представляет его определение научного метода. В нем отчетливо выражено понимание метода как совокупности познавательных норм или предписаний, служащих руководством и средством для достижения поставленных исследовательских целей. «Принципы, благодаря которым достигается ответ на вопрос, т. е. те способы деятельности, которые рассматриваются как зависящие от воли человека и необходимые для достижения результата, называются предписаниями или правилами достижения этого результата. Совокупность такого рода предписаний или правил составляет руководство или метод. Если эти правила верны и достаточно деятельны, чтобы описать весь способ деятельности, то этот метод правилен и совершен»¹⁴.

Больцано проводит различие между общими и частными правилами эвристического метода. Он насчитывает 14 общих правил. Первые шесть касаются выдвижения проблемы и принципов ее решения: точно сформулировать вопрос, ответ на который мы ищем; предварительно изучить, возможен ли нет истинный ответ на поставленный вопрос; если не удастся решить проблему сразу, целесообразно разбить задачу на подзадачи и подвопросы и искать ответ вначале на них. (Здесь Больцано намечает два пути: во-первых, вывить свойство уже известных истин и вывести из них другие истины; во-вторых, свести решения задач к решению подобных задач, а затем, позаимствовав способ решения у старых задач, перейти к решению поставленной.) Далее: вывести исковую задачу прямым путем из уже известных истин или непосредственного наблюдения; использовать косвенные пути, выдвигая некоторые гипотезы; проверяя их, обратиться к методу полной и неполной индукции; найти способы определения прямых и косвенных путей решения задачи.

¹³ Современное науковедение, которое долгое время было сосредоточено на анализе теории как структурной единицы научного знания, расширяет горизонты своего изучения науки и вновь обращается к научной дисциплине как более широкой области научного знания, которая позволяет рассмотреть процессы передачи достигнутого знания последующим поколениям, механизмы трансляции науки в культуру. См.: Научная деятельность: структура и институты. М., 1980; Идеалы и нормы научного исследования. Минск, 1982.

¹⁴ Bolzano B. Wissenschaftslehre. Bd. III, S. 302.

Следующие восемь правил относятся к процедурам осмысления, оценки и проверки решения: проанализировать суждения других людей и данные прежнего опыта; оценить точность собственных суждений; проанализировать правильность отдельных суждений и определений; выразить все используемые представления в знаковой форме; стремиться в процессе решения задачи использовать наглядные образы, связанные с представлениями; обратить внимание на логические свойства и отношения суждений; оценить степень достоверности полученного результата; помнить, что достижение истины тем быстрее, чем большее внимание уделено логике ее достижения.

Эти общие правила эвристического метода конкретизируются в специальных правилах, относящихся к различным фазам решения той или иной задачи, в частности к определению целесообразности ее решения, к анализу суждений, доказательств, знаков, используемых в ходе решения.

Отметим две особенности эвристики Больцано. Первая состоит в том, что он неоднократно подчеркивает и выявляет связь эвристики с формальной логикой, с достижениями современной ему логики. Это весьма существенно, поскольку эвристика с самого начала своего возникновения противопоставлялась логике силлогизма и развивалась в оппозиции к так называемой «схоластической логике». Такая оценка формальной логики характерна, например, для Ф. Бэкона, Р. Декарта, Х. Вольфа. Вотрых, в эвристике, сосредоточив внимание на путях и средствах получения истинного знания, Больцано обсуждает и возможные ошибочные пути исследования. Тем самым знание выступает здесь не в аподиктической, а в проблемной форме, предстает не в виде готовых ответов, а в виде процесса постановки и решения задач.

В учении об эвристике Больцано предположил одну из развернутых программ эвристической методологии, методологии постановки и решения научных задач. В XIX в. эта программа, к сожалению, не нашла благоприятного отклика и понимания. Лишь в наши дни, когда ряд логиков и математиков осознали различие между контекстом открытия и контекстом обоснования знания, стали вполне ясными перспективность и глубокий смысл учения Больцано об эвристике. Можно провести определенные параллели между эвристикой Больцано и современными направлениями в логике и науковедении, в частности между концепцией позитивной и негативной эвристики И. Лака-

тоша, между учением о научном методе, развернутом известным математиком Д. Пойа в книгах «Как решать задачу» и «Математическое открытие», где выявлены этапы решения задач, формулируются специфические нормы и правила проверки и оценки результатов научного поиска и открытия¹⁵.

Наукоучение Больцано включало в себя, как мы видим, не только анализ логических средств изложения научных истин в учебнике, но и осмысление методов и путей научных открытий. Соединение в концепции Больцано двух «ипостасей» — логики изложения и логики открытия составляет несомненное преимущество его логико-философской теории науки перед современными ему формами исследования научного знания, в частности перед гносеологией Канта и наукоучением Фихте. Здесь Больцано продолжал лучшие традиции европейской логики и теории науки, которая стремилась включить в свое рассмотрение и логику изложения (в чем конечный смысл силлогистики у Аристотеля и логики изложения у Бэкона), и вместе с тем логику открытия (в этом существо топки Аристотеля и «Нового органа» Бэкона). Продолжая их традиции, Больцано по-новому интерпретирует каждый из упомянутых разделов логики, развивает свою концепцию логики как наукоучения, в котором синтезированы и аристотелевская логика силлогизма, и новоевропейская логика открытия. Причем эвристика понимается им более широко, чем в логических учениях XVII и XVIII вв., а именно: как учение о многообразных путях и средствах решения познавательных задач. И в этом теория науки Больцано оказалась предвестником новых тенденций в логике, гносеологии и науковедении, наиболее полно проявившихся уже в нашем столетии.

¹⁵ Пойа Д. Как решать задачу. М., 1961; Он же. Математическое открытие. Решение задач: основные понятия, изучение и преподавание. М., 1970.

РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

Больцано Б. НАУКОУЧЕНИЕ.— В кн.: Антология чешской и словацкой философии. М.: Мысль, 1982.

Больцано Б. ПАРАДОКСЫ БЕСКОНЕЧНОГО. Одесса, 1911.

Федоров Б. И. ЛОГИКА БЕРНАРДА БОЛЬЦАНО. Л.: Изд-во ЛГУ, 1980.

Золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1982 г.

Президиум АН СССР присудил золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1982 г. академику Ю. Б. Харитону за выдающиеся достижения в области физики и члену Лондонского королевского общества профессору Д. Ходжкин (Великобритания) за выдающиеся достижения в области биохимии и кристаллохимии.

Академик Юлий Борисович Харитон — выдающийся советский ученый, широко известен своими открытиями в ряде областей современной физики, химической физики и техники, научный руководитель одного из направлений ядерной физики.

Всеобщее признание получили ранние работы Ю. Б. Харитона в области молекулярной физики и химической кинетики: установление критической температуры конденсации, имевшее наряду с теоретическим важным практическое применение в технологии полупроводников; доказательство существования критических условий окисления фосфора — открытие, ставшее отправной точкой развития теории разветвленных цепных реакций.

Важные выводы о механизме свечения были получены Ю. Б. Харитоновым в экспериментах, выполненных в лаборатории Э. Резерфорда во время научной командировки в Кембридж (Англия). Исследуя сцинтилляцию радиоактивных излучений, Ю. Б. Харитон впервые определил абсолютную чувствительность глаза к световым вспышкам. Глубокие основополагающие результаты получены им в работах по взрывчатым веществам и кинетике взрывов. Ему принадлежит формулировка важнейшего принципа, определяющего возможность детонации. Основатель и глава новой школы в теории взрывчатых веществ, Ю. Б. Харитон дал в этой области блестящий анализ механизма сложнейших процессов взрыва, по-

строил теорию детонационной способности взрывчатых веществ.

Особо важное государственное и научное значение имеют работы Ю. Б. Харитона в области атомной энергетики и ядерной техники. Теоретические исследования возможности цепной ядерной реакции в природном уране, опубликованные Ю. Б. Харитоновым совместно с Я. Б. Зельдовичем, заложили основы первого этапа развития работ по использованию атомной энергии.

Плодотворная и многогранная деятельность академика Ю. Б. Харитона получила заслуженное признание: он — трижды Герой Социалистического Труда, лауреат Ленинской и Государственных премий СССР.

Дороти Ходжкин — видный английский ученый, профессор, член Лондонского королевского общества. Ее выдающиеся достижения в области химии и биохимии, полученные с помощью физических методов исследования, революционизировали органическую химию, обогатили мировую науку.

Начатье Д. Ходжкин в конце 30-х годов работы по

изучению строения сложных биологически активных молекул кристаллов явились огромным вкладом в разработку одного из наиболее интересных и важных направлений современной науки — установление связи между биологической функцией молекулы и ее строением.

Широкою известностью Д. Ходжкин получила как автор первых рентгеновских снимков кристаллов белков. Успехи в области рентгеновской кристаллографии позволили Д. Ходжкин впервые определить химическую структуру вещества, пользуясь лишь рентгеноструктурным анализом. Ей принадлежит важный вклад в разработку физических методов анализа при расшифровке структуры целого ряда биологически важных макромолекул.

К числу наиболее крупных научных результатов Д. Ходжкин следует отнести осуществление в начале 40-х годов рентгеноструктурного анализа молекулы важнейшего антибиотика — пенициллина. Блестящим научным достижением явилась также расшифровка строения витамина В₁₂, завершившаяся выяснением механизма биологической активности этого природного соединения.

Замечательным подтверждением научной плодотворности применения комплекса рентгеновских методов для расшифровки биомолекул стало определение под руководством Д. Ходжкин сложнейшей пространственной атомной структуры белкового гормона — инсулина.

Д. Ходжкин — иностранный член ряда зарубежных академий и научных обществ; с 1976 г. профессор Д. Ходжкин — иностранный член АН СССР. В 1964 г. ей присуждена Нобелевская премия по химии.

Профессор Д. Ходжкин активно выступает за мир, за ядерное разоружение, она является президентом международного Пагуошского движения ученых.



Д. Ходжкин

Юлий Борисович Харитон и наука о взрыве

Академик Я. Б. Зельдович

Москва

В развитии каждой области науки и техники бывают свои переломные моменты, звездные часы появления новых идей, осуществления радикальных скачков. В такие моменты появляются и люди соответствующего масштаба, лидеры, возглавляющие новые направления. Такие люди растут вместе с тем делом, которое они делают.

В советской и мировой науке о взрыве признанным, несомненным лидером является Юлий Борисович Харитон.

Еще двадцатилетним юношей он впервые экспериментально доказал существование разветвленной цепной химической реакции на примере окисления фосфора. Работа Ю. Б. Харитона и З. И. Вальта явилась прочной основой теоретических работ Н. Н. Семенова.

В течение двух лет Харитон работал в лаборатории Э. Резерфорда в Кембридже. Вернувшись в Ленинград, Юлий Борисович сознательно и целеустремленно выбирает научное направление. Он организует лабораторию взрывчатых веществ в Институте химической физики АН СССР.

Порох и взрывчатые вещества изучались и ранее, и одновременно с Харитонов во многих других лабораториях. Однако исследования резко делились на два раздела:

1) исследования химические, препаративные, технологические и 2) исследования метательного или разрушительного действия, относящиеся, в сущности, к продуктам химической реакции горения или разложения взрывчатого вещества или пороха.

Практически не затронутым оставался вопрос о самом интимном моменте химического превращения холодного взрыв-

чатого вещества в горячие продукты взрыва. Исследователи, может быть, неосознанно, инстинктивно, чувствовали всю сложность этого вопроса, необходимость измерения процессов, длящихся менее одной микросекунды, необходимость анализа сложной тепловой и гидродинамической картины.

Это, быть может, несколько длинное описание ситуации на рубеже 30-х годов необходимо, чтобы стала понятной та смелость, которую должен был проявить Харитон, начиная свое оригинальное направление в исследовании взрыва и взрывчатых веществ.

В конкретные исследования внесли большой вклад сотрудники Харитона — А. Ф. Беляев и А. Я. Апин (ныне покойные), Б. М. Степанов, В. К. Боболев и многие другие; хочу и себя причислить к ученикам и сотрудникам Юлия Борисовича.

Но число статей, формул или экспериментальных кривых, полученных тем или иным исследователем, в сравнении с числом статей Харитона, не должно заслонять огромную разницу между лидером и ведомым. Перед нами — молодежью Института химической физики 30-х годов — была открыта перспектива, поставлены вопросы. Готовых ответов не было, но ведь правильно поставленные вопросы — это уже огромная часть дела.

Харитон только начинал заниматься взрывчатыми веществами. Перед ним была проблема выбора: он мог продолжать работу по кинетике химических реакций или по конденсации паров, начатую до поездки в Англию, или продолжать те исследования, которые он вел в лаборатории Резерфорда.

Юлий Борисович сознательно выбрал изучение взрывчатых веществ. В этом выборе проявились гражданские качества Харитона: ощущалось приближение пока еще далекой войны; очевидным было и народнохозяйственное значение взрывной тех-

Статья войдет в сборник «Современные проблемы теоретической и экспериментальной физики. К 80-летию со дня рождения академика Ю. Б. Харитона», который готовится к печати издательством «Наука».

В перерыве заседания Президиума АН СССР. Слева направо: Я. Б. Зельдович, Ю. Б. Харитон, Н. Н. Семенов.



ники. В меньшей мере выбор взрывчатых веществ в качестве дела жизни свидетельствовал о смелости Харитона, об его окрыляющем чувстве научной силы.

В лаборатории Харитона исследования взрывчатых веществ развернулись во многих направлениях. Можно отметить разработку методики регистрации быстропротекающих процессов. Необычайно увлекательными были опыты по передаче детонации в вакууме: эти опыты напоминают классические исследования пробега α -частиц. Удастся определить массу и скорость тех мельчайших частиц, которые получаются при взрыве и передают детонацию в этом случае. Исследуется медленное горение жидких взрывчатых веществ. Беляев непосредственно, своими глазами видит темный промежуток между поверхностью жидкости и расположенным выше, в газе, пламенем.

Но все эти прекрасные работы оказываются превзойденными, когда Харитон устанавливает фундаментальный закон возможности детонации: время химической реакции в детонационной волне должно быть меньше времени разлета сжатого вещества. Для времени разлета можно дать простую оценку: диаметр заряда нужно поделить на скорость детонации.

Из этого фундаментального закона (или принципа) вытекают важнейшие следствия — одно и то же вещество, взятое в виде тонкого цилиндра, окажется пассивным, но в большой массе — может взорваться.

Принцип имел предшественников: для оценки возможности детонации произво-

дили сравнение температуры, которая достигается в волне, с температурой воспламенения. Однако при этом упускали из вида тот факт, что сама «температура воспламенения» не есть определенная константа вещества, она отличается от температуры плавления или температуры кипения. Воспламенение зависит, в частности, и от того, как долго вещество подвергается действию данной температуры.

Сегодня в наших представлениях о детонации произошли качественные изменения. А в начале 40-х годов казалось, что детонационный спин, т. е. распространение ярчайшей точки по спирали, — очень частное явление, которое имеет место только в разбавленных газовых смесях. К. И. Щелкин и Я. К. Трошин разглядели причину спина — неустойчивость плоского фронта детонационной волны в газе, связанную с сильной зависимостью скорости реакции от температуры. С переходом к более активным смесям, реагирующим быстрее, спин не исчезает — неоднородности только становятся мельче, их труднее обнаружить. Аналогичные явления имеют место, по А. Н. Дремину, и в конденсированных взрывчатых веществах. Наиболее мелкие неоднородности, порядка длины волны света, проявляются, по-видимому, при отражении света от детонационной волны в прозрачном жидком взрывчатом веществе; много внесли в изучение детонации Р. И. Солоухин с сотрудниками в Новосибирске.

Таким образом, количественная теория детонационного предела становится сложнее. Однако навсегда остается в силе основной принцип, высказанный Харитоновым: химическую реакцию нужно рассмат-

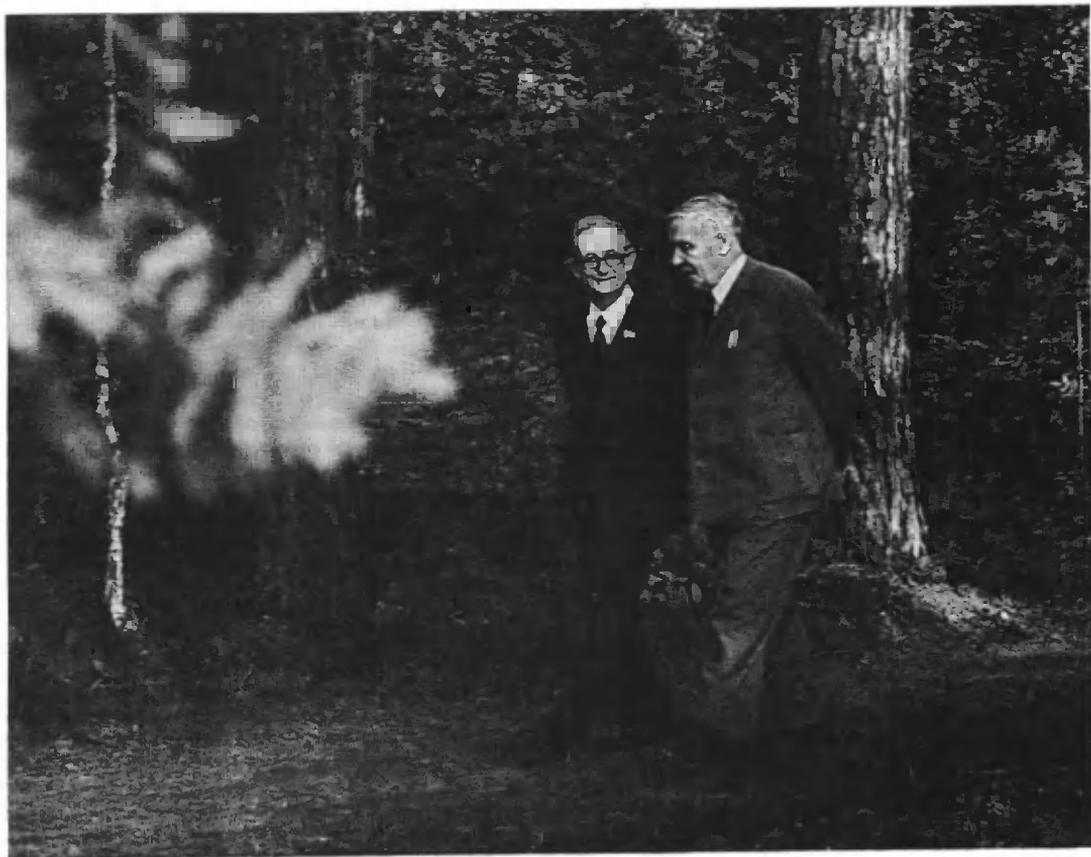
ривать как процесс, протекающий во времени, а не как мгновенный скачок из начального в конечное состояние. Может быть, сегодняшний читатель сочтет это тривиальным, но нужно иметь в виду, что все предшествующее развитие термодинамической теории детонации было нацелено именно на рассмотрение скачка, на абстрагирование от кинетики химической реакции.

На конец предвоенных лет, 1939—1941 гг., приходится работы Харитона и мои по цепному делению урана. Конечно, основные идеи здесь были высказаны О. Ханом, Л. Мейтнер, О. Фришем, Ф. Перреном, Н. Бором и Дж. Уилером. Однако это отнюдь не исключало необходимости детального рассмотрения различных ситуаций: реакции на быстрых и медленных нейтронах, а также вопросов кинетики, чувствительности, регулировки и саморегулировки реактора. Надолго вошли в лексикон ядерщиков обозначения «ню», «фи», «тета»

для числа нейтронов деления, вероятности замедления и вероятности деления под воздействием медленных нейтронов. От этих работ остался в силе основной вывод: реакция не идет в металлическом уране, в окиси урана, в смесях урана с обычной (т. е. легкой) водой, здесь нужно обогащение урана легким изотопом. В этой связи большое значение приобрела работа Харитона, проведенная им в 1937 г., установившая закономерности разделения изотопов путем центрифугирования.

Однако, не желая отклоняться от главной темы — детонации, ограничусь самыми общими формулировками: работы по делению урана, или, другими словами, по проблеме атомной энергии, во многом и надолго связали нас с И. В. Курчатовым, работавшим тогда в соседнем Физико-техническом институте АН СССР, и навсегда определили главное дело жизни Юлия Борисовича.

Ю. Б. Харитон и П. Л. Капица.



Итак, вернемся к детонации взрывчатых веществ. Самокритично следует заметить, что свежесть и новизна химико-кинетического подхода к проблеме детонации не дались даром. В работах Института химической физики АН СССР, и в частности в работах лаборатории взрывчатых веществ, возглавляемой Харитоновым, в какой-то мере недостаточное внимание уделялось гидродинамике продуктов взрыва, вопросу о воздействии продуктов взрыва на стенки снаряда, взрывной волне и разрушительному действию взрыва. Эти вопросы считались как бы менее принципиальными. Так, не получили должного развития работы Беляева по столкновению ударных волн, из которых мог бы естественно появиться принцип кумуляции. Мы знаем теперь, как изящно задачи о формировании кумулятивной струи, о пробое брони струей, о направленном взрыве решил М. А. Лаврентьев. В вопросе о давлении взрыва, о гидродинамике разлета много сделали Л. Д. Ландау и К. П. Станюкович. В частности, в конце войны они показали неограниченное нарастание давления при фокусировке в точку сферической волны. Нашему же коллективу в Институте химической физики в предвоенный период не хватало вкуса и умения в области механики сплошных сред.

Война и последующие послевоенные работы заставили нас исправить этот недостаток. Юлий Борисович возглавил работу по детальному, тщательному, количественному теоретическому и экспериментальному изучению взрыва и детонации. В этой работе, отмеченной самыми высокими наградами, проявились лучшие черты Харитона как ученого. Пожалуй, самым характерным было требование абсолютной ясности, высочайшей добросовестности, нетерпимости к любой небрежности и недоработанности.

Существует очень старый рассказ о том, как молодому М. Планку его учитель говорил: «Физика практически вся закончена, есть только два облачка на ее ясном горизонте: одно — опыт Майкельсона, другое — трудности теории теплового излучения».

Как теперь известно, одно облачко родило теорию относительности, а второе — при решающем участии Планка — привело к созданию квантовой теории.

Мне кажется, что Харитону всегда свойственно обостренное внимание к таким вот «облачкам», к небольшим невязкам, к тому, что деликатно называют «недопониманием».

Юлий Борисович всегда настороже: не скрывается ли за подобным «недопониманием» что-то важное, серьезное, еще неизвестное? Именно поэтому в трудной области, с очень дорогостоящим экспериментом Харитон почти не знает неудач и срывов. Работа рядом с ним — это огромная школа, не только научная, но и жизненная.

Я ощущаю как огромное везенье в жизни, как огромное счастье свое пятидесятилетнее знакомство и дружбу с Юлием Борисовичем, и особенно те двадцать лет, которые я проработал под его руководством. Благодетельство, кристальная моральная чистота — все эти слова действительно, без преувеличения применимы к Харитону. От других — не от него — в оправдание некоторых уклонений от истины или от абсолютной порядочности¹ часто приходится слышать: «Так поступают все, иначе нельзя достичь результата». Как хорошо, что есть Харитон — существование, жизнь, стиль работы которого опровергают эти расхожие слова!

Как выражаются математики, конструктивный, конкретный пример, опровергающий ложную гипотезу. Добавим сюда еще верность друзьям, принципиальность, высочайшую интеллигентность Харитона. Добавим труд — тяжелый труд, которому Харитон отдает себя много лет и до сих пор, несмотря на солидный возраст.

Когда-то А. Т. Твардовский писал: «Хорошо бы каждой роте придать своего Теркина». Уверен: в любом деле, на любом посту Харитон был бы на месте, был бы нужен.

Но такие люди — чистые, светлые, талантливые, доброжелательные — это огромная редкость! И можно только порадоваться тому, что «правильный человек находится на правильном месте» (the right man on the right place), тому, что Юлий Борисович в 1928 г. занялся взрывами, а в 1939 г. — делением урана...

Когда мы все радуемся тому, что наша Родина сильна и вот уже почти сорок лет никто не осмеливается напасть на нас, не забудем того, что в этом есть и большая заслуга Юлия Борисовича Харитона.

¹ А бывает ли порядочность неабсолютной? Вспомните «вторую свежесть» осетрины, высмеянную М. А. Булгаковым в «Мастере и Маргарите».

Астрономия

Релятивистский эффект в движении двойной звезды

Х. Ф. Халиуллин (Государственный астрономический институт им. П. К. Штернберга) впервые обнаружил вращение орбиты затменной двойной звезды ЕК Цефея, связанное с эффектами общей теории относительности Эйнштейна.

В тесных двойных системах взаимное гравитационное влияние может сильно исказить форму звезд: они становятся похожими на огурцы, вытянутые по направлению друг к другу. Это так называемое приливное искажение формы. Сила взаимодействия между звездами уже не обратно пропорциональна квадрату расстояния между ними, и форма орбиты не описывается простым эллипсом (как в случае ньютоновской теории тяготения). Но эти отличия малы; постепенно изменяется лишь ориентация эллиптической орбиты в пространстве: ось эллипса поворачивается в плоскости орбиты.

Наблюдая затмения в двойной звездной системе несколько лет подряд, астрономы определяют, с какой скоростью изменяется ориентация в пространстве эллиптической орбиты звезды. Эти данные имеют огромное значение для разгадки внутреннего строения звезд: зная, как искажается форма звезды под действием притяжения соседки, можно рассчитать распределение плотности вещества в недрах звезды.

По движению двойных звезд исследователи попытались обнаружить релятивистские поправки к классической теории гравитации, которые, как известно, очень малы. Так, в Солнечной системе ось эллиптической орбиты Меркурия под действием релятивистских эффектов поворачивается за столетие всего на

43 угловые секунды. У других планет эта величина столь мала, что точнейшие астрометрические наблюдения не могут ее выявить. Поэтому создатели других релятивистских теорий гравитации, отличных от ОТО, пытаются показать, что «непривильности» в движении Меркурия связаны с посторонними причинами, а не с эффектами теории Эйнштейна. Таким образом, необходимо обнаружить и измерить релятивистские эффекты за пределами Солнечной системы.

Нельзя только забывать, что у очень тесных двойных нарушение орбитального движения может происходить и за счет перетекания вещества с одной звезды на другую, из-за взаимодействия их магнитных полей и по другим причинам. Но в двойной системе ЕК Цефея звезды расположены достаточно далеко друг от друга, чтобы исключить перетекание вещества.

Наблюдения двойной звезды ЕК Цефея проводились в 1979—1981 гг. на Тянь-Шаньской обсерватории ГАИШа (высота 3000 м) с помощью телескопа с диаметром зеркала 50 см. Определив моменты затмений в двойной системе и сравнив их с данными, полученными около 20 лет назад другими наблюдателями, Халиуллин обнаружил, что в точном соответствии с предсказанием теории ось эллиптической орбиты двойной звезды поворачивается в год на $0^{\circ},076$. Из этой величины поворот орбиты на $0^{\circ},043$ связан именно с конечной скоростью распространения гравитационного взаимодействия, предсказанной в ОТО.

Таким образом, впервые удалось проверить предсказание теории гравитации Эйнштейна при наблюдении двойной звезды.

Астрономический журнал, 1983, т. 60, № 1, с. 72—82.

Астрофизика

Рентгеновский источник на месте γ -всплеска

Природа космических всплесков γ -излучения до сих пор не ясна. Предложено много механизмов, которые могли бы объяснить выделение громадной, до 10^{39} — 10^{40} эрг, энергии в течение нескольких секунд, однако отсутствие возможности отождествить источник γ -всплесков с каким-либо астрофизическим объектом затрудняет построение теории. Правда, большинство исследователей считает, что γ -всплески связаны с аккрецией (падением вещества) на нейтронные звезды. Наиболее естественно этот процесс протекает, если нейтронная звезда входит в двойную систему. До последнего времени поиски каких-либо объектов на месте γ -всплесков были безрезультатными: после всплеска источник исчезал, и ни в оптическом, ни в рентгеновском диапазоне не удавалось обнаружить никаких признаков аккреции. Предположение о том, что аккреция длится всего несколько секунд, а затем полностью прекращается, противоречило всему, что известно об аккрецирующих двойных системах.

И вот, наконец, на месте одного из самых мощных γ -всплесков, зарегистрированного 19 ноября 1978 г., обнаружен слабый рентгеновский источник. Высококачественные приборы, установленные на космической «Обсерватории им. Эйнштейна» («HEAO-B»), зарегистрировали поток рентгеновского излучения в диапазоне 0,5—3,0 кэВ, кото-

¹ См., напр.: Голенецкий С. В., Мазец Е. П. «Венера-11 и -12» исследуют космические γ -всплески.— Природа, 1979, № 10.

рый соответствует светимости источника $10^{31} (d/1 \text{ кпс})^2 \text{ эрг/с}$, где d — расстояние до источника². Это существенно меньше, чем светимость типичных галактических рентгеновских источников (10^{36} — 10^{38} эрг/с) и даже меньше полной светимости Солнца ($4 \cdot 10^{33}$ эрг/с); рентгеновская светимость Солнца мала, всего 10^{26} эрг/с. Столь слабое рентгеновое излучение может формироваться в коронах некоторых обычных звезд, однако анализ рентгеновского спектра свидетельствует в пользу аккреционной природы источника.

Отождествление этого же источника проведено и в оптическом диапазоне: на одной из архивных фотопластинок 1928 г. найден след оптической вспышки, сопровождавшей, по-видимому, один из предыдущих γ -всплесков³. Сейчас в этой же точке обнаружена очень слабая звездочка. Ее блеск существенно (по крайней мере, раз в десять) изменяется в течение месяца, что характерно для оптических компонентов двойных рентгеновских систем. Не исключено, что рентгеновское излучение также переменное, однако пока имеется только один сеанс наблюдений продолжительностью 2,5 часа, в течение которого рентгеновская светимость не менялась.

Итак, исследование космических γ -всплесков вступило в новую стадию; началось комплексное изучение явления в разных диапазонах длин волн. Регулярные наблюдения с использованием мощных методов современной наблюдательной астрофизики, несомненно, уже в недалеком будущем приведут к выяснению природы γ -всплесков.

Nature, 1982, v. 300, № 5893, p. 730 (Великобритания).

² Поскольку расстояние d до источника определено ненадежно, его светимость, зависящая от расстояния, дается как функция d .

³ Подробнее об этом см.: Природа, 1982, № 11, с. 105.

Измерения электрического поля в хвосте магнитосферы

Измерение слабых электрических полей в космосе связано со значительными трудностями. Если представить земную магнитосферу как тело, движущееся со скоростью 400 км/с поперек силовых линий межпланетного магнитного поля напряженностью 5 нТ, то общая разность потенциалов, наводимая поперек магнитосферы при таком движении, составляет 100 кВ. Поскольку поперечный размер земной магнитосферы примерно равен 30 радиусам Земли, электрическое поле в ее хвосте должно быть очень мало: доли или единицы милливольт на метр.

Для измерения столь слабых полей С. Каттелл и Ф. Моузер (С. Cattell, F. Mozer; Калифорнийский университет, США) разработали специальную методику, успешно примененную на спутнике «ISEE-1». Центробежная сила, возникающая при быстром вращении спутника, вытягивает из него две тонкие бериллиевые проволочки общей длиной 215 м. С помощью такой длинной антенны удается измерять поля до долей мВ/м. Как показали эксперименты, пересечения спутником нейтрального слоя хвоста магнитосферы можно подразделить на два основных вида — спокойные и турбулентные. Спокойных пересечений зарегистрировано примерно вдвое больше турбулентных. В спокойных случаях величина электрического поля в хвосте магнитосферы не превышает 0,5 мВ/м, и если и изменяется, то очень медленно. В турбулентных случаях велик уровень флуктуаций электрического поля — их амплитуда может достигать 30 мВ/м; при этом всегда турбулентным оказывается и магнитное поле. Турбулентные пересечения наблюдаются, как правило, когда магнитосфера находится в «возбужденном» состоянии, с высоким уровнем геомагнитной активности.

Поведение электрического поля в турбулентных случаях

неплохо согласуется с предположением о том, что своим происхождением оно обязано электромагнитной индукции. При изменениях структуры магнитного поля, происходящих за десятки—сотни секунд, в хвосте магнитосферы на расстояниях в десятки тысяч километров должны возникать индукционные поля именно такого характера с амплитудой в десятки мВ/м. По современным представлениям, такое изменение структуры поля в хвосте связано с образованием в нем магнитных пузырей, или островов, в которых происходит пересоединение магнитных силовых линий¹ и преобразование магнитной энергии, запасенной в хвосте магнитосферы, в кинетическую энергию быстрых плазменных потоков.

Geophysical Research Letters, 1982, v. 9, № 9, p. 1041—1044 (США).

Запуски космических аппаратов в СССР (январь—февраль 1983 г.)

В январе—феврале 1983 г. в Советском Союзе было запущено 15 спутников серии «Космос» с научной аппаратурой, предназначенной для продолжения исследований природного космического пространства.

На борту спутника «Космос - 1440» установлена научная аппаратура для продолжения исследований природных ресурсов Земли в интересах различных отраслей народного хозяйства СССР и международного сотрудничества. Информация с этого спутника поступает в государственный научно-исследовательский и производственный центр «Природа» для обработки и использования.

¹ Подробнее об этом см.: Сыроватский С. И. «Пересоединение» магнитных силовых линий в плазме.— Природа, 1979, № 6, с. 84.

Космический аппарат	Дата запуска	Параметры начальной орбиты			
		перигей, км	апогей, км	наклонение, град	период обращения, мин
«Космос-1428»	12.I	972	1017	82,9	104,7
«Космос-1429—1436»	19.I	1449	1513	74	115,3
«Космос-1437»	20.I	629	678	81,2	97,6
«Космос-1438»	27.I	213	254	70,4	88,9
«Космос-1439»	6.II	180	371	70,4	89,7
«Космос-1440»	10.II	223	293	82,3	89,3
«Космос-1441»	16.II	632	667	81	97,5
«Космос-1442»	25.II	180	364	67,2	89,6

Физика

Сверхтонкое расщепление в мюонии

Интернациональная группа физиков США, ФРГ и Швейцарии под руководством В. Хьюза (V. Hughes; Йельский университет, США) провела более точное измерение свертонкого расщепления основного энергетического состояния мюония и магнитного момента мюона.

Эксперименты проводились с мюонным пучком, полученным на протонном линейном ускорителе с энергией 800 МэВ Лос-Аламосской мезонной фабрики LAMPF (США). Интенсивность пучка μ^+ составляла $3 \cdot 10^7$ частиц/с, энергия μ^+ равнялась 25—28 МэВ. Мишень представляла собой сосуд, наполненный газообразным криптоном при давлении 0,5—1 атм. Около половины влетающих мюонов останавливались в газе. Остановившийся мюон может захватить один из электронов атомной оболочки криптона, образуя мюоний — экзотический водородоподобный атом, состоящий из μ^+ и e^- . С помощью соляноидного электромагнита создавалось высокооднородное магнитное поле напряженностью 13,6 кГс. Методом микроволнового магнитного резонанса измерялись частоты переходов между уровнями мюония в магнитном поле.

Как известно, мюоний нестабилен, так как нестабильно его ядро: в результате слабых взаимодействий мюон распа-

дается на позитрон и пару нейтрино. В зависимости от взаимной ориентации спинов мюона и электрона мюоний может образоваться в двух состояниях. В ортосостоянии спины μ^+ и e^- параллельны, в парасостоянии — антипараллельны. Разность энергий орто- и парасостояний мюония, равная $3 \cdot 10^{-6}$ эВ и известная под названием свертонкого расщепления, возникает из-за разного взаимодействия собственных магнитных моментов мюона и электрона в орто- и парасостояниях. Между этими состояниями возможны переходы с излучением электромагнитных волн длиной 6,7 см.

Длина волны и, соответственно, частота излучения при переходах между свертонкими компонентами основного энергетического уровня в мюонии — одна из важнейших характеристик, позволяющая с высокой точностью проверить предсказания квантовой электродинамики. Ее теоретическое значение равно $(4463,3037 \pm 0,0034)$ МГц. Относительная погрешность в определении $\nu_{\text{теор}}$ составляет $0,77 \cdot 10^{-6}$: она связана с погрешностью в экспериментальном значении постоянной тонкой структуры α ($\alpha^{-1} = 137,035963 \pm \pm 0,000015$) и погрешностью в теоретических расчетах. Экспериментальное значение этой частоты, найденное в опытах Хьюза, равно $(4463,30288 \pm 0,00016)$ МГц. Относительная ошибка измерений равна всего $0,036 \cdot 10^{-6}$, т. е. экспериментально свертонкое расщепление определено теперь с точностью, в 20 раз большей, нежели теоретически. Таким образом, в

пределах ошибки теория блестяще согласуется с экспериментом: $(\nu_{\text{теор}} - \nu_{\text{эксп}}) / \nu_{\text{теор}} = = (1,8 \pm 7,6) \cdot 10^{-7}$.

Помимо свертонкого расщепления, в эксперименте Хьюза измерено отношение магнитных моментов мюона и протона:

$$\mu_{\mu} / \mu_p = 3,1833461 \pm \pm 0,0000011;$$

отсюда наиболее точное в настоящее время значение отношения масс мюона и электрона составляет:

$$m_{\mu} / m_e = 206,768\ 259 \pm \pm 0,000062 \text{ (относительная точность } - 0,30 \cdot 10^{-6} \text{)}.$$

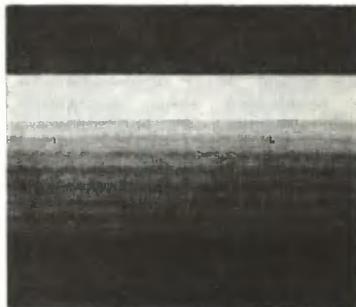
Physical Review Letters, 1982, v. 49, № 14, p. 993 (США).

Физика

Полупроводниковые сверхрешетки

В последние годы интенсивно исследуются новые многослойные полупроводниковые структуры — так называемые сверхрешетки. Они делятся на два вида: композиционные, состоящие из строго чередующихся слоев различных чистых (или собственных) полупроводников, и легированные решетки, в которых чередуются слои одного и того же полупроводника, легированные либо донорами, либо акцепторами.

Легированные сверхрешетки получили название



Электронная фотография NiP1-кристалла на базе арсенида галлия (донор — кремний, акцептор — бериллий); 10 периодов сверхрешетки составляют 200 нм.

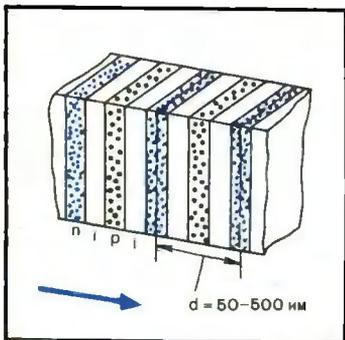


Схема внутреннего строения NIPi-кристалла: p — полупроводник с донорами; i — полупроводник с акцепторами; i — собственный полупроводник; d — период сверхрешетки. Стрелкой показано направление наращивания слоев.

NIPi-кристаллов (p-слой, i — собственный полупроводник, r-слой, i — собственный полупроводник). Минимальное расстояние между одинаковыми легированными слоями сверхрешетки называют ее периодом. Структуры изготавливаются методом напыления с помощью атомных пучков в высоком вакууме. Этот метод имеет настолько высокую точность, что позволяет наращивать отдельные слои со скоростью 0,1 нм в секунду. Период сверхрешетки обычно меняется от единиц до десятков и сотен нанометров.

Новые физические свойства сверхрешеток связаны с дополнительной пространственной периодичностью их электрического потенциала и потенциальной энергии электронов и дырок. Такая периодичность приводит, в частности, к дополнительному расщеплению зоны проводимости и валентной зоны исходного собственного полупроводника на подзоны. В результате вершина каждой валентной зоны и дно соседней с ней зоны проводимости оказываются разнесенными в пространстве вдоль оси, перпендикулярной слоям решеток, на расстояние, равное половине ее периода.

Одновременно оказываются разделенными в пространстве находящиеся на дне зон электроны и дырки. Такое разделение носителей зарядов, с

одной стороны, резко увеличивает их время жизни по отношению к рекомбинации, а с другой — позволяет управлять их концентрацией, если с помощью оптических или электрических методов менять амплитуду модуляции их потенциальной энергии. Например, путем оптического возбуждения кристалла или с помощью внешних электродов, подсоединенных к p- и r-областям, можно вводить в сверхрешетку избыточные носители, которые экранируют примеси и уменьшают тем самым потенциальную энергию. В результате эффективная ширина запрещенной зоны увеличивается, а время жизни носителей уменьшается. Таким образом, коэффициент оптического поглощения сверхрешетки «настраивается» на энергию фотонов, соответствующую новому значению ширины запрещенной зоны, и мы получаем аналог транзисторов с управляемым полем. Поскольку свет меняет концентрацию избыточных носителей, а та, в свою очередь, влияет на коэффициент поглощения света, то предполагают (экспериментов пока нет), что система может проявлять самоиндуцированную прозрачность. Решетка же с коэффициентом оптического поглощения, управляемым внешними электродами, может работать, например, как оптический затвор.

The Physical Review, 1982, v. B25, № 4, p. 2616—2626 (США).

Физика

Лазерное возбуждение когерентного высокочастотного звука

К. Нелсон (К. Nelson; Станфордский университет, США) разработал новый метод лазерного возбуждения когерентных звуковых волн в прозрачных или поглощающих свет жидкостях и твердых телах.

Два одновременно запускаемых лазерных импульса длительностью 10^{-10} с пересекаются внутри образца, создавая оптическую интерференцион-

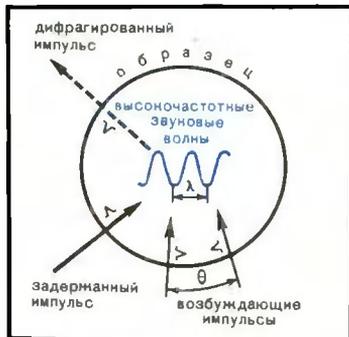


Схема эксперимента по возбуждению в образце с помощью двух лазерных импульсов когерентных звуковых волн.

ную картину. Энергия, получаемая образцом при поглощении лазерного луча, расходуется на возбуждение стоячих акустических волн (фононов), состоящих из двух бегущих волн, распространяющихся в противоположных направлениях. Длина и направление распространения бегущих волн жестко согласуются с геометрией интерференционной картины, а следовательно, с длиной волны λ лазерного излучения и с углом θ между лучами. Длину возбуждаемой акустической волны меняли в пределах от 1 мм до 0,1 мкм при изменении угла между лазерными лучами. В большинстве материалов такие изменения длин звуковых волн соответствуют изменению звуковых частот в пределах от 3 МГц до 30 ГГц.

Установившаяся акустическая волна, существуя в веществе долгое время после прохождения лазерных импульсов, вызывает в нем зависящие от времени и периодические в пространстве изменения плотности. А поскольку оптические свойства вещества зависят от плотности в данной точке, облученный участок может играть роль дифракционной решетки. Характеристики высокочастотной звуковой волны можно исследовать с помощью третьего (пробного) лазерного импульса, задержанного по времени относительно возбуждающих. При этом регистрируется дифрагированный пробный импульс.

Эксперименты выполнялись на прозрачных и непрозрачных

рачных растворах, органических и неорганических кристаллах, стеклах и пластиках. Эффект наблюдался при температурах начиная от гелиевых до комнатных. В анизотропных материалах (например, кристаллах) описанным способом можно создавать как продольные, так и поперечные волны. Кроме того, с помощью этого метода акустические волны, возбужденные лазерным лучом, можно усиливать, гасить либо сдвигать по фазе.

Область применения разработанного метода широка: измерение анизотропных упругих констант вещества, затухания акустических волн. Он должен найти приложение в области передачи информации, так как дифрагированный лазерный луч может быть модулирован по частоте, амплитуде и фазе и нести, таким образом, информацию. Метод открывает новые перспективы для неразрушающих испытаний, акустической голографии. Появляется уникальная возможность проводить акустические измерения в пределах одного кристаллита (или домена) в кристалле, что позволяет наблюдать акустические аномалии, связанные с фазовыми переходами и критическими точками.

Journal of Applied Physics,
1982, v. 53, № 9, p. 6060—6063
(США).

Физика

Баропластический эффект при сверхпластичности

Пластичность материалов растет при увеличении внешнего давления, так как возникают дислокационные структуры, существенно затрудняющие процессы разрушения в обычных или малопластичных кристаллических материалах. Но существуют и так называемые сверхпластичные материалы, которые и в отсутствие высокого давления способны к огромным деформациям. Механизм сверхпластичного течения существенно отличается от механизма обычной пластической деформации

при атмосферном давлении. Пластичность обычных кристаллических материалов контролируется процессами атомной диффузии, рождением и перемещением крауддионов, а также скольжением по кристаллографическим плоскостям, что сопровождается образованием и движением дислокаций. При сверхпластичности дополнительно возникает скольжение по границам зерен. «Проскальзывание» по границам зерен, когда перемещение подобно движению частиц в сыпучих материалах,— специфичный механизм высокотемпературной деформации в поликристаллических веществах.

Исследователи Харьковского физико-технического института и Донецкого физико-технического института АН УССР попытались установить, как на сверхпластичность повлияет высокое гидростатическое давление. Эксперименты проводились на типичных сверхпластичных сплавах цинка с 0,4%-ной добавкой алюминия, имеющих ультрамелкозернистую структуру (диаметр зерна 1 мкм). Цилиндрические образцы испытывались на растяжение при различных скоростях деформирования (от 10^{-4} до 10^{-1} с $^{-1}$) при комнатной температуре, при атмосферном или высоком (1 ГПа) давлении. Определяли относительное удлинение δ образцов до разрушения. При атмосферном давлении снижение скорости деформирования вызывало увеличение δ от 140 до 420%. При высоком давлении и скоростях деформирования меньше $8 \cdot 10^{-3}$ с $^{-1}$ наблюдалось аномальное изменение δ : при скорости $5 \cdot 10^{-4}$ с $^{-1}$ и обычном давлении $\delta \approx 400\%$, а при давлении 1 ГПа δ уменьшалась до 300%. Таким образом, в области сверхпластичности при повышении внешнего давления δ — один из важнейших параметров пластичности — понижалась. Было обнаружено также, что пластичность под давлением уменьшается тем сильнее, чем выше эта величина при атмосферном давлении.

Понижение пластичности сплава цинк—алюминий под давлением названо баропластическим эффектом при сверх-

пластичности. Предполагается, что он связан с порообразованием и атомной диффузией; в процессе сверхпластичного течения часто образуются поры, влияющие на последующее течение. Деформация сверхпластичных материалов в условиях высокого давления, по-видимому, сопровождается затруднением порообразования и снижением коэффициентов самодиффузии, что приводит к снижению сверхпластической деформации.

Доклады АН СССР, 1982,
т. 267, № 2, с. 370—372.

Физика

Лазер новой конструкции

В Станфордском университете (США) предложен новый метод получения высокой, до тысячи ватт, мощности излучения твердотельного лазера на неодимовом стекле, работающего в непрерывном режиме. Исследователи решительно отошли от традиционных принципов конструирования твердотельных лазеров: в качестве активного элемента предлагается использовать вращающийся диск из неодимового стекла. Это — первый твердотельный лазер с механически движущейся активной средой, а также первый твердотельный лазер на стекле, работающий в непрерывном режиме.

Главный недостаток стекла как активной лазерной среды — низкая теплопроводность и, следовательно, слабая способность рассеивать тепло. В результате в нем возникают большие тепловые напряжения, приводящие к растрескиванию стекла. По мнению Т. Кейна (Т. Кейн; Станфордский университет, США) выход заключается в увеличении отношения поверхности активного элемента (которой пропорционален теплоотвод) к объему накачиваемой области (которому пропорционален нагрев). В случае вращающегося диска это отношение может примерно в сто раз превышать эту же величину для цилиндрического стержня.

По проведенным оценкам, диск диаметром 50 см и

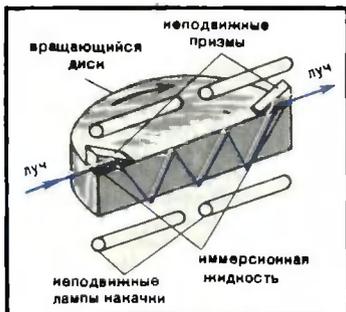


Схема лазера с активным элементом, который представляет собой вращающийся диск из неодимового стекла.

толщиной 7 мм потребует скорости вращения всего около одного оборота в секунду для создания мощности, превышающей 1 кВт. Диск будет непрерывно охлаждаться тонкослойным потоком гелия и накачиваться четырьмя газоразрядными лампами. Вводить и выводить излучение можно с помощью призм, скользящих относительно вращающегося диска на слое иммерсионной жидкости, которая согласует показатели преломления диска и призм. Внутри диска луч будет распространяться, отражаясь от его поверхностей под углом полного внутреннего отражения. Система допускает режим высокой частоты повторения импульсов или непрерывный режим с КПД, по предварительным оценкам, порядка 2—6%. *Laser Focus*, 1983, v. 19, № 1, p. 12 (США).

Физическая химия

Порошковая металлургия аморфных металлов

Возрастающий интерес к аморфным металлическим материалам обусловлен такими их качествами, как твердость и другие механические свойства. Однако сейчас аморфные металлы можно получать лишь в виде ленты, толщина которой не превышает 15—20 мкм. Поэтому встает проблема форми-

рования массивных однородных изделий на основе такой ленты.

Недавно в СССР для получения массивных изделий из аморфных металлов предложено использовать комплекс методов порошковой металлургии; он включает технологию изготовления порошков аморфных металлов и различных сплавов, позволяющую управлять процессами диспергирования и отбора нужных фракций, а также технологию формирования массивных изделий путем обработки порошков давлением (холодное или горячее прессование, прессование методом взрыва).

Так, сплавы $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{B}_{20}$, $\text{Fe}_{70}\text{Ni}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$, $\text{Fe}_{72}\text{Cr}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$, $\text{Fe}_{72}\text{Cr}_8\text{P}_{13}\text{C}_7$, обладающие ценными электрофизическими свойствами, диспергировались по методу так называемого импульсного плазменного канала при подаче напряжения на электроды, изготовленные из исходных сплавов и погруженные в специальную закалочную жидкость. Удавалось получать частицы сферической формы с химическим составом, соответствовавшим исходному расплавленному сплаву, но без его кристаллической структуры. Плотность порошков, зависящая от среднего размера частиц, составляла 0,27—0,41 от плотности исходного материала. Для дальнейшего «компактирования» выделяли фракции с размером частиц 15—50 мкм. Поскольку исследуемые порошки в холодном состоянии при давлении ниже 400 кгс/мм² спрессовывались плохо, использовали горячее прессование при температуре 290—300° С, которое позволило при давлении 75—400 кгс/мм² и выдержке 5—20 мин получать хорошо спрессованные образцы с относительной плотностью 0,87—0,98, близкой к плотности исходного вещества. Как показали рентгеноструктурный и микроструктурный анализ, при горячем прессовании не происходит изменения размеров частиц порошка, характера ближнего порядка или кристаллизации материала. Малая величина зерен и аморфность полученных спрессованных материалов обеспечивали их высокую твердость.

Сплавы $\text{Fe}_{40}\text{Ni}_{40}\text{B}_{20}$ и $\text{Fe}_{70}\text{Ni}_{10}\text{P}_{13}\text{C}_7$ отнесены к «аморфным пермаллоям», у которых особенно интересны магнитные свойства. Исследование кривых намагничивания и спектров ЯГР (ядерного гамма-резонанса) показало, что аморфные металлы проявляли супермагнетизм вплоть до размеров частиц в 200 нм, в отличие от кристаллических порошков $\text{Fe}_{50}\text{Ni}_{50}$, у которых супермагнетизм наблюдался только при радиусах частиц меньше 20 нм.

Доклады АН СССР, 1982, т. 267, № 3, с. 619—622.

Молекулярная биология

Клонированы гены сладкого белка

Интерес к различного рода заменителям сахара не уменьшается. Среди многочисленных причин можно назвать и желание снизить заболеваемость кариесом зубов, и получение менее калорийных пищевых добавок, и улучшение диабетического питания.

В поисках новых заменителей сахара, проводимых исследователями Министерства сельского хозяйства Великобритании, был открыт тауматин: из плодов западноафриканского кустарника выделили белок, состоящий из 200 аминокислот; этот белок был в 100 000 раз слаще сахарозы. Единственный его недостаток (по-видимому, из-за больших размеров молекулы) заключается в том, что ощущение сладости, им вызываемое, приходит не сразу, а чуть позже.

Одна из крупнейших производителей сахара фирма «Тайт и Лайл» уже начала поставлять препараты этого белка под названием «талини». Однако спрос он нашел пока только в Японии, поскольку там его рассматривают как природный продукт, не требующий токсикологических испытаний. По предварительным оценкам Д. Хиггинботам (D. Heggibotham; лаборатория фирмы «Тайт и Лайл», Великобритания), в ближайшее время потребности

в талине могут возрасти до 16 т в год. Это приведет к существенному расширению плантаций, поскольку из 1 т ягод удастся выделить всего 1 кг тауматина.

Другой путь получения тауматина — клонирование генов этого белка, например, в бактериях. Эта задача была решена группой голландских исследователей во главе с Л. Эденсом (L. Edens; исследовательская лаборатория Унилевер). Им удалось выделить гены тауматина и встроить их в кишечную палочку под контроль лактозано-триптофановых регуляторных сигналов.

Безусловно, впереди не легкий путь решения целого ряда биотехнологических задач по получению надежного высокоэффективного продуцента, но первый шаг на этом пути уже сделан.

Nature, 1980, v. 284, № 5757, p. 653 (Великобритания);
Gene, 1982, v. 18, № 1, p. 1—12 (Голландия).

Биохимия

Новые противоопухолевые антибиотики

Сотрудники Московского всесоюзного научно-исследовательского института антибиотиков выделили из образца почва Крыма культуру лучистого грибка — актиномицета вида *Str. tauricus* № 7036—1. Из этой культуры были получены два новых антибиотика, обладающих противоопухолевым действием и получивших название тавримидин А и тавримидин В.

По химическому составу новые антибиотики оказались ближайшими аналогами цинерубинов, отличаясь от них всего лишь на группу $—CH_2—$. После выделения и очистки препараты имели вид порошков красно-оранжевого цвета; молекулярная масса тавримидина А равна 813 Д, тавримидина В 811 Д. Оба антибиотика оказывают токсическое воздействие на культуру опухолевых клеток линии HeLa, в то же время препараты не токсичны для нормальных клеток.

Были проведены опыты на мышцах с перевиваемыми опухолями. Как оказалось, исследуемые антибиотики активно подавляют рост асцитной карциномы Эрлиха: при введении препарата внутривенно в дозе 0,5 мг на килограмм веса животного развитие карциномы полностью тормозится в течение 8 дней. Кроме того, новые антибиотики можно применять при лечении лейкозов (гемоцитобластоза La и La-1210): зафиксировано удлинение продолжительности жизни животных до 90—95% и 15—17%, соответственно для тавримидина А и тавримидина В, при использовании дозы, равной 3 мг/кг, в течение 5 дней.

Следует, однако, иметь в виду, что для использования новых антибиотиков в онкологических клиниках необходимо провести более широкие предварительные испытания их свойств.

Антибиотики, 1982, т. XXVII, № 5, с. 6—11.

Биохимия

Высокоактивные ферменты кальмаров

В нервной ткани кальмаров, особенно в оптических ганглиях мозга, в большом количестве содержатся высокоактивные ферменты из группы холинэстераз¹. Среди них — ацетилхолинэстераза, играющая важнейшую роль в процессе нервно-мышечной передачи: она разлагает медиатор передачи ацетилхолин и тем освобождает путь новому импульсу. Чем быстрее следуют нервные импульсы, тем больше нужно этого фермента и тем выше должна быть его активность. Оптический ганглий — место первичной обработки зрительной информации, а кальмары движутся быстро, и зрение — главный их орган чувств; вот почему концентрация и активность холинэстераз в оптических ган-

глиях, перерабатывающих большое количество информации в кратчайшие сроки, достигают рекордных в животном мире величин.

Интерес биологов и химиков к холинэстеразам связан, в частности, с тем, что некоторые фосфорорганические вещества, ингибирующие холинэстеразу и, следовательно, блокирующие нервно-мышечную передачу, принадлежат к числу наиболее эффективных средств борьбы с вредителями сельского хозяйства. Одно из них, правда, используется не для борьбы с вредителями, а в биологических исследованиях и клинической практике; это диметилпропилфторфосфат (ДФФ), блокирующий активность ацетилхолинэстеразы. У некоторых кальмаров, кроме ацетилхолинэстеразы, имеется и эстераза, не чувствительная к ДФФ; есть у кальмаров и прямое противоядие к ДФФ: из гигантских аксонов звездчатого нервного ганглия кальмаров выделен гидролизующий ДФФ фермент — так называемая ДФФаза кальмарьего типа. Этот фермент был получен в 1966 г., но его свойства еще слабо изучены; в частности, непонятно, какую физиологическую роль он играет в организме кальмара — ведь в природе он с ДФФ не сталкивается.

Недавно американские исследователи Ф. Хоскин (F. Hoskin) и А. Руш (A. Rush) — одни из первооткрывателей кальмарьей ДФФазы — сумели иммобилизовать этот фермент, «посадив» его на агарозу (сефароза-6B). Они установили, что ДФФаза кальмарьего типа гидролизует не только ДФФ, но и близкое по химическому составу соединение: триметилпропилфторфосфат, или пинеколиновый эфир фторангидрида метилфосфоновой кислоты². Это не что иное, как знаменитый зоман, одно из сильнейших парализующих веществ нервно-паралитического действия, необратимо блокирующее ацетилхолинэстеразу. Зоман, как и другое, но менее активное отравляющее вещество того же ряда — зарин, был синтезирован

¹ См.: Кальмары — для фармакологии.— Природа, 1983, № 3, с. 113.

² Science, 1982, v. 215, № 4537, p. 1255.

в Германии в 1930-х годах специально для газовых атак. Хоскин и Руш показали, что хотя ДФФаза медленнее всего гидролизует как раз наиболее смертоносный из 4 стереоизомеров зомана, но и при этом пропускание зомана через 15-сантиметровую колонку агарозы с ДФФазой разлагает этот токсин на 95%.

Конечно, трудно рассчитывать, что из нервной ткани кальмаров удастся получить достаточно много антизомана. Но если удастся выделить ген, ответственный за синтез ДФФазы в нервной ткани, и методами генной инженерии встроить его в геном какого-нибудь быстро размножающегося микроорганизма, как это уже делают с генами интерферона и инсулина, можно будет наладить массовое производство ДФФазы.

К. Н. Несис,
кандидат биологических наук
Москва

Биохимия

Новое о гормонах

Гормоны — биологически активные вещества, оказывающее регулирующее влияние на различные функции организма. По своей химической природе они относятся к белкам или к продуктам их распада, а также к стероидам. Традиционно считалось, что производить гормоны способны лишь высокоспециализированные железы внутренней секреции. Однако за последние годы накопилось большое количество фактов, опровергающих это мнение. Так, например, при некоторых видах рака гормоны вырабатываются опухолевыми клетками. То же самое происходит иногда и с нервными клетками.

Дж. Рот, Дж. Кова и др. (J. Roth, J. Kova; Национальный институт здоровья, США) обнаружили присутствие рецепторов гормона поджелудочной железы инсулина в различных областях мозга, а также в ткани печени людей и животных. Более

того, вещество, подобное инсулину, было найдено у некоторых видов мух, червей, а также у некоторых грибов и бактерий. Оно было выявлено иммунологическими методами, с помощью антител к инсулину. Молекулы этого вещества были тех же размеров, что и инсулин, а их способность окислять глюкозу в жировых клетках (стандартная проба на инсулин) была такой же, как и у инсулина.

У примитивных организмов помимо инсулина были обнаружены такие гормоны, как кортикотропин, В-эндорфин, соматостатин, глюкагон. Это позволило Роту предположить, что гормоны являются эволюционно древними соединениями; они необходимы для осуществления взаимодействия клеток друг с другом. По всей видимости, их можно считать субстанциями, стимулирующими рост клеток или их «общение» между собой, а также стимулирующими различные биохимические реакции. Далее предполагается, что в клеточных геномах существует ряд генов для синтеза разных видов каждого гормона и что каждый ген начинает «работать» только в случае возникновения необходимых условий внутри организма. В подтверждение этой гипотезы группа Рота обнаружила, что морские свинок вырабатывают два различных инсулина. «Нормальный» гормон вырабатывается поджелудочной железой. В мозгу же и других органах синтезируется другой инсулин, отличающийся от обычного рядом свойств. Два инсулиновых гена обнаружены также у крыс, а у некоторых видов рыб оказалось два гена, кодирующих синтез различных глюкагонов.

По мнению Рота, гормоны в процессе эволюции появились еще до того, как растения и животные отделились от своего общего предка. Действительно, у растений найдены алкалоиды, по своей молекулярной структуре отличающиеся от гормонов. Однако они способны связываться с рецепторами гормонов, находящимися на поверхности клеток. При этом такая связь даже более специфична, чем у истинных гормонов. Связываясь с рецепторами гормонов, эти вещества

могут производить действие, подобное действию гормонов. Например, алкалоид, выделенный из корицы, воздействуя на рецепторы альдостерона, может вызывать повышение кровяного давления, подражая действию этого гормона.

Предположения, выдвинутые Ротом, без сомнения, будут стимулировать дальнейшее развитие эндокринологии. *Science*, 1982, v. 215, № 4538, p. 1383—1384 (США).

Медицина

Возраст, курение и остеопороз

Прогрессивное снижение плотности костной ткани с возрастом и последующие проявления остеопороза (пористости костей) — одно из распространенных заболеваний людей пожилого возраста. Механизм развития остеопороза неясен, но известно, что рассасывание костной ткани начинается в возрасте 30—40 лет, причем у женщин оно выражено значительно меньше, чем у мужчин. Американские исследователи из ряда медицинских учреждений г. Бостона — Д. Спарроу, Н. И. Босолей, А. Дж. Гарвей, Б. Рознер и Дж. Е. Зильберт (D. Sparrow, N. I. Beausoleil, A. J. Garvey, B. Rosner, J. E. Silbert) попытались установить, как влияет курение на снижение плотности костной ткани.

У 340 практических здоровых мужчин в возрасте от 40 до 80 лет рентгенологически определяли плотность костной ткани центральной части второй пястной кости. Анализ полученных данных показал, что у людей старшего возраста эта величина меньше, чем у относительно молодых, причем у обследованных курильщиков в среднем плотность костной ткани была несколько ниже, чем у некурящих. Через 3—5 лет проводилось повторное обследование тех же лиц. Оказалось, что в группе курильщиков снижение плотности кости было значительно и достоверно больше, чем в группе некурящих.

Механизм влияния куре-

ния на процессы рассасывания костной ткани неизвестен. Исследователи предполагают, что ускорение этого процесса у курильщиков может быть связано со снижением содержания в тканях витамина С, изменением pH и уменьшением содержания кислорода в крови под влиянием сигаретного дыма.

Archives of Environmental Health, 1982, v. 37, № 4, p. 246—249 (США).

Физиология

Регистрация нервных процессов в коре головного мозга

Медленные суммарные электрические потенциалы, регистрируемые с коры головного мозга или с поверхности головы, исследуются как корреляты сложных психических процессов, а в медицине также как объективный показатель состояния центральной нервной системы. Суммарными они называются потому, что отражают одновременную активность многих тысяч нервных клеток — нейронов. Психофизиолог или клиницист крайне редко имеет возможность регистрировать сигналы отдельных нейронов — в подавляющем большинстве случаев он вынужден судить о состоянии нервных клеток по суммарным потенциалам. Однако вопрос, как связаны суммарные электрические процессы с потенциалами клеток, оставался неясным.

Т. Ш. Лобахуа, Г. Л. Бекая и В. М. Окуджава (Институт физиологии АН ГрузССР) регистрировали у кошек медленные (суммарные) отрицательные отклонения электрического потенциала и соответствующие им электрические процессы в больших пирамидных нейронах коры. Использовались 4 типа стимуляции: самой коры; специфических проводящих путей; неспецифических подкорковых переключающих ядер; отростков самих же корковых клеток (так называемая антидромная стимуляция, при которой импульс распространяется в направлении, обратном распро-

странению нормального физиологического импульса — от отростка к телу клетки). При всех типах стимуляции регистрировались совершенно одинаковые суммарные отрицательные медленные сдвиги потенциала, различным был лишь их латентный период (латентным, или скрытым, периодом в физиологии называется время от начала стимула до реакции на него). В нейронах при этом (во всех ситуациях) наблюдался электрический сдвиг в позитивном направлении, т. е. развивался процесс торможения.

Таким образом, медленное негативное отклонение электрического потенциала, регистрируемое с поверхности коры при разных типах раздражения, отражает тормозные процессы в телах корковых пирамидных нейронов.

Нейрофизиология, 1982, т. 14, № 2, с. 115—121.

Физиология

Сон у тюленей

Продолжая изучение физиологических характеристик сна морских млекопитающих, группа сотрудников Института эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР (Л. М. Мухометов, А. Я. Супин, И. Г. Полякова) провела исследование на четырех каспийских тюленях (*Phoca caspica*).

Три самца и одна самка весом от 23 до 45 кг содержались в небольшом бассейне с помостом, приподнятым над водой. Тюленям в операциях под наркозом с применением искусственного дыхания вводили электроды для регистрации активности коры головного мозга, глаз и мышц шеи. Даю отдохнуть от операции, каждое животное затем соединяли длинным кабелем с регистрирующей аппаратурой и проводили непрерывные сеансы (длительностью до 3 суток) записи физиологических

показателей цикла сон — бодрствование.

Большую часть времени суток у тюленей занимали состояния активного бодрствования и неподвижного бодрствования с закрытыми глазами. Лишь 15% времени суток составлял сон: 13% — стадия медленноволнового сна и 2% — стадия парадоксального сна. Во сне тюлени были неподвижны, находясь в самых разнообразных позах. Они могли спать на помосте, на поверхности воды или в толще, на дне бассейна. Если тюлень спал на дне или в толще воды, то в конце каждой дыхательной паузы (длительностью до 6 мин) он всплывал к поверхности и выставлял наружу ноздри для серии вдохов-выдохов. Если тюлень спал на поверхности воды или на помосте, он мог и не просыпаться для акта дыхания.

Интересно, что информация от чувствительных нервных окончаний в области ноздрей продолжает, видимо, перерабатываться и в глубоком медленноволновом, и в парадоксальном сне; именно это заставляет животное прерывать сон и всплывать для вдоха, если ноздри погружены в воду.

В целом организация сна у тюленей близка ко сну наземных млекопитающих и резко



Тюлень с подключенным кабелем в вольере морской станции Института эволюционной морфологии и экологии животных АН СССР.

См.: Природа, 1982, № 6, с. 111; 1983, № 2, с. 115.

отличается от сна дельфинов: медленноволновой сон тюленей протекает одновременно в обоих полушариях, парадоксальный сон хорошо выражен. Тюлени демонстрируют, таким образом, другую, менее радикальную, чем у дельфинов, форму приспособления процесса сна к водному образу жизни.

Доклады АН СССР, 1982, т. 266, № 3, с. 752.

Зоология

Акулы в водохранилище

Хорошо известно, что современные акулообразные (акулы и скаты) в подавляющем большинстве — морские животные; лишь среди скатов есть одно небольшое пресноводное семейство. Однако особенности осморегуляции и обмена веществ позволяют им беспрепятственно заходить из моря в низовья рек и даже подниматься по ним на сотни километров. Такие случаи известны и для больших рек (Амазонка, Тигр, Замбези и др.), и для малых. Например, в 1972 г. стая крупных акул зашла в небольшую речку Ботчи (Хабаровский край), впадающую в Татарский пролив. В некоторых крупных реках (Амазонка, Ганг) и озерах (Никарагуа) акулы образовали пресноводные популяции. Все эти водоемы связаны (или недавно были связаны) с океаном.

Очень интересно в этом отношении исследование зоологов Р. Монтойа (R. Montoya; Панамский университет, Панама) и Т. Торсона (T. Thorson; Университет штата Небраска, Линкольн, США), проведенные ими на одном из водохранилищ Панамы¹. В 1972 г. была перекрыта плотиной гидроэлектростанция р. Байано, впадающая в море. После завершившегося к 1976 г. заполнения водохранилища стали поступать сообщения о том, что в нем обитают крупные рыбы.

¹ Montoya R. V., Thorson T. B. *Environmental Biology of Fishes*, 1982, v. 7, № 4, p. 341.

В 1980—1981 гг. зоологи обнаружили в этом водохранилище и изучили по 3 особи серой бычьей акулы (*Carcharhinus leucas*) и рыбы-пилы (*Pristis perotteti*) — представителя надотряда скатов. Длина тела наибольшей из акул составляла 226 см, а наибольшая рыба-пила достигала 276 см. Все особи были нормально развиты и половозрелы.

Несомненно, что акулообразные попали в это водохранилище еще до перекрытия реки, т. е. к моменту поимки обитали в нем или впадающих в него реках уже не менее 8—9 лет. Данный факт еще раз подтверждает исключительно высокую физиологическую пластичность современных акулообразных и большой диапазон их адаптивных возможностей.

Н. А. Мягков
Москва

Зоология

Новая экзокринная железа у муравьев

Когда разведчики австралийского муравья *Camponotus caryocellus* обнаруживают вблизи гнезда корм, они прокладывают от него к гнезду след запахов, оставляя на почве капельки феромона из ректальной железы в задней кишке. Однако, как установил американский исследователь Б. Холлдоблер (B. Holldobler), этот феромон сам по себе непригоден для муравьев и используется ими только для ориентации. «Мобилизацию» проводят вернувшиеся в гнездо разведчики, которые возбуждают других муравьев резкими движениями и затем ведут группу из 3—12 «мобилизованных» муравьев к источнику корма по проложенному перед этим следу. Для привлечения «мобилизованных» муравьев они выделяют специальный феромон-аттрактант из железы, о существовании которой у муравьев ранее не было известно.

Новая железа была назва-

на Холлдоблером клоакальной. Она представляет собой парную железу, состоящую из двух скопленных железистых клеток, расположенных на внутренней поверхности 7-го стернита брюшка и соединенных двумя самостоятельными протоками с клоакальной камерой, куда выходит также задняя кишка, ядовитая железа и так называемая железа Дюфура.

Если вещества, содержащиеся в клоакальной железе, нанести на кончик тонкой деревянной палочки, они эффективно заменят муравья-разведчика: медленно перемещая палочку в непосредственной близости от поверхности почвы, можно вести за ней группу «мобилизованных» муравьев в любом направлении. Они будут двигаться за палочкой так же, как за муравьем-разведчиком. Таким образом, феромон клоакальной железы — основное средство для проведения пищевой «мобилизации» у австралийских муравьев.

Naturwissenschaften, 1982, В. 69, № 4, С. 186—187 (ФРГ).

Палеонтология

Природная ловушка для мамонтов

В Южной Дакоте (США) при строительных работах обнаружена уникальная залежь костей мамонта в отложениях, заполнивших карстовую полость глубиной 14 м. К настоящему времени раскопана лишь небольшая часть этой залежи, но уже извлечены кости свыше 30 особей мамонта. Кроме того, найдены единичные кости медведя, койота, верблюда.

Карстовая воронка имеет диаметр около 50 м и представляет собой структуру проседания над растворенными древними осадками. В результате прорыва в карстовую полость артезианского источника в ней образовался водоем глубиной около 5 м. Крутые борта воронки сложены алевроитом (мелкоземом), поэтому спускавшиеся на водопой животные, будучи не в состоянии выбраться наверх по крутым скользким

стенкам, погибали, а их останки захоронялись на дне воронки.

В заполнении этой карстовой полости выделяются три фазы: в самом низу в результате подводных обрушений стенок или при переполнении водоема откладывались грубые галечники и пески; средняя часть толщи сложена тонкозернистыми песками и глинистыми илами; верхняя содержит множество следов биогенного происхождения. Стратиграфический анализ этих отложений показывает, что мамонты попадали в воронку все время, пока в ней существовал водоем — на протяжении более 300 лет, т. е. захоронение не связано с каким-либо катастрофическим событием. По мнению исследователей, водоем перестал существовать в результате снижения гидравлического напора питающего его источника.

Возраст этой природной ловушки, определенный радиоуглеродным методом по коллагену кости из отложений второй фазы, — 26 тыс. лет.

XI Конгресс ИНКВА (Международный союз по изучению четвертичного периода; INQUA — International Union for Quaternary Research). Тезисы докладов, т. 1, М., 1982, с. 306—307.



Экология

Последствия нефтяной катастрофы

В марте 1978 г. в 1,5 милях от побережья Бретани (Франция) потерпел крушение японский супертанкер «Амоко Кадис»¹. Эту аварию, в результате которой разлилось около 223 тыс. т нефти, зарубежная пресса позднее назвала «катастрофой века». Ее последствия оказались грандиозными². На протяжении нескольких километров от места крушения погибло все живое на литорали.

¹ См.: 1978 год — рекордный по загрязнению морей. — Природа, 1979, № 12, с. 99.

На более удаленных участках наблюдалась высокая смертность почти во всех группах флоры и фауны. В сублиторальных сообществах наибольшая смертность отмечена среди морских ежей, моллюсков, амфипод. Сильно пострадали промысловые виды устриц, омаров, крабов, рыб. В ряде мест произошла смена сообществ³.

Катастрофа побудила экологов организовать многолетние наблюдения за воздействием разлившейся нефти на все компоненты прибрежной экосистемы. Представители морских учреждений и ведомств ряда стран под общим руководством французского Национального центра по освоению океанов разработали долгосрочную программу исследований, в том числе изменения химического состава воды, донных осадков и морских организмов, микробиологических процессов разложения нефти.

Как известно, нефть представляет собой многокомпонентную смесь из различных соединений, главным образом углеводородов, а также металлов (вольфрам, никель, железо и др.). Каждая группа таких соединений оказывает специфическое влияние, вызывая либо мгновенную смерть, либо сублетальные эффекты, затрагивающие рост, развитие и поведение организмов.

Спустя полгода после разлива нефти протяженность загрязнений сократилась с первоначальных 300 до 220 км, через год — до 100 км, а через полтора года — до 50 км. Некоторые районы побережья, возможно, будут загрязнены в течение 10 лет. Количество испарившейся летучей фракции нефти оценивается в 60—90 тыс. т, а общее количество нефти, разложенной нефтеокисляющей микрофлорой — в 10 тыс. т. Таким образом, только 5% раз-

литой нефти подверглось биологическому разложению — остальная часть в той или иной форме перешла в воздушную или водную среду.

Из испарившихся в атмосферу углеводородов легкой фракции 40% составляют ароматические вещества, опасные для человека (толуол, бензол и др.). Консервативные компоненты тяжелой фракции (парафины, фенантроны, асфальтены и др.) остались в больших концентрациях, токсичных для живых организмов, как в воде, так и в донных осадках.

Различные подходы к изучению последствий катастрофы — биохимический, физиологический, морфологический, этологический, генетический, экосистемный — продемонстрировали весь спектр смертельных и опасных проявлений воздействия разлившейся нефти практически во всех группах изучавшихся животных и растений. Причиненный убыток, подсчитанный специалистами лишь относительно промысловых видов (рыбы, крабы, омары, устрицы, водоросли), оценивается в миллионы долларов. Что же касается различных видов дикой природы, то здесь размеры нанесенного ущерба даже невозможно установить.

Основной вывод, который следует из работ экологов, изучавших последствия разлива нефти от «Амоко Кадис»: катастрофы такого рода приводят к колоссальному обеднению морской биоты, что в целом сокращает общую емкость биосферы для человека.

И. А. Мельников,
кандидат биологических наук
Москва



Экология

Загрязнение воздуха в США

Несмотря на наметившуюся в последние годы тенденцию к снижению уровня загрязнения окружающей среды в США, во многих крупных городах страны загрязненность

² Journées spéciale "Amoco Cadiz", Brest, France, 7 Juin 1978. Publications du Centre National pour l'Exploitation des Océans (CNEXO). Série "Actes de Colloques", 1978, № 6.

³ Laubier L.—Ambio, 1980, v. 9, № 6, p. 268.

воздуха значительно выше национальных стандартов¹.

Контроль за состоянием воздушной среды осуществляется в США сетью специализированных станций. В 1978 г. 32 из 126 станций, следящих за содержанием в воздухе двуоксида азота (NO_2), зарегистрировали превышение национального стандарта среднегодовой концентрации этого вещества. В результате в течение 1978—1979 гг. в условиях повышенного риска развития заболеваний находились 41,7 млн человек. В целом уровень загрязнения воздуха NO_2 за период с 1970 по 1980 гг. вырос в США на 20%.

Содержание в атмосферном воздухе озона (O_3) контролируется 122 станциями. Начиная с 1975 г. его уровень снижается с постоянной скоростью — на 1% в год. Тем не менее ожидается, что в 1987 г. 35 млн человек все еще будут подвергаться воздействию O_3 в концентрации, превышающей национальный стандарт.

Определение содержания в воздухе окиси углерода (CO) проводится на 91 станции. С 1970 по 1980 г. в целом по стране загрязненность воздуха CO снизилась на 40,6%. Однако в 1980 г. в 145 округах было отмечено превышение национального среднегодового стандарта, причем в 39 из них — более чем на 100%. В 1982 г. наблюдалось превышение стандарта содержания в воздухе CO в 28 крупных городах; в 22 из них среднечасовой национальный стандарт превышался на 150%.

Уровень загрязнения воздушной среды аэрозолями определяется на 130 станциях, вошедших в строй в 1979 г. В пяти

крупнейших городах страны проведена оценка распределения частиц аэрозолей размерами от 1 до 100 мкм. Обнаружено, что в Нью-Йорке 56% массы аэрозолей составляли наиболее опасные для здоровья частицы размером менее 10 мкм.

К одному из наиболее загрязненных относится воздушный бассейн Лос-Анджелеса. В течение 30 последних лет в этом районе летом наблюдается значительное (в 3—3,7 раза) превышение стандарта среднечасовой концентрации O_3 , а зимой — четырехкратное превышение стандарта NO_2 .

Environmental Science and
Technology, 1982, v. 16,
№ 9, p. A506—A507 (США).

Геология

Новый геологический период!

П. Клауд (P. Cloud; Университет штата Калифорния, Санта-Барбара, США) и М. Глесснер (M. Glaessner, Аделаидский университет, Австралия) по существу предложили ревизию геологической шкалы: за счет включения нового периода — эдиакария — отодвинуть границу фанерозоя за пределы кембрия.

Исследователи определяют эдиакарий как геологический интервал времени, характеризующийся существованием древнейших известных многоклеточных животных: мягкотелых членистоногих, кольчатых червей, примитивных кишечнополостных и других морских беспозвоночных и родственных им форм. Типовым районом нового периода служат холмы Эдиакара в Южной Австралии, где впервые были открыты эти уникальные виды метазойской фауны. Аналогичные виды были найдены также в Азии, Африке, Европе и Северной Америке; после заключительного протерозойского оледенения они оказались широко распространены в тогдашних низких палеоширотах.

Нижний эдиакарий, перебивающий вендские гляциоге-

ные отложения, хранит древнейшую достоверную запись проявлений животной жизни на Земле. Верхняя граница нового периода связана с появлением и расцветом кембрийских животных форм, имеющих твердый скелет. Хотя надежных данных по абсолютному возрасту эдиакария мало, приблизительно временные границы периода определены в 670—550 млн лет.

Episodes, 1982, № 3, p. 31
(Канада).

Геология

Столкновение Евразии и Индии

Как происходило столкновение двух материковых глыб — Евразии и Индии? Многие важные детали этого события, приведшего к образованию гигантских горных цепей Гималаев и высоко поднятых плато Тибета, остаются невыясненными. Недавно новые данные получены благодаря совместной работе в Южном Тибете группой геофизиков из Франции и КНР — Ж.-П. Поззи (J.-P. Pozzi; Парижский институт физики Земли), Яо Сюэджоу, Ли Шэнжином и Сянь Яочэнем (Yao Xiu Zhou, Li Sheng Xing, Xian Yao Chen; Китайская академия геологических наук).

Как сохранившийся след столкновения Евразии и Индии многие исследователи рассматривают геологически ярко выраженную шовную зону Ярлунг Занг Бо, севернее которой расположен массив Ласа. Одни авторы считают этот массив частью Индийской плиты, а другие — частью Евразийской. На территории этого массива и проводились полевые исследования.

В осадочном чехле массива Ласа, имеющем мел-палеогеновый возраст, преобладают известняки, красноцветные песчаники, встречается вулканический материал (андезиты и дациты). Из нескольких разрезов были отобраны ориентиро-

¹ Термин «национальный стандарт» является аналогом понятия «предельно допустимая концентрация», используемого в СССР. Национальные стандарты разработаны и приняты в США только для наиболее распространенных загрязнителей атмосферного воздуха, таких как O_3 , CO , NO_2 , SO_2 , Pb, фотохимические оксиданты. Для этих веществ во всех 50 штатах страны введена единая система мониторинга. — Прим. ред.

Геология



Положение массива Ласа в Южном Тибете.

-  Крупнейшие шовные зоны:
1 — Фронтальная Гималаев,
2 — Ярлунг Занг Бо
-  Крупные разломы с обозначением направления движения по ним
-  Массив Ласа — район работ экспедиции

ванные по странам света образцы, в дальнейшем исследовавшиеся палеомагнитным методом. Установлено, что в юрское время блок Ласа находился вблизи экватора; к середине мелового периода он переместился на широту около 20° к северу от экватора; в настоящее время он расположен у 30° с. ш.

Известно, что Евразия со второй половины мезозоя скользила к северу. Напротив, Индия, ранее располагавшаяся, согласно палеомагнитным данным, много южнее — около 30° ю. ш., затем в составе крупной Индоокеанской плиты переместилась к северу. Интерпретируя полученные данные, авторы считают, что между Индией и Евразией в обширном океаническом пространстве располагается микроконтинент Южного Тибета (вместе с массивом Ласа). Его столкновение с Евразией произошло, вероятно, около 25 млн лет назад — раньше, чем придвинулась Индия.

Энергетические ресурсы Северного моря

Важное место в энергетическом снабжении Западной Европы в последние 15 лет занимает добыча нефти и газа на континентальном шельфе Северного моря: на долю этого района приходится более 90% запасов нефти и более 63% запасов природного газа Западной Европы.

Первое месторождение природного газа было открыто в Британском секторе Северного моря в 1964 г., но лишь два года спустя началась его разработка. За последующие 15 лет общая добыча природного газа из месторождений Северного моря превысила 532 млрд м³, причем за один лишь 1981 г. она составила 74 млрд м³. Доля поставленного по трубопроводам к берегам Великобритании, Нидерландов и ФРГ природного газа достигла 40% от всей западноевропейской добычи.

Значительно медленнее по сравнению с природным газом шло освоение нефтяных месторождений. Рост добычи нефти в 1975 г. был связан с вводом в действие первого нефтепровода «Экофикс» — Тиспорт (Великобритания). Дальнейшей разработке нефтяных месторождений способствовало строительство еще двух нефтепроводов к берегам Великобритании. Общая добыча нефти из месторождений Северного моря за 6 лет превысила 475 млн т, из них 112,5 млн т приходится на 1981 г., что составляет около 90% ежегодной добычи нефти в странах Западной Европы.

Подтвержденные на 1982 г. основные запасы нефти и газа расположены в центральной и северной областях Северного моря. Доля Британского сектора во всей современной добыче природного газа в

Северном море превышает 50%, нефти — 78%.

В Норвежском секторе находятся крупнейшие месторождения нефти и газа (например, запасы месторождения Тролл составляют по газу — 10¹² м³, по нефти — 150 млн т), однако их разработка начнется не ранее 1990 г.: глубина моря здесь превышает 300 м, а это предъявляет особые требования к добывающей технике. Обсуждаемые проекты освоения этих месторождений предполагают строительство нефте- и газопроводов, а также сжижение газа непосредственно в местах добычи с последующей его транспортировкой танкерами.

Oil Gas European Magazine, 1982, v. 8, № 2, p. 23—33 (Великобритания).

Геотектоника

Крупные неоднородности в строении земной коры

До недавнего времени о крупных неоднородностях в строении земной коры и вообще литосферы было известно очень немного. Успехи в изучении геологии океанов и регионально-геологическом исследовании континентов принесли важные данные в этой области. Синтез этих данных в глобальном масштабе выполнен Ю. М. Пуцаровским (Геологический институт АН СССР). Имеются в виду геохимические, металлогенические, петрографические, геофизические и тектонические неоднородности, изучение которых проливает свет на историю формирования оболочек Земли как в радиальном, так и в латеральном направлениях.

Особого внимания заслуживает глобальная асимметрия нашей планеты, выражающаяся в резком различии ее Тихоокеанского и Индо-Атлантического сегментов. Это неоднородность первого порядка, которую можно объяснить первичной гетерогенностью вещества Земли в начальный период формирования планеты.

Nature, 1982, v. 297, № 5864, p. 319—321 (Великобритания).

¹ Подробнее см.: Нефть Северного моря. — Природа, 1982, № 8, с. 116.

Большая роль в создании различных неоднородностей меньших порядков и распределении их в пространстве принадлежит конвективным процессам, происходящим на разных глубинных уровнях в недрах Земли. Внутриземные процессы, ротационные напряжения, а также космические влияния вызывают тектонические движения на планете, которые приводят к латеральным и радиальным перемещениям масс горных пород. Движения имеют разный масштаб и различную скорость и могут охватывать более или менее значительные пространства. Сложные комбинации причин, вызывающих тектонические движения, не позволяют привлечь для их объяснения какой-либо универсальный механизм.

Геотектоника, 1982, № 5,
с. 3—16.

Геотектоника

Гипотеза дифференциальных движений в литосфере

Как теперь ясно уже многим, гипотеза тектоники литосферных плит не находит подтверждения по ряду чрезвычайно важных положений. В их число, по мнению А. В. Пейве и А. А. Савельева (Геологический институт АН СССР), входят такие постулаты, как жесткость литосферных плит при большой длительности их напряженного состояния и наличие сплошного астеносферного слоя (т. е. слоя пониженной вязкости), по которому движутся литосферные плиты. Развивая представления Вегенера, упомянутые авторы предлагают иную модель строения литосферы и движения в ней, названную ими гипотезой дифференциальных движений в литосфере¹.

Под литосферой понимается тонкая внешняя оболочка Земли, верхнюю часть которой составляет земная кора. Геофи-

зические исследования последних лет показали, что нижней повсеместной и определенной границы литосфера не имеет и связана с подстилающими глубинными породами сложными и непрерывными переходами. Толщина литосферы — всего около 2% радиуса планеты (средний радиус равен 6371 км), и в этой тонкой пленке происходят процессы, которые, с одной стороны, отражают глубинные явления и в то же время определяют строение земной поверхности. Поэтому отдельные тектонические явления могут быть общими как для литосферы, так и для более глубоких земных сфер.

Новая гипотеза — прежде всего мобилистическая гипотеза. Характерную для литосферы вещественно-тектоническую вертикальную расслоенность и латеральную неоднородность (мозаичность) авторы объясняют неравномерным и разновременным перемещением разных по возрасту горных масс вследствие наложения вертикальных и горизонтальных движений этих масс. Эти движения отражают вязкопластичное поведение пород при их длительном напряженном состоянии и в силу различных свойств этих пород несут неравномерный дифференциальный характер. Частный пример таких движений — образование на разных уровнях литосферы и земной коры разобращенных линз пород с пониженной вязкостью (астенолинз). Подобных линз в одном вертикальном разрезе может быть несколько.

В основу объяснения геологических процессов авторами положена идея радиальной (вещественно-гравитационной) дифференциации вещества Земли — от хаотически беспорядочного до некоторого упорядоченного состояния. Такая дифференциация влечет за собой пульсационно-ритмические восходящие движения мантийных масс, характерной чертой которых является отсутствие замкнутых вертикальных конвективных потоков (ячеек). Вблизи земной поверхности восходящие движения трансформируются, приобретают преимущественно латеральную направленность и характеризуются сложным из-

менчивым режимом. В этом и состоит главное положение гипотезы. Итак, пульсационно-ритмические движения обусловлены неравномерностью и разновременностью процесса дифференциации мантийных масс, а трансформация движений в латеральном направлении — физикой восходящего конвективного потока масс вблизи земной поверхности.

Член-корреспондент АН СССР
Ю. М. Пущаровский

Геофизика

Сейсмический «шторм» на востоке США

На юго-востоке США, в 50 км к северу от г. Литл-Рок (штат Арканзас) разразился сейсмический «шторм»: только за первые 9 месяцев 1982 г. на площади всего 36 км² произошло более 17 тыс. подземных толчков. В районе была спешно развернута сеть сейсмических станций. Первый толчок имел магнитуду 1,3 (по американской шкале); максимальный достигал 4,5. Все эпицентры землетрясений располагались на небольшой глубине — от 1 до 9 км. С течением времени сейсмическая активность несколько уменьшилась.

Ни в историческом прошлом, ни в последние десятилетия, когда стали проводиться инструментальные наблюдения, здесь не было зарегистрировано ни одного землетрясения. Что могло послужить причиной такого сейсмического «взрыва»?

В геологическом отношении этот район достаточно древний. Он был охвачен тектоническими движениями в палеозое и с тех пор, казалось, не претерпел сколько-нибудь значительных деформаций. Землетрясения происходят севернее складчатого пояса Уачита, в пределах осадочного бассейна Аркома. На глубину около 3 км этот бассейн заполнен глинистыми и песчанистыми сланцами, под которыми расположены очень плотные карбонатные породы палеозойского возраста

¹ Пейве А. В., Савельев А. А. — Геотектоника, 1982, № 6, с. 5.

(кембрий — девон). Ниже, на глубине 4,5—5 км, залегает кристаллический фундамент. На первый взгляд, как считает А. Джонстон (A. Johnston), сейсмолог из Университета штата Мемфис, здесь нет ни видимых геологических структур, ни аномалий в геофизических полях, которые позволили бы предсказать сейсмическую опасность. И хотя на этой площади закартированы многочисленные разрывные нарушения — сбросы, сдвиги, свидетельств движения по ним в недалеком геологическом прошлом не имеется.

Землетрясения внутри стабильных зон происходят нечасто. Например, на востоке США, помимо описанных арканзасских, зарегистрированы подземные толчки в штате Кентукки в 1980 г. и в штате Нью-Брунстик в 1982 г. И ни один из этих районов не рассматривался ранее как сейсмоопасный.

Обычно причиной внутриплитовых землетрясений называют локальные деформации плит, вызванные тектоно-магматическими процессами (спрединг) в срединно-океанических хребтах. Однако Джонстон полагает, что должна быть найдена более конкретная причина. Он считает, что арканзасские землетрясения могут быть вызваны внедрением локальной интрузии (магматического тела). В подтверждение приводятся данные по сейсмичности зон современного вулканизма (Гавайские о-ва, Япония): они весьма похожи на подземный «шторм» в Арканзасе. Но может ли в пределы древнего консолидированного региона внедриться одиночная интрузия небольших размеров? Этот вопрос остается открытым.

EOS (Transactions of the American Geophysical Union), 1982, v. 63, № 50, p. 1209 (США).

Океанология

Марганец на дне океана

Во многих районах Мирового океана, где происходит растяжение морского дна (спрединг), обнаружены скопления

полиметаллических сульфидов. Ныне группа геофизиков и геологов из Великобритании и Новой Зеландии, возглавляемая Д. Кронаном (D. Cronan; Имперский колледж науки и техники в Лондоне), сообщила об открытии аналогичных скоплений в районе островных дуг на юго-западе Тихого океана. Богатые отложения марганца приурочены здесь к местам выброса со дна перегретых термальных вод. На гидротермальное происхождение залежей указывает также анализ связанных с ним изотопов урана.

Это первый случай обнаружения подобных месторождений в области островной дуги. Он свидетельствует, что такое явление значительно более распространено, чем полагали до сих пор.

Изучение образованной окислами марганца корки на поднятых со дна образцах говорит о том, что в этих отложениях накопление марганца идет значительно быстрее, чем в конкрециях известного ранее типа. Авторы полагают, что дальнейшие исследования этого района могут привести к открытию полиметаллических сульфидов.

Теперь очевидно, что не только центры спрединга, расположенные вдоль срединно-океанических хребтов, но и молодые в геологическом отношении островные дуги должны считаться перспективными для разработок месторождений сульфидов.

Nature, 1982, v. 298, № 5873, p. 456—458 (Великобритания).

Океанология

«Черные курильщики» на дне Марианского трога

«Черными курильщиками» называют мощные струи горячих вод, которые поступают на морское дно, а затем в толщу воды из тех районов земной коры, где находятся магматические очаги. До сих пор данных о существовании таких струй на западе Тихого океана вообще, и в окраинных морях в част-

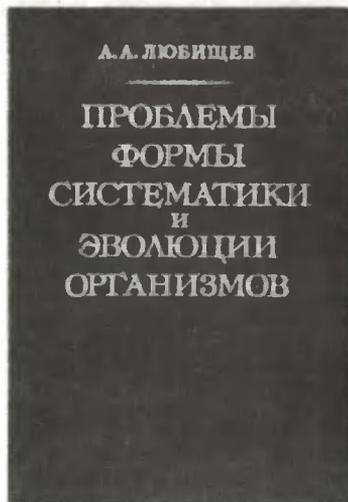
ности, не было; «черные курильщики» были известны только в районах Восточно-Тихоокеанского поднятия и устья Калифорнийского залива. Там температура таких струй достигает 350°C, что обуславливает совершенно специфическую морскую жизнь в окружающем районе. Струи выносят различные металлы, которые выпадают на дно в виде сульфидов или других соединений. Многие думают, что таким путем в геологическом прошлом могли возникнуть первичные месторождения полезных ископаемых.

И. Хорибе (I. Horibe; Институт исследований океана при Токийском университете, Япония), К. Р. Ким и Г. Крэйг (K. R. Kim, H. Craig; Скриппсовский океанографический институт, США) приводят аргументы в пользу существования горячих струй на западе Тихого океана — в Филиппинском море, в осевой части Марианского трога, находящегося в тылу Марианской островной дуги. Взятые на глубине около 3 км пробы воды показали наличие здесь самой крупной, по сравнению со всеми известными, метановой аномалии. Этот же газ в восточной части Тихого океана содержится в гидротермах. Другой аргумент — повышенное содержание гелия. Ранее в том же трого драгами были подняты металлоносные отложения, которые обычно ассоциируются с сульфидными рудами, образующимися из горячих источников на морском дне. Можно предположить, что здесь, как и в соответствующих районах восточной части Тихого океана, существует разнообразная органическая жизнь — особые моллюски, специфические трубчатые черви и другие организмы. Чрезвычайно интересно, окажутся ли они похожими на восточно-тихоокеанские. Предполагается, что в 1984—1985 гг. в районе Марианского трога опустится американский подводный аппарат «Алвин».

Nature, 1982, v. 300, № 5889, p. 215—216 (Великобритания).

Полвека размышлений о биологии

Академик Б. С. Соколов
Москва



А. А. Любищев. ПРОБЛЕМЫ ФОРМЫ, СИСТЕМАТИКИ И ЭВОЛЮЦИИ ОРГАНИЗМОВ. Сборник статей. М.: Наука, 1982, 278 с.

Рассказывая о вновь вышедшей книге, рецензент обычно сначала представляет автора. В отношении А. А. Любищева (1890—1972) это сделать непросто. Его послужной список не поражает должностями и званиями. Он был профессором, доктором сельскохозяйственных наук, заведовал лабораториями и кафедрами в разных городах. Его конкретные исследования по прикладной энтомологии и применению математики в биологии известны специалистам. Люди, далекие от биологии, узнали о нем из публикаций и докладов, касавшихся общих проблем развития науки, но в большей степени — из посвя-

щенной ему документальной повести Д. А. Гранина «Эта странная жизнь». Большинству биологов А. А. Любищев известен как эволюционист и теоретик в области систематики и морфологии. Это, безусловно, была главная сфера его интересов. Однако труднее всего сказать, в чем же конкретно его заслуга именно здесь, в области теории.

Обычно достижения биологии можно резюмировать несколькими фразами. Для нас Ч. Дарвин — это прежде всего создатель теперь уже знаменитой эволюционной теории, в которой главным двигателем эволюции принимается естественный отбор. Л. С. Берг известен как автор номогенеза — иной эволюционной теории, ставящей во главу угла закономерный характер изменений организмов в ходе эволюции, причем естественному отбору отводится вспомогательная роль. С именем Н. И. Вавилова мы прежде всего связываем закономерности изменчивости организмов (закон гомологических рядов в наследственной изменчивости). И. И. Шмальгаузена мы вспоминаем каждый раз, когда говорим о теории стабилизирующего отбора, описывающей изменение в ходе эволюции сложных взаимоотношений между внешними и внутренними факторами в индивидуальном развитии. Этот перечень можно продолжить.

Включить А. А. Любищева в подобный перечень имен и связанных с ними конкретных теоретических обобщений нельзя. Тем не менее известность А. А. Любищева не случайна и не создана искусственно.

Нередко можно слышать сетования (иногда даже в газетных публикациях), что нынешняя биология, наука в целом страдают от недостатка свежих революционизирующих идей. Я не уверен, что эти сетования справедливы. В некоторых областях биологии, например в теории

эволюции, обескураживает не столько недостаток, сколько избыток разнообразнейших идей. Многие из них претендуют на универсальность. В свежести, если под ней понимать неожиданность сопоставлений, привлечение экстравагантных эволюционных механизмов, этим идеям не откажешь. Однако непонятно, что же делать с этим многообразием теоретических обновлений. Каждый автор предъявляет ворох аргументов в свою пользу, каждый обещает разрешение давних загадок, берется объяснить все на свете. Но сказанное одними людьми резко противоречит сказанному другими. С другой стороны, биология наводнена потоком разнообразнейших описаний, наблюдений, экспериментов, моделей. Информационный поток оказывается намного мощнее тех средств, которые предназначены для его переработки в теоретические обобщения.

Итак, для современной биологии характерны несбалансированность теории и эмпирии, идейное вооружение избыточно в своем разнообразии и недостаточно для освоения эмпирического материала. В этой ситуации простое умножение теоретических построений, как и дальнейший прирост эмпирии, не приводят не только к разрешению, но даже и освещению основных биологических проблем. Самым важным становится иное, а именно умение оценивать продукцию, поступающую на научный информационный рынок. Особую роль приобретает научный критицизм. Он проявляется по-разному, разделяется на несколько уровней — от методики конкретных исследований до философского осмысления научной деятельности в целом. Именно этим и занимался А. А. Любищев. В этом — главный интерес его работ, выходящий далеко за пределы биологии.

В рецензируемый сборник вошли лишь некоторые

статьи А. А. Любищева по проблемам формы, систематики и эволюции организмов. Статьи подобраны таким образом, чтобы у читателя могло сложиться целостное впечатление о системе общебиологических представлений А. А. Любищева. Поскольку его взгляды во многом непривычны, а иногда и трудны для восприятия, сборник сопровождается обстоятельной вступительной статьей (авторы С. В. Мейен и Ю. В. Чайковский), в которой, с одной стороны, кратко резюмирован подход А. А. Любищева к морфологии, систематике и эволюции организмов, а с другой — дается критическая оценка его мыслей. Надо отдать должное авторам вступительной статьи. При их очевидной симпатии и к личности А. А. Любищева, и к многим его идеям, они не взяли на себя роль апологетов, а подошли к анализу его наследия по его собственному образцу. Примерно треть вводной статьи — это внимательная и конструктивная критика его взглядов. Замечу попутно, что они нередко критиковались в литературе иначе — без рассмотрения по существу, а порою и в искаженном виде.

Публикуемые статьи распределены по трем разделам: «Принципы построения системы организмов», «К теории эволюции» и «Об изучении органических форм: анализ некоторых подходов и понятий». Всего в сборнике помещено 13 статей, из которых три ранее не публиковались, одна была опубликована в сокращенном виде на английском языке, а из остальных большинство выходило в малодоступных изданиях.

Через все статьи сборника проходят основные биологические убеждения А. А. Любищева. Он считал, что биология должна следовать образцу точных наук. На место расплывчатых объяснений, даваемых биологическим явлениям «задним числом» и не имеющих предсказательной силы, надо поставить законы, точно и кратко описывающие как строение организмов, так и их эволюционные изменения. Для этого надо прежде всего сконцентрировать внимание морфологии не на адаптивном и историческом

толковании форм, а на их симметричном математическом описании. Знание закономерностей формы откроет пути для раскрытия соответствующих закономерностей в системе организмов, которая может оказаться не связанной с одной лишь филогенией. Идеалом систематики он считал Периодическую таблицу элементов Менделеева. В отличие от Л. С. Берга, считавшего сутью эволюции следование законам-предписаниям, А. А. Любищев видел главной причиной направленности эволюции наличие ограничений в разнообразии живого. В этом смысле его концепция номогенеза была совершенно иной, чем у Л. С. Берга.

Примерно такие взгляды и излагаются в разных статьях сборника. Это преимущественно идеалы, которые сам А. А. Любищев из-за невероятной трудности поставленных задач (даже если они в принципе разрешимы) не мог осуществить. Он понимал грандиозность поставленных проблем, необходимость труда многих талантливейших людей для их разрешения. Однако, чтобы его идеалы заинтересовали других, надо было показать недостаточность уже предложенных решений основных проблем и ошибки в ориентации проводящихся исследований. Поэтому А. А. Любищев уделяет много внимания критике современных направлений теоретической биологии. При этом он стремится не просто вскрыть частные противоречия и просчеты в работах биологов иной, чем у него, теоретической ориентации, но и пытается разобраться в наиболее глубоких предпосылках их утверждений. Теоретико-биологический анализ переходит в философский. А. А. Любищев привлекает философию не для того, чтобы опорочить биологические концепции, связав их со скомпрометированной в глазах ученых философской доктриной. Для него философия — действенный инструмент мышления, умение правильно сформулировать вопрос, разобраться в самых сложных понятиях. В приведенном им самом сравнении философия факелом освещает путь госпожи-науки, а не несет ее шлейф.

Некоторые из статей сборника были опубликованы еще в 20-х годах и не снискали тогда признания. Интересно, что одна из них, посвященная естественной системе организмов (1923), теперь широко цитируется как основополагающая в работах по теории классификации. Любопытна судьба мыслей, высказанных в статье 1925 г. («Понятие эволюции и кризис эволюционизма»). Ее автор выводит несколько антиномических понятийных пар, которые, во-первых, обозначают определенные взгляды на сущность эволюционного процесса, а во-вторых, раскрывают само понятие эволюции. Эти выведенные А. А. Любищевым почти 60 лет назад антиномии удержались и в современной биологии. Они лишь излагаются в других терминах. Так, сейчас, как и в те годы, обсуждается соотношение преформированности и новообразований в эволюции, идет оживленная дискуссия вокруг новомодной концепции «прерывистого равновесия», которая мало чем отличается от давних представлений о неравномерности хода эволюции. Интересно, что точки зрения, разбираемые в этой давней статье А. А. Любищева и выдвигавшиеся тогда в противовес дарвинизму, ассимилированы современным дарвинизмом — синтетической теорией эволюции. Таковы все представления о направленности эволюции (они исконно принадлежат номогенезу и близким к нему учениям) и возможности сальтационных преобразований.

Размышления о форме, системе и эволюции организмов неизбежно приводят в философию. Когда речь заходит о теории систематики, мы сталкиваемся с философской проблемой реальности таксонов (систематических единиц). Промежение широкого арсенала физических и химических методов в биологических исследованиях придает меняющийся смысл дискуссиям о редукционизме, о методологической допустимости сведения (редукции) биологических явлений, структуры и функционирования живых существ к физическим и химическим закономерностям. Возможность того, что направлен-

ность эволюции не обязательно контролируется отбором, возрождает интерес к проблеме целесообразности в природе.

Эти и некоторые другие вопросы, касающиеся в равной мере и биологии, и философии, обсуждаются в статьях «О критериях реальности в таксономии», «Проблема целесообразности», «Редукционизм и развитие морфологии и систематики». Не обязательно присоединяться к выводам А. А. Любищева, но можно без преувеличения сказать, что по широте и глубине анализа эти статьи резко выделяются в литературе на те же темы. Скажем, в литературе издавна обсуждается реальность видов, родов и таксономических категорий более высокого ранга. При этом одни утверждают, что таксоны — объективная реальность, другие говорят, что реальны лишь виды, третьи отрицают реальность за всеми таксонами. Дискуссия идет, но почти никто из ее участников, кроме А. А. Любищева, не задал себе вопроса, что же понимают под реальностью разные участники, признают ли они одни и те же или разные критерии реальности, какими вообще могут быть такие критерии. Ясно, что без обсуждения этих основных вопросов вся дискуссия не может быть плодотворной.

Я всегда симпатизировал биологам, которые не слишком крепко держатся за устоявшиеся взгляды, не боятся допустить, хотя бы в качестве рабочей гипотезы, нетривиальные механизмы эволюции, ищут закономерности там, где другие видят лишь игру случайностей. Этим меня всегда привлекал и А. А. Любищев, для которого не существовало биологических догматов и аксиом, который не отвергал с порога ни одного постулата, ни одной гипотезы. Его биологические идеалы обладают немалой притягательной силой, хотя в них много и утопического.

Написанное выше об авторе книги и его мыслях вполне допустимо рассматривать как совет познакомиться с рецензируемым сборником, не поленившись прочитать его целиком, но я бы не хотел, чтобы меня считали проповедником взгля-

дов А. А. Любищева. Я знал его много лет, очень ценил наши добрые отношения, меня тянуло к нему, хотя встречались мы реже, чем хотелось бы. Многие утверждения А. А. Любищева, несомненно, нуждаются в критике. Отчасти она содержится во вводной статье к сборнику. Эта критическая работа должна быть продолжена, чему был бы рад и сам А. А. Любищев, отнюдь не стремившийся к канонизации своих взглядов.

А. А. Любищев стал очень популярным лишь в последние годы жизни, но особенно после смерти. Он увлек многих, но многих настроил и критически. Для этой категории читателей вышедшая книга особенно полезна, так как впервые в одном переплете собраны статьи, опубликованные в разное время и в малоизвестных изданиях, но пронизанные одной системой взглядов. Книга предоставляет критике целостный источник.

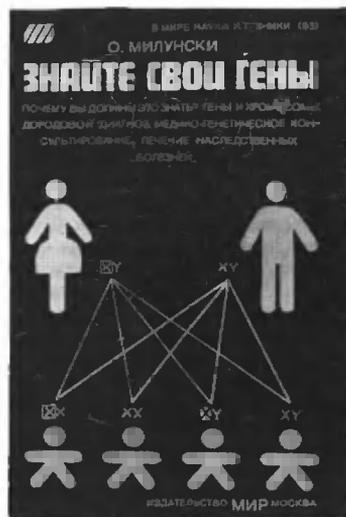
В заключение несколько слов о том, как издан сборник. Статьи в нем подобраны очень удачно. О не вошедших в сборник работах читатель узнает из библиографического аппарата, в котором приводится и литература об А. А. Любищеве. Издание осуществлено в лучших академических традициях. Выверена библиография к статьям, составлены примечания к тексту, очень полезны систематический и авторский указатели. Помимо ответственных редакторов С. В. Мейена и Ю. В. Чайковского, в работе над сборником приняло участие немало людей, отмеченных в редакционном предисловии, в котором, однако, я заметил погрешность. В нем написано, что «большую работу по подготовке сборника к печати выполнили М. Д. Голубовский», а после этой фамилии стоит запятая и начинается другая фраза. По введенным мною справкам, из-за технической неувязки выпали фамилии И. Н. Голубовской, М. А. Мейен и Е. А. Равдель.

Все, кто принял участие в работе над сборником, Научный совет по проблемам генетики и селекции, а также издательство «Наука» заслуживают самой искренней благодарности за хорошую, нужную книгу.

Острые проблемы медицинской генетики

Б. М. Медников,
доктор биологических наук

Москва



Обрн Милунски. ЗНАЙТЕ СВОИ ГЕНЫ. Пер. с англ. С. Д. Комарова. Под ред. В. М. Гиндилиса. М.: Мир, 1981, 392 с.

За последние годы у нас вышел в свет целый ряд книг, посвященных разным проблемам медицинской генетики — оригинальных и переводных, строго научных и научно-популярных. Однако книга О. Милунски стоит в этом ряду особняком. Автор — не только медицинский генетик, но практикующий врач-педиатр, признанный специалист по наследственной патологии. Поэтому его книга не академична: она от первой до последней страницы нацелена на практику. Круг рассматриваемых в ней проблем чрезвычайно широк: автор описывает наследственные патологии, возникающие в результате хромосомных и генных мутаций, мутагенное действие лекарств, наследуемость рака, сердечных болезней, душевных расстройств и продолжительности жизни.

Большое внимание уделяется пренатальному (дородовому) диагнозу — амниоцентезу, широкому и квалифицированному применению которого должно свести к минимуму появление на свет детей с теми или иными дефектами развития и наследственными болезнями.

Борьба с наследственными болезнями имеет свою специфику. Болезни эти так же древни, как род человеческий, а некоторые даже сближают нас с обезьянами. Однако до последнего времени диагностике, предупреждению и лечению наследственных болезней уделялось гораздо меньше сил и средств, чем лечению, например, бактериозов и вирусных болезней. Это объясняется не только укorenившимся представлением о неизлечимости и неизлечимости дефектов наследственности и нашими слабыми познаниями в ее механизме. Дело в том, что наследственные болезни не принимают характера эпидемий, и, хотя каждый из нас несет до десяти генов, которые могут стать причиной рождения дефектного потомства, каждая из этих болезней проявляется со сравнительно низкой частотой, возрастающей лишь при условиях тесного инбридинга в малых популяциях. Более естественным и легким казался путь борьбы с немногими болезнями, от которых страдают тысячи людей, чем с тысячей болезней (точнее, более чем с двумя тысячами наследственных болезней), каждой из которых заболевают единицы. Но это представление в государственных масштабах ложно. Как указывает автор, только в США свыше 20 млн человек (каждый десятый!) уже страдают или когда-либо в течение своей жизни проявят унаследованное расстройство здоровья. Не надо забывать также, что предрасположенность ко многим болезням, которые по традиции не относятся к наследственным (такие как инфаркт миокарда, гипертония, аллергия, диабет и некоторые формы рака), генетически детерминирована. Наследственность и среда совокупно ответственны за формирование организма.

Публикация книги О. Ми-

лунски у нас своевременна и по другой причине. Если в прошлом врачи могли лишь предсказывать долю риска повторения наследственной болезни, то разработанные в настоящее время методы дородовой диагностики позволяют на 14—16 неделе беременности уверенно диагностировать многие виды наследственных аномалий и дают возможность отказаться от продолжения беременности, если анализ оказывается неблагоприятным. В первую очередь, это касается хромосомных аномалий, легче всего диагностируемых и не поддающихся в настоящее время излечению. К ним относятся аномалии, вызывающие такие болезни, как синдром Дауна, синдром «кошачьего крика» и многие другие. Выявление «больных» генов, приводящих к синтезу дефектного фермента или другого белка, методически сложнее и требует хорошо поставленной службы биохимического анализа клеток плода, получаемых из амниотической жидкости. Однако такие гены могут быть обнаружены еще у родителей, согласно принципу кодоминантности, на молекулярном уровне (так, серповидноклеточный гемоглобин может быть выявлен у одного из родителей без внешних признаков серповидноклеточной анемии). Возможности дородового диагноза возрастают буквально с каждым днем; в связи с этим чрезвычайно увеличивается потребность в высококвалифицированных медицинских генетиках, умеющих работать с культурами клеток и белковыми анализами.

В связи с этим следует сделать замечание по поводу предисловия редактора перевода и его подстрочных примечаний. В. М. Гиндилис справедливо критикует проявляющийся во многих местах книги сугубо утилитарный, хочется сказать «американский», подход автора. Но утилитаризм и гуманность — отнюдь не антиподы. Ограничимся одним примером. Фенилкетонурия — одна из широко распространенных генетических болезней, при отсутствии лечения неизбежно приводящая к тяжелой умственной отсталости. Однако она чрезвычайно легко диагностируется в

первые часы после рождения ребенка. Таких детей, в организме которых аминокислота фенилаланин не превращается в тирозин вследствие мутации гена соответствующего фермента (1,2-фенилаланин-4-гидроксилазы), содержат на диете, минимальной по фенилаланину, что позволяет избежать тяжелых и необратимых поражений мозга. (Кстати говоря, в будущем возможно и лечение впрыскиванием соответствующего фермента, полученного методами генной инженерии, как это делают сейчас при лечении диабета.) Естественно, это требует существенных затрат на изготовление синтетических пищевых смесей, но, в конечном счете, по мнению рецензента, организация такой службы не только более экономична, но и несравненно более гуманна, чем содержание в масштабах страны миллионов дебилов. Логика этого рассуждения применима ко всем наследственным болезням, так как стопроцентный охват всех беременных амниоцентезом неревален, по крайней мере, в ближайшем будущем.

О. Милунски обращает внимание читателей на весьма существенное заблуждение, которое стало причиной многих семейных трагедий. Как выражается автор, у вероятности нет памяти, риск рождения больного ребенка при рецессивной мутации не изменяется в зависимости от числа уже родившихся детей. Это заблуждение того же рода, что и поверье, будто снаряд не попадает дважды в одну воронку.

Следует подчеркнуть, что по многим проблемам автор занимает прогрессивную позицию, весьма близкую к позиции советских ученых. В первую очередь это касается наследуемости умственных способностей у людей разных рас. Автор аргументированно свидетельствует, что тесты для определения так называемого коэффициента интеллектуальности (КИ) во многих отношениях несостоятельны. Численность детей в семье, возраст матери, социально-экономический статус нередко сильнее воздействуют на КИ, чем принадлежность к той или иной этнической группировке. Для

жителей США эта проблема существенна, так как в этой стране до сих пор некоторые реакционные ученые пытаются доказать, что негры по своей природе ниже белых людей. О. Милунски прямо называет такие претензии абсурдными.

То же можно сказать и о попытках считать «наследственными преступниками» людей с хромосомным набором ХУУ. Автор справедливо указывает, что лишняя Y-хромосома может изменить поведение человека вследствие изменения гормонального баланса, но все разговоры о «хромосомах преступности» являются мифом.

Многие проблемы медицинской генетики — это фактически проблемы медицинской этики. Можно ли в случае бесплодия прибегать к искусственному оплодотворению, а то и переносу оплодотворенной яйцеклетки от одной женщины к другой? Что нам сулит в будущем развитие геной инженерии, до каких пор оправданно вмешательство медика в развитие человеческого организма? Автор не замалчивает эти вопросы, а смело идет им навстречу. В первую очередь это касается проблемы: насколько простирается власть врача над жизнью неизлечимо больного ребенка? Эта проблема, как указывает автор, не относится к числу однозначных и в конечном счете должна решаться только родителями при участии врача. К этому можно добавить, что существующие здесь правила не идеальны. Например, прерывание беременности, когда имеется риск рождения больного ребенка (или сам факт болезни доказан методами дородовой диагностики), считается вполне правомочным. Отказ от поддержания жизнедеятельности ребенка, рожденного с неизлечимыми дефектами и обреченного на «растительное существование», напротив, считается недопустимым. Однако прерывание беременности — это эвфемизм, ибо аборт — это то же прерывание жизни. Срок в 28 недель с момента зачатия, после которого искусственное прерывание беременности становится криминальным, — не что иное, как условный рубеж, который с раз-

витием медицины будет, несомненно, отодвигаться на более ранние сроки.

Врачи сталкиваются с подобными проблемами не в первый раз. Вспомним ожесточенные дискуссии о моменте определения смерти человека, с новой силой вспыхнувшие в связи с увлечением пересадками сердца и других органов. По-видимому, большинство согласилось с мнением, что необратимую смерть можно считать с момента, когда необратимо умирает кора больших полушарий. Индивидуальность человека, существование его как личности (или потенциальная возможность личностного существования у новорожденных) определяется именно корой. Строго говоря, человека с погибшей корой можно уподобить физиологическому препарату изолированного органа или совокупности органов, в котором процессы жизнедеятельности поддерживаются искусственно, пусть даже многие годы. Человек — это не его сердце, печень, почки и т. д.; человек — это его мозг, тот орган, который делает его социальной личностью.

Но если так, можем ли мы считать живым ребенка, родившегося с необратимыми поражениями головного мозга, или же с дефектами генов, неотвратимо сулящими подобное поражение в будущем? Увы, медики, как правило, уклоняются от решения этой проблемы. Их, впрочем, можно понять, так как спектр наследственных нарушений психической деятельности очень широк — от полного недоразвития коры до умеренной умственной отсталости. Границу здесь провести трудно.

Не меньший интерес вызывают у читателя главы книги О. Милунски, в которых рассматриваются вопросы наследственности сердечных болезней и гипертонии, предрасположенности к раку и психическим болезням, диабету и другим болезням. Автор справедливо указывает, что эти вопросы разработаны слабее прочих. Причина этого в полигенной природе наследуемости, например, гипертонии или психозов. В настоящее время имеются убедительные доказательства наследственной природы лишь

шизофрении или маниакально-депрессивного психоза. Высокая степень риска заболевания шизофренией для обоих идентичных близнецов и детей, у которых больны ею оба родителя (по многолетним статистическим данным, 47 и 39% соответственно), ясно свидетельствует о наследственной природе этого заболевания.

Вместе с тем автор проходит мимо чрезвычайно важного обстоятельства. Чем объяснить чрезвычайно широкое, в среднем выше одного процента, распространение шизофрении в современных популяциях? Имеет ли смысл говорить о «гене шизофрении», или же это душевное расстройство определяется разными генами с одинаковым фенотипическим эффектом? Во втором случае мы имеем не одну, а несколько шизофрений, обусловливаемых разными биохимическими механизмами (пример ложной гомологии) и подход к их лечению должен быть разным.

Приведенные примеры показывают важное значение популярной книги О. Милунски и своевременность ее перевода на русский язык. Недочеты и ошибочные утверждения в ней редки (они оговорены в примечаниях редактора перевода). Некоторые положения существенны лишь для соотечественников автора; в связи с различиями в системах здравоохранения у нас и в США нас иногда беспокоят иные проблемы. Тем не менее книга эта будет полезна каждому образованному человеку, которого интересует здоровье будущих поколений. Поэтому вызывает сожаление ее небольшой (50 тыс.) тираж: такие книги не должны быть редкостью и повторное издание, быть может, дополненное главой, в которой сообщались бы последние данные о положении дел в отечественной медицинской генетике, совершенно необходимо.

Математика

А. М. Ляпунов. ЛЕКЦИИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКОЙ МЕХАНИКЕ. Киев: Наукова Думка, 1982, 632 с., ц. 5 р. 40 к.

К 125-летию со дня рождения знаменитого русского математика и механика, академика Петербургской Академии наук Александра Михайловича Ляпунова (1857—1918) издано собрание его лекций, дошедших до нас в виде литографированных записей. Лекции относятся к тому довольно продолжительному периоду, когда А. М. Ляпунов, ученик П. Л. Чебышева и учитель В. А. Стеклова, занимал кафедру механики в Харьковском университете. Механика излагается в этом курсе как раздел математики, а не физики.

В издание включены биографические очерки, которые были написаны в свое время двумя академиками — славистом Б. М. Ляпуновым, братом автора лекций, и математиком А. Н. Крыловым, его внучатым племянником. Эти очерки представляют самостоятельный интерес. В частности, любопытны дополненные редакционным вступлением данные о научной «династии» Ляпуновых: основателем ее можно считать известного астронома М. В. Ляпунова (отца Александра Михайловича); по материнской линии с ней связаны А. Н. Крылов и химики А. М., К. М. и М. М. Зайцевы.

Химия

Л. Салем. ЧУДЕСНАЯ МОЛЕКУЛА. Пер. с франц. Л. А. Абрамовой под ред. Э. А. Серебрякова. М.: Мир, 1983, 88 с., ц. 25 к.

Автор этой маленькой книжки — специалист с мировым именем, занимающийся теоретическими проблемами органической химии. Кроме того, Лионель Салем обладает по меньшей мере еще одним неоспоримым даром — для него практически не существует научных понятий и идей, которые нельзя было бы объяснить с помощью аналогий, взятых из повседневной жизни. «Эта книга,— пишет Л. Салем,— попытка снять с науки ореол таинственности... Желаящие проникнуть в тайны науки зачастую робеют перед трудным для понимания специальным научным языком, которым ученые прикрывают свое безразличие к популяризации добытых ими знаний. А ведь логика ученых так же проста, как и логика детей». Такое отчасти парадоксальное заявление не остается голословным. Virtuозная фантазия автора рождает быстро меняющиеся системы неожиданных по своей простоте образов, которые позволяют читателю с интересом и без труда приблизиться к пониманию таких специализированных и абстрактных понятий химии, физики и молекулярной биологии, которые, казалось бы, находятся за гранью возможностей популяризации.

Во Франции книга Л. Салема о современных взглядах на свойства молекул получила почетный приз как образец научно-популярной литературы. В редакционном предисловии к русскому изданию отмечается, что эта книжка может быть интересна не только 7-класснику или взрослому человеку, далекому от науки, но и маститому специалисту, который будет покорен умом и мастерством автора.

Геохимия

Ю. А. Шуколюков. ПРОДУКТЫ ДЕЛЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ЭЛЕМЕНТОВ НА ЗЕМЛЕ. М.: Энергоиздат, 1982, ц. 1 р. 50 к.

В этой книге, написанной известным специалистом по природным ядерным процессам, собраны и обобщены последние сведения о продуктах спонтанного деления тяжелых ядер на Земле. Ценность этих данных заключается прежде всего в том, что продукты деления изотопов урана, плутония и других тяжелых элементов — важный источник информации об особенностях синтеза ядер, входящих в состав Солнечной системы, а также о ранней химической эволюции нашей планеты.

Но это лишь одна часть книги. В другой части дан обзор современных представлений о природной цепной реакции деления. Чрезвычайно интересна история открытия этой реакции. Ее изложение достигает в отдельных эпизодах почти детективной остроты. Наряду с этим со всей обстоятельностью рассматриваются основные элементы теории природного ядерного реактора, обсуждаются геолого-геохимические условия, которые благоприятны для возникновения природных ядерных реакторов, и возможные последствия их «работы». Особое место в книге отведено характеристике месторождения Окло — единственного пока известного природного ядерного реактора. В этом древнем урановом месторождении, расположенном в экваториальной Африке, около 2 млрд лет назад сложились условия, благоприятные для начала цепной реакции деления.

Книга адресована разным специалистам. Ее прочтут геохимики и космохимики, геологи и радиохимики, а также физики, интересующиеся проблемой деления ядер в природе.

Почвоведение

С. В. Зонн. ЖЕЛЕЗО В ПОЧВАХ. М.: Наука, 1982, 207 с., ч. 1 р. 70 к.

Железо — один из распространенных в природе элементов. Но еще совсем недавно ученых интересовали лишь большие его скопления — рудные тела, крупные месторождения. В последние десятилетия внимание специалистов привлекла почва. Монография известного советского почвоведовед С. В. Зонна, рассчитанная на широкий спектр специалистов-смежников, раскрывает закономерности современного географического распространения элемента № 26 в почвах земного шара. Основное внимание автор уделил тому, как и откуда попадает железо в плодородный слой. В частности, автор рассказывает, как стремительное развитие горной промышленности привело к тому, что из недр на поверхность было «перекачано» значительное количество этого элемента. Вторая мировая война, да и не прекращающиеся по сей день военные конфликты между различными странами вносят также свою лепту в «ожелезнение» почвенной толщи, выбрасывая на съедение ржавчине миллиарды тонн чугуна и стали.

С. В. Зонн отмечает, что в одних случаях железо является крайне необходимым для растений. Например, тропические культуры, такие как ананас, цитрусовые, манго, чайный куст, нуждаются в землях, удобренных соединениями этого элемента. Однако так бывает не всегда. И порой то же самое железо заставляет почвы задышаться, забивая поры, и вызывает гибель растений, образуя токсичные вещества.

Основная часть книги отведена формам железа в раз-

личных почвах, а также закономерностям его передвижения и накопления.

Биология

ЖИЗНЬ РАСТЕНИЙ. Т. 5, ч. 1, 1980, 430 с. Т. 5, ч. 2, 1981, 512 с. Т. 6, 1982, 543 с. Цветковые растения. Под ред. А. Л. Тахтаджяна. М.: Просвещение.

Завершено издание «Жизни растений». Два последних тома посвящены цветковым, или покрытосеменным, растениям. Это один из обширных отделов растительного царства, включающий 24 тыс. видов, распространенных от тропиков до холодной тундры, от болот и морских побережий до знойных пещер и горных высот.

По своему флористическому составу и экологии цветковые растения весьма разнообразны. По сути дела вся история человеческой культуры связана главным образом с цветковыми растениями, так как они служат одним из главных источников питания и тепла для человека. К цветковым относятся и злаки, и овощи, и плодовые, и лекарственные, и древесные растения.

Пятый и шестой тома «Жизни растений» содержат два основных раздела: общий и специальный. В первом показаны наиболее существенные морфологические и структурные черты стебля, корня, листа и цветка, рассказывается о том, в каком эволюционном направлении шло их формирование. Весьма подробно разобрана воспроизводящая половая структура. Дело в том, что для цветковых характерно двойное оплодотворение, т. е. в половом процессе участвуют два спермия, а не один. В результате из оплодотворенной яйцеклетки развивается диплоидный зародыш, а из вторичного ядра зародышевого мешка — триплоидный эндосперм. Большое познавательное значение имеют данные по морфологии цветка, биологии опыления, развития зародыша и эндосперма.

Затем идет описание клас-

са магнолиописид, или двудольных, и класса цветковых — лилиописид, или однодольных. Авторы включили в текст новые данные, не только почерпнутые из литературы, но и полученные ими на основании изучения обширного фактического материала, хранящегося в гербарии БИН АН СССР.

В целом последние тома «Жизни растений» представляют собой ценное пособие для ботаников, преподавателей вузов и средних школ. Большое число рисунков и цветных таблиц — хорошее дополнение к характеристикам семейств.

К числу достоинств последних томов «Жизни растений» относится и то, что эти два тома содержат обширные данные по использованию тех или иных видов в сельском и лесном хозяйстве, в медицине, декоративном цветоводстве и других отраслях. Эти сведения интересны всем, так как дикие и культурные растения — основной источник экономики страны.

М. С. Яковлев,
доктор биологических наук
Ленинград

Биология

Дж. Клеудсли-Томпсон. МИГРАЦИЯ ЖИВОТНЫХ. Пер. с англ. Е. П. Крюковой под ред. и с предисл. В. Д. Ильичева. М.: Мир, 1982, 136 с., ц. 3 р. 10 к.

В 1914 г. в зоопарке Цинциннати погиб последний странствующий голубь — представитель некогда самого многочисленного и весьма широко расселенного вида птиц. На протяжении нескольких десятилетий их варварски истребляли во время перелетов — отлавливали, отстреливали и просто сбивали шестами. Причин для этого было достаточно: странствующие голуби уничтожали посевы, да к тому же мясо их считалось лакомством. О последствии никто не задумывался.

Пафос книги, из которой взят этот рассказ, заключается в призыве особо бережно относиться к животным, по тем или

иным причинам покинувшим свои основные места обитания и ставшим более беззащитными, чем раньше. По ходу дела автор, известный английский зоолог, рассматривает три типа перемещений: так называемые незначительные (к ним он относит, допустим, движение моллюсков вслед за приливом); нерегулярные движения по меняющимся маршрутам; регулярные перемещения с обязательным возвратом. Книга строится на примерах из разных разделов животного царства и сопровождается прекрасными цветными фотографиями.

Этнография

А. Р. Дорошенко. ЗОРОАСТРИЙЦЫ В ИРАНЕ. (Историко-этнографический очерк). Отв. ред. Э. А. Грантовский. М.: Наука, Гл. ред. вост. литературы, 1982, 133 с., ц. 45 к.

Зороастризм возник в первых веках I тысячелетия до н. э. на территории Иранского нагорья и получил широкое распространение в ряде стран Ближнего и Среднего Востока. Он был господствующей религией в древних иранских государствах. О зороастризме, его пророке Зороастре, священной книге Авесте существует обширная литература. Автор сводит воедино разные теории, предположения и гипотезы.

В этом вероисповедании высшим божеством почиталась Ахура-Мазда (Владыка-Мудрость), которая возглавляла шеренгу добрых сил в противовес силам темным. Основную цель зороастризм видел в победе добра над злом.

После арабского нашествия зороастрийцы расселились по разным странам и везде положение их было крайне тяжелым. Лишь в XIX в. иранские зороастрийцы были уравнены в правах с мусульманами. Это в известной мере способствовало распаденню монолитности зороастрийской общины и ее «размыванию» среди иранского населения. В настоящее время в Иране насчитывается около 350 тыс. зороастрийцев. По

конституции 1979 г. они признаны религиозным меньшинством и, как подчеркивает автор, «не принимают никакого участия в общественной и политической жизни страны».

Археология

Е. А. Шмидт. ДРЕВНЕРУССКИЕ АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ПАМЯТНИКИ СМОЛЕНСКОЙ ОБЛАСТИ. Ч. 1. М.: Московский рабочий, 1982, 189 с., ц. 50 к.

Это второй выпуск общего свода археологических памятников Смоленской области (первый выпуск вышел в 1976 г.), издаваемого Смоленским отделением Всесоюзного общества охраны памятников истории и культуры. В первом выпуске были описаны вещественные источники с X—VIII вв. до н. э. по VIII в. н. э.

В новой книге описывается период VIII—XIV вв., когда славяне окончательно освоили Смоленское Поднепровье и Подвинье и образовали союз племен, который затем вошел в состав древнерусского государства. Одним из важнейших событий этого времени был переход от язычества к христианству, а затем и образование самостоятельного удельного княжества, развитие которого прослеживается до времен монголо-татарского нашествия.

Вплоть до XI в. наряду с социально-экономическими переменами в межплеменном кривичском союзе и после его распада на смоленской земле шел бурный этногенетический процесс, сутью которого стала ассимиляция местного балтского населения славянами, в результате чего сложилась большая группа северо-западной части древнерусской народности.

Автор книги описал памятники, в раскопках которых принимал личное участие, как взятые, так и не взятые на учет органами охраны памятников. Он призывает содействовать их сохранению, поскольку все они являются бесценным наследием русской культуры.

История науки

А. Азимов. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ХИМИИ. РАЗВИТИЕ ИДЕЙ И ПРЕДСТАВЛЕНИЙ В ХИМИИ. Пер. с англ. Э. Е. Гельмана под ред. А. Н. Шанина. М.: Мир, 1983, 187 с., ц. 70 к.

Это не первый опыт известного американского биохимика, популяризатора и писателя-фантаста в изложении истории науки. Ранее А. Азимов выпустил «Краткую историю биологии», которая была издана и у нас в 1967 г.

Автор показывает, что зарождение и первоначальное накопление химических знаний, начавшееся еще в древние времена, было связано с металлургией, изготовлением красок и лекарств. В книге изложены события, определившие главный путь дальнейшего развития химии, показано, как началась ее дифференциация и специализация. Несколько глав посвящено истории физической, органической и неорганической химии, а также отдельным достижениям, заложившим основы теории и технологии прикладной химии. Прослеживается постепенный переход от качественных наблюдений к количественным измерениям, ставшим основным методом химических исследований. Развитие химии описано в тесной связи с достижениями других наук — минералогии и особенно физики.

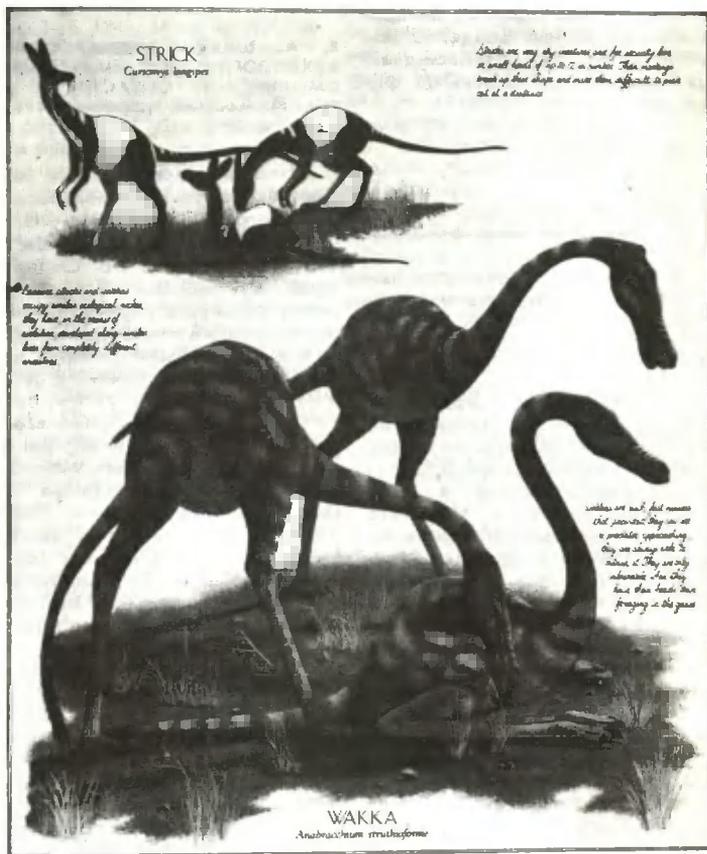
В этой краткой энциклопедии читатель наряду с широко известными учеными — Лавуазье, Берцелиусом, Менделеевым, Бутлеровым — встретит и менее знакомые имена.

Знакомьтесь: животный мир будущего (Вместо рецензии)

И. Н. Крылов,
доктор геолого-минералогических наук
Москва

Один математик сумел доказать, что долгосрочный прогноз погоды принципиально невозможен. Этому «принципиально» можно было бы и не поверить. Но математик получил за это Крафоордскую премию, которую, как и Нобелевскую, ученым зря не дают. Экосистема, в которую, кроме всего прочего, входит такое труднопредсказуемое существо, как человек, отличается несравненно более высокой динамичностью и характеризуется гораздо большим числом параметров, чем система погоды. Поэтому, с математической точки зрения, попытки дать здесь долгосрочный прогноз, может быть, еще более безнадежны. Но, вопреки всему, биологи-эволюционисты не перестанут рисовать в своем воображении картины далекого будущего. Хотя бы для того, чтобы лучше понять, что было когда-то и что происходит сейчас. Это, так сказать, мысленный эксперимент. Обычно он выражается словесно. Палеонтологу Дугалу Диксону пришла в голову счастливая мысль попытаться изобразить животных далекого будущего графически. С помощью группы талантливых художников (да и сам автор хорошо рисует) он успешно сделал это в своей книге «After Man»¹.

Читателю этой интересной книги (ее неплохо было бы перевести на русский язык) предла-



Такие животные, по мнению Д. Диксона, через 50 млн лет будут бродить по южноамериканским саваннам.

гается путешествие. Экскурсоводом по степям, лесам, морям и пустыням будущего становится несколько суховатый натуралист. Никаких эмоций. Просто научные гипотезы.

История млекопитающих

длится уже около 65—70 млн лет и будет продолжаться, как считает Д. Диксон, еще не менее 50 млн лет. Наши дни — что-то вроде полустанка на половине пути эволюции млекопитающих. Вот карта будущего. Африка, Евразия, Северная Америка и Австралия соединяются в гигантский суперконтинент; изрядный кусок восточного побережья Африки по системе разломов отделяется от континента и отплывает в Индийский океан в виде острова Лемурии;

¹ Dixon D. After man. A zoology of the future. Introduction by Desmond Morris. London, Toronto, Sydney, New York: Granada, 1981.

Южная Америка отделилась еще 35 млн лет назад от Северной, и ее животный мир развивается своим путем; в центре Тихого океана вырос огромный остров Батавия, населенный почти исключительно рукокрылыми и их потомками.

А что произошло за эти 50 млн лет с животным миром?

Наибольшим изменениям, пожалуй, подвергся мир степей и саванн. Немного антилоп и их потомков осталось только в Лемурии. Кто же заселил освободившиеся экологические ниши? Прежде всего, потомки грызунов. Кролики дали начало ветви кролидов. Кролиды, пришедшие на смену антилопам и зебрам, отчасти заимствовали их облик и привычки. Они выросли, построили, приобрели эlegantные копыта. Но осталась кроличья голова с длинными ушами на длинной шее: что-то вроде современных южноамериканских лам. На кролидов охотятся крысогопарды, крысоволки, крысотигры и даже крысолыбы. В полярных морях потомки крыс заняли экологическую нишу тюленей и моржей, в пустынях они заменили верблюдов. В прериях Южной Америки выросшие потомки грызунов приобрели кенгуруобразный вид. Но особенно любопытным экземпляром южноамериканской степной фауны стали уакки — какие-то бывшие хищники, перешедшие к травоядности и полностью утратившие передние конечности — этаким млекопитающий страус, самое быстроходное животное тех времен.

Говоря о лесных обитателях, нельзя не упомянуть о долотоголовах. Долотоголов — крупный грызун, приспособленный к жизни в хвойных лесах. Его гигантские резцы позволяют ему прогрызать в древесине ходы и норы. У него червеобразное тело и короткие конечности, похожие на кротовые. Питается он корой деревьев и, естественно, является страшным, как мы бы сказали, вредителем, уничтожающим деревья. Эволюция хоботов привела к срастанию хобота с задними конечностями, что дает им дополнительные преимущества и в плавании, и в лазании.

Появление страшного хищника, обезьяноподобной кошки — стригра — не помешало обезьянам эволюционировать. Широко распространились летышки — обезьяний эквивалент белки-летяги; хвосты некоторых древолазов приобрели очень практичные роговые пластинки, позволяющие их облада-

мент сохранить своеобразие. Сумчатые не только не вымерли, но, напротив, дали таких выдающихся представителей, как гигантоала, одно из крупнейших наземных животных. Некоторые сумчатые проявляют отчетливую тенденцию к обзаведению хоботом. Но на этом пути они оказались далеко позади древес-



Обитатели Батавии.

телям висеть для сна или отдыха с большим комфортом. Часть обезьян, например рабуины, заняли место бывших шакалов и гиен, часть стала откровенными хищниками, а некоторые приспособились к жизни в воде.

Несмотря на присоединение к Афросеровоамерикоевразии, Австралийский субконтин-

ного барабанщика. Этот небольшой зверек, дальний потомок выхололей и землероек, имеет не только хобот, но и небольшие, но крепкие бивни. Его лапки покрыты чувствительными волосками, позволяющими улавливать малейшие движения личинок под древесной корой. Он пробивает бивнями отверстия и вытаскивает хоботом добычу. Очень просто и удобно. Еще длиннее хоботы у зарандеров — слоноподобных потомков древних свиней. Заран-

деры питаются молодыми побегими и листьями. Живут небольшими стадами, до семи-восьми особей в каждом во главе с единственным взрослым самцом.

Надо сказать, что насекомоядные за 50 млн лет достигли многого. Потомок ежей непопроб вместо неудобных колючек обзавелся гофрированным панцирем и в случае опасности сворачивается в гладкий, вроде баскетбольного мяча, прочный шар, недостижимый для зубов крысолосы и крысаволка. Обитатели пустыни — прыгучий дьявол и пустынная акула — тоже произошли от насекомоядных. Это хищники. Южноамериканский пустынный иглозвиздик, напротив, перешел на питание нектаром цветов кактуса.

Но особенно разнообразны потомки рукокрылых. Летучие мыши, нетопыри и прочая перепончатокрылая нечисть сильно расплодилось на Батавии — крупном острове, подымающемся из недр Тихого океана. Многие из обитателей этого царства рукокрылых уже давно забыли о полетах. Их крылья превратились в ноги, а задние конечности, всегда служившие для хватания, подвешивания или

ползания, продолжают выполнять хватательные функции. Очень эффектно выглядит существо с ногоподобными передними конечностями и рукообразными задними, с огромными кожистыми ушами и острозубой пастью.

Не менее разнообразен мир птиц будущего. Достаточно сказать, что самое крупное из морских животных, занявшее экологическую нишу китов, является прямым потомком бывших пингвинов. В свою очередь, место пингвинов заняли утратившие способность летать потомки бывших гагар.

Двуногая пустынная плавниковая ящерица является прекрасным бегуном. Она может развивать скорость до 50 км/час. Около головы эта ящерица имеет широкий плавник, играющий роль радиатора в автомобилях: по этому плавнику постоянно циркулирует кровь, охлаждаемая потоками воздуха. Змеи эволюционировали незначительно. Задняя часть их тела увеличилась в размерах и потолстела. Это позволяет им делать стремительные броски головой на тонкой и гибкой шее к добыче, находящейся на расстоянии нескольких метров от притаившегося охотника.

Разнообразен и арсенал мимикрии. Вот птица, открытый клюв которой неотличим от растущих рядом цветов. Вот летучие мыши, тоже приманивающие насекомых сходством с цветами; роль лепестков играют яркочерные уши. Дуболистные жабы имеют на спине наросты, неотличимые от упавших листьев. Они даже меняют цвет: летом — зеленые, а осенью — бурые. Змеихвост — небольшой грызун — имеет пушистый хвост, конец которого похож на голову зловитой змеи. Ночные скользяны — рукокрылые хищники — на время сна и отдыха расправляются на поверхности древесных стволов, полностью сливаясь с окраской их коры.

Насколько оправданы все эти фантастические экстраполяции? Трудно сказать. Большинство из них не противоречит логике. К тому же они не только интересны, но и полезны, так как способны освежить привычные представления об эволюции и экологии разных групп органического мира нашей Земли. Ведь иногда дружеский шарж или карикатура умного и думающего художника говорят об оригинале больше, чем самая точная фотография.

В номере использованы фото АЛЕКСЕЕВА Н. Н., ГЕНДЕРОТЕ В. А., ЖИВОТЧЕНКО В. И., ИВАНОВА К. П., ИВАНОВА К. С., МАШАТИНА В. Н., МУХИНА И. А., ПАРНАЧЕВА В. П., ПОЛЯКОВА Я. Г., ШАРАЯ Н. А., ШЕВЧЕНКО Ю. С.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Т. Д. МИРЛИС, М. Б. РЫБИНА

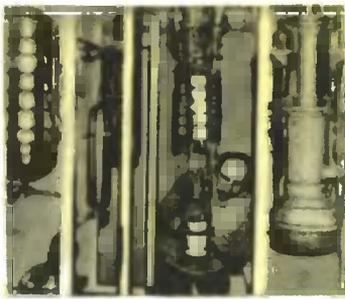
Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП—1,
Мароновский пер., 26.
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 5.04.83
Подписано к печати 12.05.83
Т—09534
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1597,3 тыс.
Уч.-изд. л. 15,5
Бум. л. 4
Тираж 59 667 экз. Зак. 947



— 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.

Ордена Трудового Красного Знамени
Чеховский полиграфический комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР по делам издательства, полиграфии и книжной торговли.
г. Чехов Московской области.



В следующем номере

Среди огромного количества разнообразных твердых тел внимание исследователей привлекают прежде всего такие объекты, в поведении которых особенно ярко, в наиболее чистом виде проявляются те или иные принципиальные особенности кристаллического состояния. К ним относятся и криокристаллы (отвердевшие газы)— группа веществ, газообразных при комнатных и твердых при низких температурах.

Манжелий В. Г. Криокристаллы.



С 1977 г. Советская антарктическая экспедиция ежегодно проводит санно-гусеничный поход от станции Мирный к высокому ледоразделу Восточной Антарктиды — куполу С. За два месяца похода уточняются гляциологические характеристики антарктического ледника — главной кладовой пресной воды на Земле. В то же время каждая такая экспедиция — это проверка мастерства и мужества полярников, испытания в экстремальных условиях новой техники.

Дюргеров М. Б. Через Центральную Антарктиду.



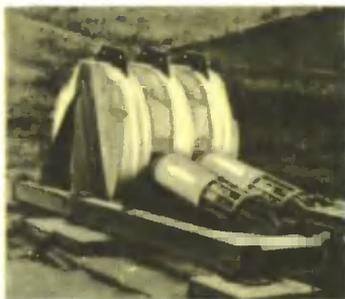
Понимание бесконечного у Леонардо да Винчи тесно связано с живописным приемом «сфумато», с культурно-историческим характером его личности и мышления. Поэтому естественнонаучная проблема одновременно предстает в качестве гуманитарной.

Баткин Л. М. Леонардо да Винчи о бесконечном.



«Придоша печенежи первое на Рускую землю и створише мир с Игорем, идоша к Дунаю». Так начинает летописец свой рассказ о ближайших соседях Древней Руси, печенегах. Они занимали огромные пространства южных степей, где были практически неуловимы, поскольку кочевали круглый год, все время проводя в повозках и на конях.

Плетнева С. А. Исчезнувшие народы. Печенеги.



Земная кора трудно поддается активной диагностике — для этого нужны установки, возбуждающие чрезвычайно сильные электромагнитные поля. И здесь незаменимыми могут стать автономные МГД-генераторы, которые создают кратковременные токи в десятки килоампер. Это открывает возможности для широко-масштабных геофизических исследований.

Волков Ю. М. МГД-генераторы в исследованиях земной коры.

Диаметр 80 см
Индекс 7170

