

ISSN 0032-372X

11

1985

ПРИРОДА



Ежемесячный
популярный
естественнонаучный
журнал
Академии наук СССР

Основан в 1912 году



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

Академик
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
Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь
В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук
П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора
академик
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

Доктор физико-математических наук
А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук
В. А. ЧУЯНОВ

На первой странице обложки. Скелет задней лапы древнейшего в СССР четвероногого животного — туларпетона, найденного в 1982 г. в Тульской области. См. в номере: Лебедев О. А. Первые четвероногие: поиски и находки.

Фото Б. А. Кувшинова.

На четвертой странице обложки. Типичный ландшафт береговой зоны Сейшельского архипелага. См. в номере: Добровольский В. В. Геохимия тропических островов.

Фото В. В. Добровольского.

В НОМЕРЕ

Садовский М. А., Адушкин В. В. Плотины, созданные взрывом 3

Взрыв уже давно известен как эффективный способ возведения водонапорных плотин. Тем не менее далеко не все возможности взрыва используются в полной мере; слишком осторожно и нерешительно внедряются новые технологии, основанные на использовании обрушающего действия взрыва.

Веденов А. А., Левченко Е. Б., Третьякова Л. И. Набухание: от глины к живой клетке 14

Молекулярные механизмы набухания имеют много общего в очень широком круге объектов — от глинистых минералов до живых тканей. Такое замечательное единство едва ли случайно и, возможно, имеет определенный эволюционный смысл.

Лебедев О. А. Первые четвероногие: поиски и находки 26

На территории Советского Союза найдены костные остатки тулупетона — одного из древнейших четвероногих животных позднедевонского возраста, самого древнего в мире антракозавра.

КРАСНАЯ КНИГА

Басарукин А. М., Боркин Л. Я. Дальневосточный сцинк 37

Сделаны серьезные шаги в изучении биологии редкого вида ящерицы, обитающей в СССР только на Курилах.

Добровольский В. В. Геохимия тропических островов 40

Откуда в почвах и растительности атоллов тяжелые металлы — железо, цинк, свинец и др.? Ведь их почти нет на коралловых рифах. Установлено, что эти элементы поступают из атмосферы и океана.

Юшко А. А. Древний город на реке Москве 52

Звенигород — бывшая столица удельного княжества — известен своей архитектурой; придворный Успенский собор был расписан выдающимся средневековым мастером Андреем Рублевым. Долгое время считалось, что город возник в XIV в. Однако археологическое изучение планировки дворцового комплекса, улиц и укреплений помогло уточнить время его основания — подобно Москве, он возник в XII в.

Киселев Ф. Л. Молекулярная онкология 58

Основная задача в изучении рака заключается в том, чтобы выяснить, когда и как «включаются в работу» онкогены, какие процессы они инициируют, выявить молекулярно-генетические различия между первичными опухолями и метастазами.

Галл Я. М. Истоки эволюционной экологии: конкуренция, естественный отбор и видообразование 67

Главная роль в становлении современных представлений о конкуренции как одном из важнейших факторов естественного отбора и образования новых видов принадлежит советскому микробиологу Г. Ф. Гаузе и английскому орнитологу Д. Лэку.

Насельский П. Д. Реликтовое электромагнитное излучение — инструмент исследования Вселенной

76

Исследуя спектр и характер распределения реликтового излучения во Вселенной, астрофизики пытаются определить полную плотность «видимой» и «невидимой» компонент материи и, таким образом, решить вопрос о том, в какой Вселенной мы живем: открытой или закрытой.

Алфименков В. П. Нарушение пространственной четности в нейтронных резонансах

86

То, что пространственная четность в микромире нарушается, известно уже почти три десятка лет. Однако физики продолжают исследовать этот тонкий эффект, углубляя и расширяя представления о структуре атомных ядер и сложных процессах, которые в них происходят.

«ПРЕОДОЛЕНИЕ САМОГО СЕБЯ»

96

Мысль Б. Спинозы о том, что познание зависит не столько от прагматических целей человека, сколько от его эмоциональных потребностей, была стержневой в незаконченной книге Б. Г. Кузнецова (1903—1984). Известный историк науки Б. Г. Кузнецов в своем творчестве пытался переосмыслить историю естествознания в свете новых научных открытий XX в.

Филонович С. Р. Б. Г. Кузнецов — историк науки

96

Кузнецов Б. Г. Спиноза

97

Бонифатий Михайлович Кедров

102

НОВОСТИ НАУКИ

104

Биоспутник «Космос-1667» (104) * Взрыв сверхновой вблизи квазара (104) * Изучение магнитосферы Земли и солнечного ветра (105) * Кенерберийский рой (105) * Существование Харона подтверждено (106) * Нитрид молибдена — высокотемпературный сверхпроводник? (106) * Параметрическое рентгеновское излучение (107) * «Белый» лазер (107) * Новые данные о натрийуретическом факторе (108) * Генетическая система экариот, подобная оперону бактерий (108) * Ответственность отца за рождение близнецов (109) * Новая природная форма гормона (109) * На пути к противомаларийной вакцине (110) * Дрожжи синтезируют чужеродные белки (110) * Макрофаги и опухоли (111) * Моделирование рассеянного склероза (111) * Получение противоопухолевых токсинов (112) * Новый способ прививок против бешенства (112) * Лазер против атеросклеротических бляшек (113) * Ингибиторы ферментов синтезируются микроскопическими грибами (113) * Дельфины постигают грамматику (113) * Новая форма мимикрии у рыб (114) * Экологические типы ориентации членистоногих (115) * Смена функций у черного садового муравья в течение жизни (116) * Гренландский кит: надежды на восстановление вида (116) * Полихлорированные дибензофураны в окружающей среде (117) * Первое крупное месторождение газа в Баренцевом море (117) * Зарождение океана (119) * Древняя гигантская волна на Гавайях (119) * «Парниковый» эффект в эоценовое время (120) * Обнаружены остатки антарктической метеостанции (120) * Раскопки на берегу Тигра (121)

РЕЦЕНЗИИ

122

Флоренский П. В. Пришло ли время перечитывать Б. Л. Личкова? (на кн.: Р. К. Баландин. Борис Леонидович Личков. 1888—1966)

122

Баскин Л. М. Действенная любовь к птицам (на кн.: В. Д. Ильичев. Управление поведением птиц)

124

НОВЫЕ КНИГИ

126

Воронов Г. С. Штурм термоядерной крепости (126) * Барашков Н. Н. Люминесцентный анализ на службе здоровья (126) * Заварзин Г. А. Бактерии и состав атмосферы (127) * Осолков В. А. Облицовочные камни месторождений СССР (127) * Сребродольский Б. И. Жемчуг (127) * Кашутин Е. С., Саврыкина Н. Г. Экслибрис в собрании научной библиотеки МГУ. Альбом-каталог (128)

НАВСТРЕЧУ XXVII СЪЕЗДУ КПСС

Плотины, созданные взрывом

М. А. Садовский, В. В. Адушкин



Михаил Александрович Садовский, академик, директор Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Специалист в области геофизики и геологии, основатель советской школы по физике и сейсмике взрыва. Председатель Научного совета по проблеме «Народнохозяйственное использование взрыва» АН СССР и Межведомственного совета по сейсмологии и сейсмостойкому строительству. Герой Социалистического Труда, Лауреат Ленинской премии и Государственных премий СССР.



Виталий Васильевич Адушкин, кандидат физико-математических наук, заведующий лабораторией того же института. Специалист по физике взрыва и прикладной геомеханике. Один из авторов монографий: Механический эффект подземного взрыва. М., 1971; Механика подземного взрыва. М., 1973.

ПЛОТИНЫ ПРИРОДНЫЕ И РУКОТВОРНЫЕ

В горных районах нередки озера, которые образовались при завале русел рек горной породой, обрушившейся при землетрясениях. Типичный пример — Сарезское озеро на Памире емкостью 17 млрд м³ воды, длиной более 60 км и глубиной до 500 м. Это озеро возникло в 1911 г. на высоте 3250 м над ур. м. в результате обрушения в р. Мургаб свыше 2 млрд м³ породы, образовавшаяся при этом плотина имела высоту 750 м и длину по руслу реки около 4 км. Характерно, что в горах крупные обвалы могут вызываться не толь-

ко землетрясениями, но и такими обычными геологическими процессами, как размыв основания склона и выветривание пород, деформации, вызванные их обводненностью и присутствием более мягких слоев, а также деформации по разломам.

Помимо Сарезского можно назвать еще целый ряд крупных завальных озер как у нас в стране, так и за рубежом. Например, всемирно известное оз. Рица на Кавказе объемом около 200 млн м³ воды и длиной до 3 км. Это озеро образовалось в конце прошлого века, и его плотина устойчиво держит воду на протяжении сотни лет. Много озер возникло в результате естественных завалов на горных реках Киргизии. Наблюдение за этими озерами

Таблица 1
Основные параметры крупнейших плотин, сооруженных взрывом в последние десятилетия

Место взрыва	Год	Масса ВВ, т	Порода	Угол откоса, град.	Размеры плотины			Уд. рас- ход ВВ, кг/м ³
					объем, м ³	высота, м	длина, м	
р. Терек	1959	160	суглинки	80	$1,08 \cdot 10^5$	14	225	1,5
р. Аламедин	1959	153	порфирит	45—90	$1,15 \cdot 10^5$	21	280	1,3
Р. Шамси	1960	48	гранит	50—70	$6,0 \cdot 10^4$	19	200	0,8
урочище Медео:								
I очередь	1966	5294	»	40—45	$1,67 \cdot 10^6$	60	560	3,2
II очередь	1967	3941	»	40—45	$8,5 \cdot 10^5$	20	560	4,6
пос. Байпаза	1968	1904	известняк	60	$1,6 \cdot 10^6$	59	520	1,3
р. Ах-Су	1972	552	»	70—80	$2,5 \cdot 10^5$	88	330	2,2
р. Бурлыкья	1975	703	гранит	40—50	$5,4 \cdot 10^5$	50	320	1,3
пос. Казанич	1984	689	порфирит	70—80	$6,1 \cdot 10^5$	32	195	1,1
пос. Квайса	1984	487	»	30—35	$1,2 \cdot 10^5$	25	230	3,6

показало, что образовавшие их плотины отличаются хорошими геотехнологическими свойствами¹.

Завальные озера возникают в горных районах и в настоящее время. Так, в 1963 г. в Югославии в результате оползания 4 млн м³ породы на р. Височница образовалось озеро объемом 300 млн м³ и длиной 10 км. Правда, это озеро не сохранилось. Во избежание возможной катастрофы из-за перелива воды через плотину и ее размыва был сооружен туннель, и через два года вода была спущена. Появление завальных озер небольшого размера в результате землетрясений было отмечено недавно и на р. Ангарокан в районе строительства БАМа. А в 1978 г. в Абхазии произошел горный обвал, который перегородил р. Келасури плотинной высотой 40 м и образовал озеро.

Это перечисление можно, конечно, продолжить, но отметим главное. Важно, что озера, возникшие в результате горных обвалов, существуют на протяжении десятков и сотен лет и успешно используются в качестве надежных водохранилищ. Таким образом, сам факт существования завальных плотин в природе свидетельствует о принципиальной возможности создания вододерживающих плотин из горной массы. Работа, необходимая для образования подобных плотин, совершается за счет потенциальной энергии обрушивающихся масс, т. е. даром. Естественно возникает вопрос, нельзя ли, следуя природе, ис-

пользовать эту энергию при строительстве гидротехнических сооружений в горных районах? Оказывается, что можно.

Первый опыт возведения водонапорных плотин из местных материалов путем наброски их при помощи взрыва относится еще к 30—40-м годам. В этот период таким способом сооружались в основном перемычки, позволяющие пустить воду реки в обход строящейся ГЭС. Перемычки были сооружены на р. Чирчик (1935), на Ташкентском арыке (1942), на строительстве плотины Баз-Су (1947). Тогда же были построены плотины на р. Кассан-Сай (1947) и на р. Бурджар-Сай (1948).

В 50-е годы взрывным способом был построен еще ряд плотин и перемычек. Например, энергия взрыва была использована на строительстве Сочинской ГЭС, при сооружении плотин на р. Исети на Урале, на р. Вахш в Таджикистане вблизи головного сооружения канала, на р. Мургаб в Туркмении и в ряде других мест. Начиная с 1959 г., когда была построена перемычка на р. Терек и плотина на р. Аламедин в Киргизии, энергия взрыва стала регулярно использоваться для возведения крупных каменнонабросных плотин различного назначения (см. табл. 1).

По своим масштабам выделяются два известных взрыва в урочище Медео, с помощью которых в 1966—1967 гг. на р. Малая Алматинка была сооружена плотина высотой 80 м и объемом 2,52 млн м³. Суммарная масса использованных взрывчатых веществ составила 9235 т, а средний удельный расход взрывчатых веществ равнялся 3,7 кг/м³. Эта плотина, расположенная в 15 км к югу от Алма-Аты, обеспечила надежную защиту города от селевых потоков, и в частности от катастрофиче-

¹ Костюченко Э. В., Крошкин А. Н. — Известия АН КиргССР, сер. естеств. и техн. наук, 1963, № 8, с. 119.

ского грязекаменного потока 15 июля 1973 г. При сооружении этой плотины почти всю работу по перемещению горной породы совершила энергия взрыва².

Совсем недавно, в декабре 1984 г., в Грузии примерно при такой же, как в Медео, крутизне склона, но на порядок меньшей массой взрывчатых веществ вблизи пос. Квайса была сооружена плотина хвостохранилища, предназначенного для хранения отходов обогащательной фабрики. Во время этого взрыва вся работа по перемещению породы в тело плотины также была совершена энергией взрыва. В результате удельный расход взрывчатых веществ оказался довольно высоким — $3,6 \text{ кг/м}^3$.

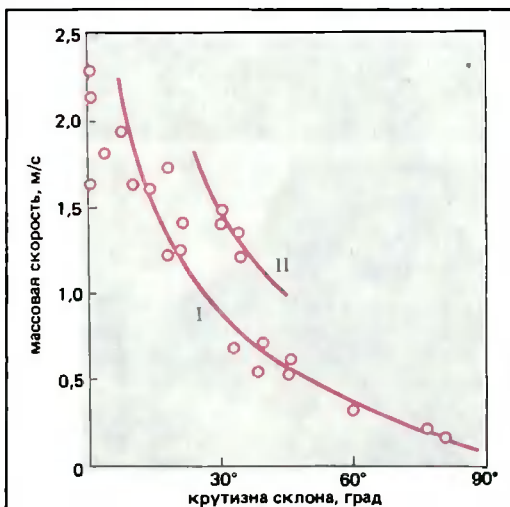
Взрывной метод сооружения плотин позволяет сократить сроки строительства объекта, уменьшить затраты труда и объем подготовительных работ. Однако этим далеко не ограничиваются возможности взрывного метода. В горных районах с их крутыми склонами перемещение породы может производиться не только за счет энергии взрывчатых веществ, но и под действием силы тяжести самой породы.

НЕ ТОЛЬКО ВЗРЫВАТЬ, НО И ОБРУШАТЬ

Взрывы, при которых порода перемещается только за счет энергии взрывчатых веществ, принято называть взрывами на выброс. Если взрывы на выброс осуществляются в условиях горного склона, их называют взрывами направленного действия, или взрывами на сброс. В этом случае после взрыва и образования на склоне воронки выброса напряжения внутри горного массива распределяются по-новому, и в результате верхний край воронки обрушивается под действием силы тяжести. В некоторых конкретных ситуациях вклад обрушившейся породы в полный объем породы, перемещенной взрывом, может оказаться очень существенным. Так, при сооружении опытной плотины на р. Бурлыкья, притоке р. Нарын, около 35 % объема перемещенной породы пришлось на долю породы, обрушенной взрывом.

Еще более широкие возможности открываются в том случае, когда горный

склон очень крут и высок. Яркий пример тому — строительство Байпазинской плотины на р. Вахш. Здесь взрыв зарядов, заложенных в основание склона, вызвал столь сильное обрушение, что объем его превысил объем породы, выброшенной взрывом. В частности, под действием взрыва предполагалось получить плотину объемом $7,8 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, а образовалась плотина объемом $1,6 \cdot 10^6 \text{ м}^3$. Совершенно очевидно, что в этом случае была использована не только энергия взрыва, но и энергия подсеченной взрывом горной по-



Зависимость массовой скорости [скорости движения частиц породы во взрывной волне] от крутизны склона в том месте, где расположено верхняя граница воронки обрушения. Хорошо видно, что с увеличением крутизны склона массовая скорость, отражающая интенсивность разрушения породы взрывом, снижается. Кривая I характеризует взрывы, при которых образуется воронка выброса, а кривая II — более глубокие взрывы без образования воронки выброса. Данная зависимость установлена в результате обработки информации о большом числе промышленных взрывов, произведенных в скальных массивах.

роды, обрушившейся под действием силы тяжести.

Проектируя взрывы на сброс, очень важно заранее определить контуры воронки обрушения, которая образуется на склоне. Обработка материалов, накопленных при регистрации опытных и промышленных взрывов в горной местности, показала, что радиус воронки обрушения зависит от крутизны склона и от степени нарушения массива взрывом, которая, в свою очередь, связана с пара-

² Подробнее см.: Покровский Г. И. Взрыв на Медео. Физические проблемы. — Природа, 1967, № 2, с. 43; Ромашов А. Н., Родионов В. Н. Исследования и результаты. — Там же, с. 46; Покровский Г. И., Чемин А. Н. Противоселевая плотина предотвратила катастрофу. — Там же, 1974, № 3, с. 72.



Байпазинский взрыв, произведенный на правом берегу р. Вахш 29 марта 1968 г. Цель взрыва — создание водонапорной плотины для орошения земель Яванской долины и последующего строительства гидроэлектростанции. Вверху — долина до взрыва, в центре — в момент взрыва, в низу — тело плотины.



Последовательные стадии развития экспериментального взрыва, произведенного в 1975 г. на р. Бурлыкня в Киргизии (сверху вниз: 0,3 с; 1,6 с; 3,5 с и 7 с от момента взрыва). Они иллюстрируют процесс обрушения склона над воронкой взрыва и образование контура отрыва породы. Взрыв на р. Бурлыкня был произведен с целью моделирования процесса образования проектируемой 270-метровой плотины Камбаратинской ГЭС на р. Нарын. В настоящее время вода из водохранилища, образовавшегося на р. Бурлыкня в результате взрыва, используется для орошения соседних земель.

метрами взрывной волны. В результате была установлена зависимость между максимальной скоростью движения частиц породы во взрывной волне, или, как еще называют, массовой скоростью (U_m) на верхней границе обрушения, и углом наклона поверхности (α). Эту зависимость можно представить следующей эмпирической формулой:

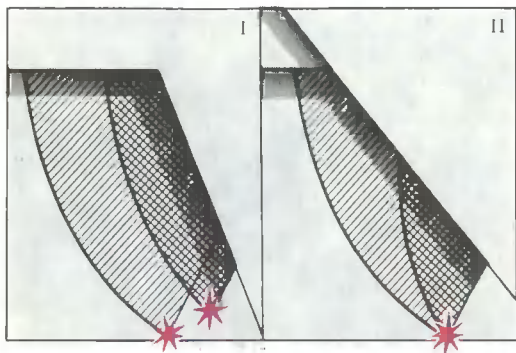
$$U_m = \frac{0,57}{(\operatorname{tg} \alpha)^{0,7}} \text{ (м/с) }, \text{ при } \alpha \geq 10^\circ.$$

Если при Байпазинском взрыве и взрыве на р. Бурлыкня эффект обрушения не планировался, то при строительстве плотины для водохранилища на р. Алинджабай в Азербайджане в 1984 г. обрушающее действие взрыва было запланировано и использовано в полной мере. Взрыв был рассчитан таким образом, чтобы объем обрушенной породы существенно превосходил объем породы, перемещаемой энергией взрыва. Возможности для реализации такого взрыва предоставила сама природа: в месте створа плотины склон был крутым ($70-80^\circ$) и достаточно высоким (130—150 м). Кроме того, изначально требовалось употребить при строительстве этой плотины как можно меньшее количество взрывчатых веществ, поскольку рядом, всего в 600 м, находился пос. Казанчи.

Исходя из условий сейсмической безопасности, была определена допустимая масса единичного заряда взрывчатых веществ, а по заданным размерам плотины

была установлена общая масса взрывчатых веществ, требуемых для обрушения заданного объема пород. Чтобы снизить сейсмическое действие взрыва и улучшить распределение породы в теле плотины, отдельные заряды взрывались с некоторым замедлением. В результате взрыва образовалась плотина объемом $6,1 \cdot 10^5 \text{ м}^3$, высотой 32 м и протяженностью вдоль русла реки 195 м. Удельный расход взрывчатых веществ оказался достаточно низким — $1,13 \text{ кг/м}^3$, а повреждения зданий поселка были совсем незначительными: тонкие

Ущелье, в котором протекает р. Алинджачай [Нахичеванская АССР]. 4 сентября 1984 г. в этом ущелье был проведен взрыв зарядов общей массой взрывчатых веществ около 700 т, в результате которого образовалась плотина. При сооружении этой плотины впервые на практике был применен взрыв обрушающего действия, т. е. заряды взрывчатых веществ только подсекали массив, а основную работу по формированию тела плотины произвела сила тяжести самой породы. Вверху — вид ущелья до взрыва, внизу — тело плотины.



Вертикальные сечения горных склонов, показывающие, как глубина взрыва в основании склона [I] и изменение формы склона [II] сказываются на объеме пород, обрушаемых взрывом. Рис. I демонстрирует прогрессирующий рост объема обрушения при увеличении глубины заложения заряда взрывчатых веществ (заряд обозначен звездочкой, в разрушенном участке склона — штриховками). На рис. II видно, что при взрыве на склоне «бесконечной» высоты обрушается меньший объем (более густая штриховка), чем при взрыве на склоне, ограниченном горизонтальной поверхностью. Примеры I и II получены в модельных опытах с влажным песком.

трещины в стене, осыпавшиеся мелкие куски штукатурки и т. д.

Взрывы обрушающего действия требуют особого подхода при расчете величины заряда взрывчатых веществ и определении места заложения зарядов. Если перед нами стоит задача лишить устойчивости верхнюю часть склона, мы должны добиться, чтобы запас прочности в его нижней части был меньше давления, создаваемого массой лежащей выше породы.

Лабораторные эксперименты на моделях, изготовленных из материалов, эквивалентных горным породам, показали, что в зависимости от крутизны склона возможны разные механизмы его обрушения³.

Для крутых склонов (60° и более) определяющими являются сдвиговые напряжения, а для пологих (до 45°) характерны растягивающие напряжения вблизи приоткосной зоны. Причем уменьшение крутизны склона ведет к тому, что величина отношения объема обрушения к объему выброса снижается. Те же эксперименты позволили установить соотношения между высотой склона и глубиной заложения заряда в тех случаях, когда в верхней части склона (недалеко от места заложения заряда) имеется горизонтальная поверхность.

Интересные особенности развития процесса обрушения установлены при теоретических исследованиях, учитывающих снижение прочности материала в результате неупругой деформации сдвига⁴.

Использование взрывов обрушающего действия для сооружения гидроузлов тем эффективнее при прочих равных условиях, чем больше масштаб возводимого объекта. Дело в том, что энергия силы тяжести пропорциональна массе обрушившейся горной породы, умноженной на высоту ее падения. Следовательно, эта энергия пропорциональна линейному размеру системы, возведенному в четвертую степень, и при увеличении масштаба взрыва она растет быстрее, чем энергия самого взрыва.

В конечном итоге почти вся эта энергия расходуется на дополнительное дробление породы, формирующей тело плотины. Оценки показывают, что падение породы с высоты около 100 м приводит к высвобождению гравитационной энергии, эквивалентной затратам $\frac{1}{4}$ кг тротила на

³ Адушкин В. В., Платонов Е. М., Сырников Н. М. — Физико-техн. проблемы разработки полезных ископаемых, 1971, № 6, с. 71.

⁴ Коротков П. Ф. — Доклады АН СССР, 1982, т. 267, № 4, с. 818.



дополнительное дробление 1 м³ породы. Для объектов большего масштаба эти показатели будут еще лучше, поскольку высота падения в этом случае может достигать нескольких сот метров.

Таким образом, теория и практика взрывных работ показывает, что с увеличением масштаба взрыва, рассчитанного на обрушающее действие, относительный вклад силы тяжести в перемещение горной породы возрастает. В результате объем обрушенной породы может значительно превысить как объем породы, первоначально выброшенной взрывом, так и объем породы, которую взрыв разрушил. Поэтому при большом масштабе взрыва в условиях склона достаточно большой высоты и крутизны можно ограничиться подсечкой массива взрывом и организовать перемещение породы исключительно за счет силы тяжести. Это позволит добиться рекордно низкого удельного расхода взрывчатых веществ — менее 1 кг/м³.

СОТЯСАТЕЛЬНЫЕ ВЗРЫВЫ

Возможности современной взрывной технологии не ограничиваются описанными выше взрывами на выброс и взрывами на обрушение. Как уже отмечалось, многие естественные завальные озера возникли в результате землетрясений. Но хорошо известно, что всякий подземный взрыв являлся источником землетрясения, тем более сильного, чем больше величина заряда. Поэтому, используя достаточно мощный источник взрыва, можно организовать управляемое обрушение склона или вызвать оползень.

Известно, что сила землетрясения (в том числе и порожденного взрывом) зависит от расстояния до его очага и возрастает по мере приближения к нему. Так, скорость движения горной породы (U), величина которой позволяет охарактеризовать интенсивность колебаний частиц породы при взрыве сосредоточенного заряда, может быть определена по следующей формуле, выведенной эмпирическим путем⁵:

$$U = 7 \left(\frac{q^{1/3}}{r} \right)^{1,6} \text{ (м/с),}$$

где q — энергия заряда (измеренная мас-

сой тротила в килограммах), r — расстояние от центра заряда (в метрах).

Прямые опыты по взрыву зарядов большой энергии на камуфлетной глубине, т. е. на той глубине, взрывы на которой не дают выброса породы, позволили определить критическую скорость движения породы ($U_{кр}$), превышение которой приводит к отрыву и обрушению поверхностного слоя горного склона значительной толщины:

$$U_{кр} = \frac{5,2}{\sqrt{\lg(\alpha - 25^\circ)}} \text{ (м/с) при } \alpha > 25^\circ,$$

где α — крутизна склона в месте отрыва породы. Такие подземные взрывы камуфлетного типа, нацеленные на обрушение и используемые в качестве спускового механизма при инициировании горных обвалов, называют сотрясательными взрывами. Из приведенной только что формулы следует, что для обрушения сотрясательным взрывом значительной массы породы со склонов крутизной 40—80° критическая скорость движения частиц породы должна составлять 5—10 м/с. С уменьшением крутизны склона вероятность обрушения резко уменьшается, и при углах менее 25° вызвать обрушение таким способом вообще затруднительно.

Зная критическую скорость движения частиц породы и требуемый размер области обрушения, а также крутизну склона, можно определить энергию сотрясательного взрыва, необходимую для обрушения склона. Кроме того, из наблюдений следует, что для надежного обрушения большего объема породы сотрясательным взрывом масштаб его должен быть достаточно велик и, в частности, глубина заложения заряда должна составлять не менее 200 м. Дело в том, что с увеличением масштаба взрыва возрастает подвижность, или, как принято говорить, «текучесть» массива.

Оказалось также, что обрушение склонов сотрясательными взрывами выгоднее производить не одним мощным зарядом, а группой взаимодействующих зарядов, размещенных на расстоянии, примерно равном глубине взрыва. В этом случае увеличивается интенсивность воздействия взрыва на склон, и соответственно условия обрушения становятся лучше. Поэтому удельный расход взрывчатых веществ при взрыве сотрясательного действия зависит не только от крутизны обрушаемого склона, но и от числа взрывааемых зарядов.

⁵ Родионов В. Н., Адушкин В. В., Костюченко В. Н. и др. Механический эффект подземного взрыва. М., 1971.

На основании опытных данных и расчетов нами установлено, что в случае обрушения одним зарядом удельный расход взрывчатых веществ изменяется от 10 до 90 кг/м³ в зависимости от крутизны склона. При обрушении же двумя взаимодействующими зарядами равной энергии, взрываемыми одновременно, он уменьшается в 2—3 раза и изменяется от 5 до 30 кг/м³. Если увеличивать число зарядов и дальше, снижение удельного расхода взрывчатых веществ быстро прекращается. Однако оптимальное число зарядов, необходимых для сотрясательного взрыва, зависит от конкретных условий: масштаба обрушения, которое необходимо произвести, крутизны склона и т. д. Поэтому вопрос о числе зарядов, глубине их заложения и расстоянии между ними следует решать отдельно в каждом конкретном случае. Из проведенных нами расчетов следует, что взрывы сотрясательного действия достаточно эффективны в условиях крутых склонов: уступая взрывам на обрушение, они приближаются по эффективности к крупномасштабным взрывам на выброс, производимым в условиях горизонтальной поверхности.

Объемы горных пород, обрушаемых сотрясательными взрывами, могут быть огромными. Причем движущей силой в этом случае служит исключительно тяжесть самой породы. Природные плотины, образовавшиеся в результате землетрясений, обладают, как мы уже отмечали, очень хорошими гидротехническими свойствами. То же характерно и для плотин, сооруженных при помощи сотрясательных взрывов. Опыт показывает, что при больших масштабах обрушения скорость движения горной массы бывает очень велика, благодаря чему порода плотно утрамбовывается за счет дополнительного измельчения. В результате такого уплотнения материала плотина хорошо держит воду. Кроме того, фильтрационные потери можно снизить, увеличив ширину завальной плотины.

Сооружать плотины сотрясательными взрывами целесообразно прежде всего в сейсмически активных районах, поскольку такая плотина способна выдерживать систематически повторяющиеся сейсмические толчки высокой интенсивности. Долговечность завальных плотин с зарегулированным стоком, по существу, неограничена, и под действием повторяющихся сейсмических толчков гидротехнические свойства таких плотин будут только улучшаться.

Интересно сравнить условия образования завальных плотин при подземных взрывах и естественных землетрясениях. С этой целью сопоставим выявленные параметры обрушающего действия сотрясательного взрыва с интенсивностью естественных землетрясений, вызывающих обвалы и оползни. У сейсмологов для оценки силы землетрясения принята, как известно, балльность, которая определяется по разрушениям на поверхности земли: образованию трещин, обрушению склонов, степени разрушения построек и т. д. Так, по данным В. П. Солоненко, сила землетрясения, при котором образовались завальные озера на р. Ангараке, была около 9—10 баллов⁶. Для Усойского завала, образовавшего Сарезское оз., сила землетрясения оценивается в 9 баллов⁷, т. е. оно примерно равно Ангараканскому.

К сожалению, прямой зависимости между балльностью и такими кинематическими характеристиками землетрясения, как ускорение, скорость, амплитуда колебаний земной поверхности, не существует. В разных геологических условиях связь между балльностью землетрясения и, например, скоростью колебаний грунта может существенно различаться. Поэтому прежде всего следует определить эти условия. Воспользуемся данными Ф. Ф. Аптикаева, обработавшего информацию об огромном количестве землетрясений и установившего, какие значения скорости движения частиц породы (U) отвечают той или иной силе землетрясения (табл. 2). В этой же таблице приведены данные С. В. Медведева и Н. В. Шебалина о скорости колебаний частиц породы при землетрясениях различной силы⁸. По результатам Ф. Ф. Аптикаева можно построить грубую эмпирическую формулу:

$$U = 1,2 \cdot 10^{-4} I^6 \text{ (см/с)}.$$

Из данных С. В. Медведева и Н. В. Шебалина вытекает, что

$$U = 4 \cdot 10^{-5} I^5 \text{ (см/с)}.$$

Несмотря на некоторое различие этих выражений, ясно, что скорость движения

⁶ Солоненко В. П. Сейсмические условия зоны строительства БАМа. Оперативная информация. Новости науки БАМу. Иркутск, 1981.

⁷ Никонов А. А. Землетрясения. М., 1984.

⁸ Медведев С. В., Шебалин Н. В. С землетрясением можно спорить. М., 1967.

Таблица 2

Связь между интенсивностью землетрясения [1] и скоростью движения частиц породы [U]

I, балл.	6	6,5	7	7,5	8	9	10
U, см/с (по данным Ф. Ф. Аптикаева)	5,5	8,5	13	18	30	—	—
U, см/с (по данным С. В. Медведева, Н. В. Шебалина)	2—4	—	4—8	—	8—16	16—32	32—64

частиц породы очень быстро растет с увеличением балльности землетрясений. Во всяком случае, та скорость движения частиц породы, при которой наблюдается обрушение склонов, превышает 1—2 м/с, и, следовательно, по порядку величины скорости движения частиц при естественных и взрывных землетрясениях совпадают. Несколько меньшее значение этого параметра при естественных землетрясениях может быть связано либо с обрушением молодых неогеновых отложений, не отличающихся высокой прочностью, либо с обрушением участков, уже подготовленных в тектоническом и геологическом отношении. Кроме того, снижение скорости колебаний при естественных землетрясениях может быть обусловлено их большей продолжительностью и повторными толчками.

Говоря об использовании взрывов на сотрясение для образования завальных плотин, следует отметить одну очень важную особенность движения лавин горных пород. Она заключается в том, что после достижения уровня русла реки или dna ущелья лавина может уходить на довольно большие расстояния от места обрушения. Так, при обрушении породы со склонов гор во время Хаитского землетрясения 1949 г. образовавшаяся каменная лавина продвинулась почти на 4 км по горизонтали и, перегородив русло р. Оби-Кабуд, поднялась на противоположном склоне на высоту около 200 м. При этом склоны, с которых обрушились породы, возвышались всего на 800—1000 м над уровнем долины⁹. Все эти особенности сотрясательных взрывов позволяют использовать их для перемещения больших масс пород на необходимое расстояние от борта ущелья и равномерного заполнения каньона.

ВЗРЫВЫ — НАРОДНОМУ ХОЗЯЙСТВУ

Вот уже 50 лет взрывной метод создания плотин, дамб и перемычек с успехом применяется в гидротехническом и мелиоративном строительстве, а также в горнорудной промышленности. Благодаря накопленному практическому опыту и широким инструментальным наблюдениям за крупными промышленными взрывами, в настоящее время наша страна занимает ведущее положение в области научных разработок и практического использования энергии взрыва для строительства набросных профильных сооружений самого разного назначения, в том числе и водонапорных плотин. Задача заключается в том, чтобы с пользой для народного хозяйства систематически и разумно использовать богатый производственный опыт и научный потенциал.

В нашей стране имеются широкие возможности для применения взрывной технологии строительства. Особенно высокая экономическая целесообразность использования данной технологии в горных условиях, а также в условиях труднодоступных районов с суровым климатом. Строительство крупных водонапорных плотин высотой 100, 200 м и более, требующее перемещения десятков и сотен миллионов кубических метров горной породы, обычно продолжается в таких районах в течение 10—15 лет и поглощает огромное количество дефицитного привозного цемента и металла. И это наряду с тем, что возведение плотин из местных материалов может дать существенные экономические выгоды.

Одним из радикальных и перспективных способов удешевления строительства и сокращения его сроков является использование энергии взрыва. Так, проектные проработки вариантов плотин для Камбаратинской ГЭС (р. Нарын в Киргизии), Мокской ГЭС (р. Витим в районе БАМа),

⁹ Косенко С. И. К вопросу об энергии землетрясения. — Труды Геофиз. ин-та АН СССР, 1953, № 21 (148), с. 3.

Урсульской и Аргутской ГЭС (р. Катунь на Алтае), Сусамырской ГЭС (р. Кокомерен на Кавказе) и Тертерской ГЭС (р. Тертер в Азербайджане) показали, что при условии взрывного способа возведения плотин удешевление сметной стоимости этих гидроузлов составит сотни миллионов рублей по сравнению с традиционными методами.

Столь же перспективным и экономически выгодным представляется сооружение с помощью взрыва плотин водохранилищного назначения и плотин для защиты от селевых потоков. В качестве примера намеченных объектов такого рода можно назвать Ляйлякское водохранилище и водоселехранилище на р. Араван-Сай в Киргизии.

В заключение подчеркнем, что, хотя разрабатывать и перемещать горные породы взрывным способом научились уже давно, далеко не все возможности взрыва используются в полной мере. Например, не всегда учитывается, что в условиях горной местности наиболее эффективны

взрывы обрушающего действия, при которых энергия взрывчатых веществ необходима только для подсечения массива, а основную работу по перемещению породы совершает сила тяжести.

Именно такого рода крупномасштабный взрыв на обрушение с применением зарядов химических взрывчатых веществ намечено использовать при сооружении одной из самых крупных на р. Нарын Камбаратинской ГЭС мощностью 2 млн кВт. Высота плотины составит 270 м, а объем пород, слагающих тело плотины, превысит 100 млн м³. Как мы уже отмечали, применение крупномасштабного взрыва в условиях неосвоенного горного района имеет существенные преимущества по сравнению с другими вариантами строительства плотин. По этой причине реализация проекта откроет беспрецедентные возможности для развития в горных районах не только гидротехнических, но и других отраслей народного хозяйства, например горнорудной.

В 1986 г. В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «НАУКА» ВЫЙДУТ СБОРНИКИ:

Семь путешествий в микромир.

Прошлое и будущее Вселенной.

Они составлены из статей, опубликованных в последние годы в журнале «Природа».

Как зарождалась нейтринная физика? Распадается ли протон — основа мироздания? Существуют ли глюболы — необычные частицы, составленные из квантов калибровочных полей? Могут ли численные эксперименты на ЭВМ заменить традиционные эксперименты на ускорителях? Каким образом из кварка или глюона рождаются адронные струи и какую информацию о структуре микрочастиц они несут? Ответы на эти вопросы ждут читателей первого сборника. Среди его авторов — академик Б. М. Понтекорво, академик А. А. Логунов, член-корреспондент АН СССР С. С. Герштейн.

Почему расширяется Вселенная? Сменится ли расширение сжатием? Какие механизмы определяют эти процессы? Какова связь гипотетических черных дыр с фунда-

ментальными проблемами физики, в частности с термодинамикой? Можно ли считать нейтрино кандидатом на роль «темной материи» во Вселенной? Эти и другие проблемы нашли отражение во втором сборнике. Авторы статей — академик Я. Б. Зельдович, доктор физико-математических наук И. Д. Новиков, Д. А. Киржниц и другие специалисты в области космологии и астрофизики.

Объем каждого сборника — 10 печ. л., ц. 70 к. Желющие приобрести их могут направлять заказы по адресу: 117192, Москва, Мичуринский проспект, 12, магазин «Книга — почтой» Центральной конторы «Академкнига»; 197345 Ленинград, Петрозаводская ул., 6, магазин «Книга — почтой» Северо-Западной конторы «Академкнига». Аналогичные магазины есть во многих городах страны.

Набухание: от глины к живой клетке

А. А. Веденов, Е. Б. Левченко, Л. И. Третьякова

В самых разнообразных объектах, содержащих воду или другой растворитель, — минералах, растворах, живых клетках или организмах — существуют регулярные структуры, например стопки из равноотстоящих параллельных слоев или решетки из параллельных стержней. Пространство между ними заполнено растворителем, а растворенное вещество сосредоточено в самих структурных единицах. Периоды таких структур (измеряемые суммой толщин слоя или стержня и зазора) могут быть разными — от долей нанометра до нескольких микрометров.

При добавлении растворителя подобные системы, как принято говорить, набухают, т. е. параметры их регулярных структур изменяются: для одних веществ увеличивается толщина зазора (иногда в десятки и даже сотни раз), для других — меняются размеры самих структурных единиц и (или) их взаимное расположение.

В последние годы удалось выяснить молекулярные механизмы, управляющие процессами набухания в различных системах. Оказалось, что основные закономерности этих процессов имеют много общего для очень широкого класса систем — от глинистых минералов до биополимеров. Такое замечательное единство едва ли случайно и заслуживает более подробного анализа. Возможно, оно имеет определенный эволюционный смысл.

ГЛИНИСТЫЕ МИНЕРАЛЫ

Глинистые минералы относятся к алюмосиликатам и широко распространены в природе. Их структура составлена из кристаллических алюмосиликатных слоев (плоских либо изогнутых в трубки), которые, в свою очередь, образованы из «ячеек», имеющих форму тетраэдров или октаэдров, связанных между собой в конструкции, напоминающие сети. В вершинах

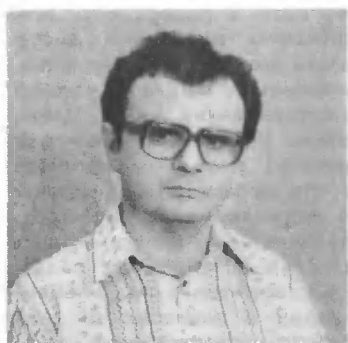
каждой такой ячейки расположены атомы кислорода, а в центре — атом металла (например, алюминия) или полупроводника (кремния). Все глины различаются между собой количеством в слое сеток из ячеек того или иного типа, а также тем, атомы каких элементов «вставлены» в тетраэдры и октаэдры. Так, в глинистом минерале монтмориллоните, обладающем наибольшей способностью к набуханию, алюмосиликатные слои состоят из трех сеток: средней (октаэдрической) и двух крайних (тетраэдрических). В центрах тетраэдров расположены атомы кремния, в центрах октаэдров — атомы алюминия. Часть атомов кремния и алюминия может замещаться атомами алюминия и магния соответственно. Из-за различия валентностей алюминия и кремния или магния и алюминия слои при этом заряжаются отрицательно. Этот избыточный заряд компенсируется так называемыми обменными катионами (K^+ , Na^+ и т. п.), находящимися в водных промежутках между слоями вблизи от тетраэдрических «сеток». В монтмориллоните алюмосиликатные слои имеют вид плоских пластин толщиной около 1 нм и уложены в стопки, образующие микрокристаллы. Зазоры между пластинами заполнены водой, количество которой возрастает при набухании глины и уменьшается при осушении¹.

Вода в этих зазорах обладает кристаллической структурой, напоминающей «испорченную» структуру обычного льда (льда-I), но отличающуюся от нее тем, что в воде примерно 15 % водородных связей, стабилизирующих кристаллическую решет-

¹ Некоторые глинистые минералы в воде не набухают, но в других жидкостях их ограниченное набухание имеет место. Например, каолинит (алюмосиликатные слои которого состоят из двух сеток) набухает в концентрированных растворах уксуснокислого калия, мочевины, формамиде.



Александр Алексеевич Веденов, доктор физико-математических наук, начальник отдела Института атомной энергии им. И. В. Курчатова, профессор Московского физико-технического института. Научные интересы относятся в основном к статистической физике, физике плазмы, квантовой электронике, биофизике. Автор нескольких книг, в том числе: Теория турбулентной плазмы. М., 1965; Физика электроразрядных CO₂-лазеров. М., 1982; Физика растворов. М., 1984.



Евгений Борисович Левченко, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник того же института. Научные результаты связаны с квантовой электроникой, теорией фазовых переходов в неравновесных системах и физикой жидких кристаллов.

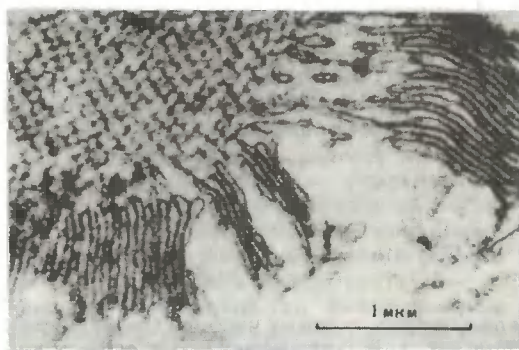
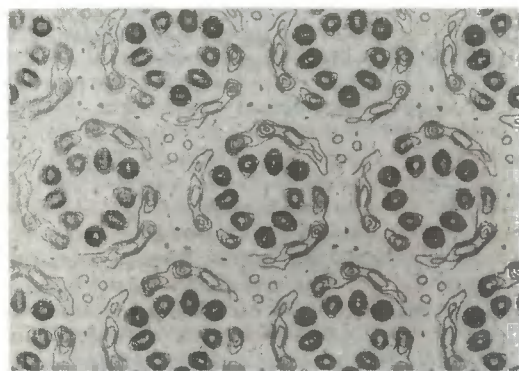
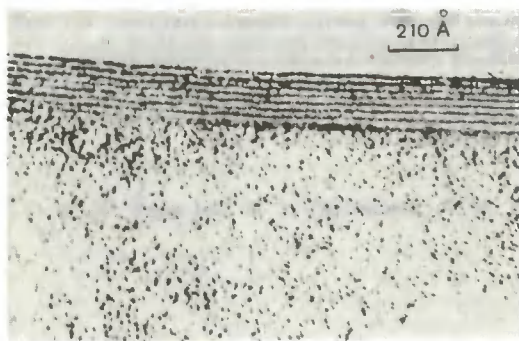


Людмила Иннокентьевна Третьякова, научный редактор издательства «Мир». Автор ряда научных работ по физике лиотропных жидких кристаллов и рентгеноструктурному анализу глинистых минералов.

ку льда, разорвано и в некоторых полостях этой решетки помещаются молекулы H₂O. Поскольку в глине поверхность алюмосиликатных пластин, обращенная к водному зазору, образована расположенными в гексагональном порядке атомами кислорода и период поверхностной структуры близок к периоду решетки льда, водородные связи воды оказываются согласованными с этой структурой и как бы «пришитыми» к ней². Энергия молекул воды, находящихся в электрическом поле алюмосиликатных пластин, меньше, чем

вдали от них, поэтому частицы глины гидрофильны, т. е. «притягивают» к себе воду. Вблизи пластин молекулы воды более упорядочены, чем вдали от них. Похожая ситуация имеет место в металлах, когда в один из узлов кристаллической решетки помещается атом примеси, обладающий собственным магнитным моментом (при этом наведенная намагниченность электронов максимальна у примеси и уменьшается по мере удаления от нее). Воспользовавшись этой аналогией с магнетиками, каждой точке в водном зазоре можно приписать определенное значение некоторой величины, называемой параметром порядка, для которой из условия минимума энергии системы следует

² Eirish M. V., Tretyakova L. I.— Clay Minerals, 1970, v. 8, p. 255.



Примеры регулярных структур в различных системах. Вверху — на электронной микрофотографии образца набухшей глины отчетливо видна слоистая структура, составленная из кристаллических алюмосиликатных пластин, в промежутках между которыми находятся вода и растворенные в ней обменные катионы. В центре — карта электронной плотности пурпурной мембраны соелюбивых бактерий (простейшей из известных фотосинтезирующих систем), в которой регулярная структура — двумерная гексагональная решетка — состоит из элементов, образованных тремя молекулами белка бактериородопсина, каждая из которых содержит семь α -спиралей, перпендикулярных поверхности мембраны. Внизу — на микрофотографии развивающегося хлоропласта зеленого растения регулярная слоистая структура возникает из регулярной системы трубочек, «упакованных» в гексагональную решетку.

уравнение, описывающее изменение этой величины в пространстве. У поверхности пластин параметр порядка равен единице (это значение соответствует льду-I), по мере удаления от нее он спадает до нуля (значение, отвечающее обычной жидкой воде). Величина параметра порядка характеризует многие свойства поверхностных слоев воды, например модуль сдвига, вязкость, растворимость солей и т. д.

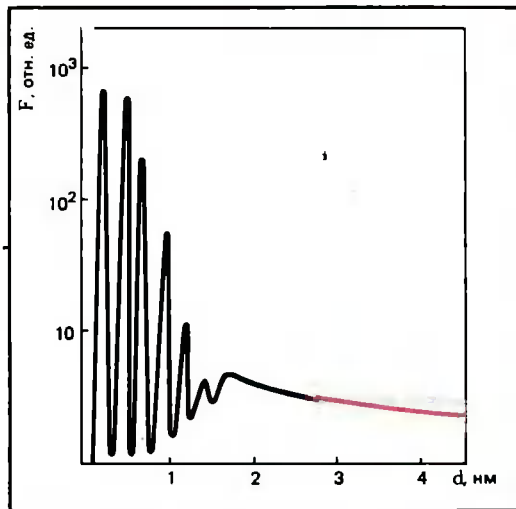
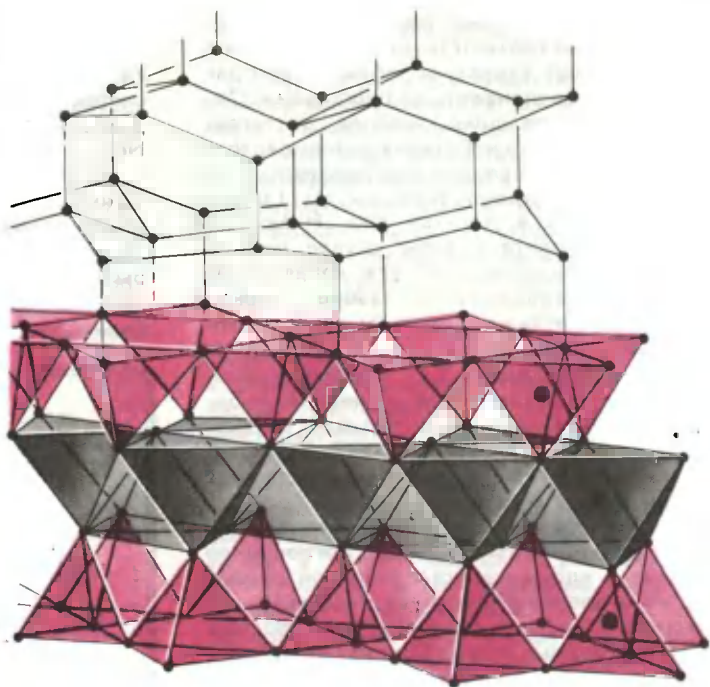
Толщина водного зазора в микрокристалле монтмориллонита определяется балансом гидратационных сил отталкивания (связанных с «втягиванием» молекул воды в электрическое поле у поверхности пластин и осмотическим давлением диссоциировавшей части ионов) и ван-дер-ваальсовых сил притяжения³. Недавно удалось измерить силу отталкивания между двумя пластинками слюды (близкой по структуре к монтмориллониту) в водном растворе KCl. Оказалось, что на расстояниях меньше 2 нм эта сила осциллирует с периодом, примерно совпадающим с размером мономолекулярного слоя в кристалле льда-I. В органических растворителях число наблюдаемых осцилляций в зависимости силы от расстояния между пластинками увеличивалось при приближении температуры к точке перехода жидкости в твердое состояние⁴. Ван-дер-ваальсово притяжение, измеренное в 50-х годах Б. В. Дерягиным с сотрудниками, в соответствии с предсказаниями теории, монотонно убывает с расстоянием.

Равновесное расстояние между пластинами в глине увеличивается при повышении осмотического давления диссоциировавших катионов за счет уменьшения концентрации соли (например, KCl или NaCl) в растворе или при «втягивании» дополнительного количества воды в зазоры вследствие снижения осмотического давления раствора, с которым образец находится в равновесии. Набухание монтмориллонита при толщине зазоров менее 2 нм обычно исследуют, изменяя упругость насыщенного водяного пара в системе либо помещая образец в раствор электролита, а при толщине свыше 2 нм — изучая равновесие образца в растворе электролита. Наблюдая дифракцию рентгеновских лучей и нейтронов, установили⁵, что при малом содержании воды в образце толщина зазора в процессе набухания меняется скачками — словно число монослоев воды

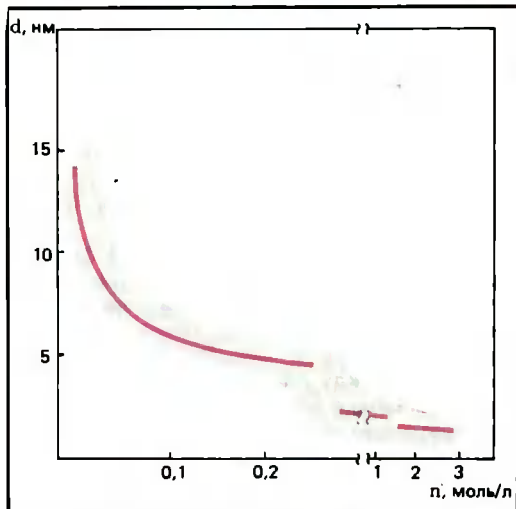
³ Веденов А. А., Третьякова Л. И. — Письма в ЖЭТФ, 1981, т. 34, с. 271.

⁴ Israelashvili J. N., Pashley R. M. — Nature, 1983, v. 306, p. 249.

Схематическое изображение структуры глинистого минерала монтмориллонита. Его алюмосиликатные слои, чередующиеся со слоями воды, образованы тремя «сетками» атомов кислорода (малые кружки): центральной, состоящей из октаэдров, и двумя тетраэдрическими («ячейки» каждой сетки отмечены цветом). В центрах одной из «ячеек» каждой сетки большими кружками показаны атомы алюминия или кремния (иногда замещенные атомами магния или алюминия соответственно). Верхние два слоя — сетки связей между молекулами воды (атомы водорода на рисунке не показаны).



Зависимость силы F взаимодействия между двумя пластинками слюды в растворе KCl от расстояния d между ними. На расстояниях меньше 2,5 нм сила осциллирует с периодом, близким к периоду кристаллической структуры льда, а далее монотонно убывает с ростом d (цветной участок кривой). Это подтверждает квазикристаллическую структуру раствора на малых расстояниях и ее исчезновение («плавление») на больших.



Зависимость периода d слюистой структуры монтмориллонита от концентрации n соли $NaCl$ в растворе, полученная методом дифракции рентгеновских лучей. Пологие участки на кривой при малой толщине d водных зазоров соответствуют двум и четырем молекулярным слоям воды между алюмосиликатными пластинками. С уменьшением n при некоторых значениях толщина зазоров возрастает скачком, после чего вновь увеличивается плавно.

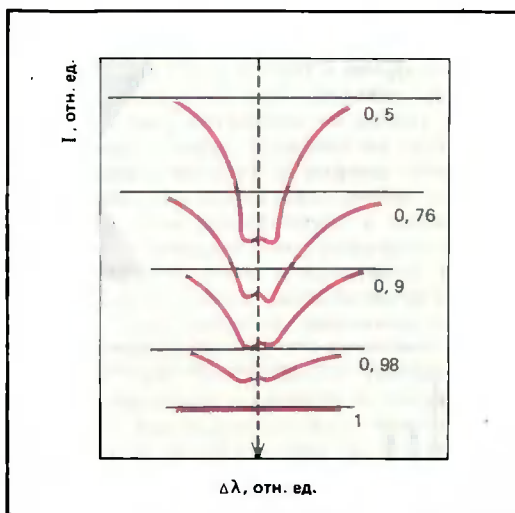
возрастает каждый раз на единицу. Такая картина соответствует представлению о регулярной структуре воды в зазорах между алюмосиликатными пластинами. Однако, когда толщина зазоров достигает 1—2 нм, характер набухания меняется: толщина водной прослойки для некоторых одновалентных катионов (скажем, Na^+) резко увеличивается в десятки раз. Набухание монтмориллонита в этом случае практически не ограничено — вся добавленная вода распределяется в зазорах между алюмосиликатными пластинами⁵. Монтмориллонит с двухвалентными обменными катионами (например, Ca^{++}), а также некоторые другие глинистые минералы набухают до определенного предела — скачок к большим водным промежуткам в них не наблюдается, а добавленная вода «отслаивается» в отдельную фазу.

Эксперименты по мессбауэровскому поглощению (резонансному поглощению γ -квантов ядрами кристаллической решетки, не сопровождающемуся отдачей) в набухающих глинах показали, что с ростом толщины водных зазоров от значения, близкого к нулю, до значения, соответствующего толщине примерно четырех мономолекулярных слоев воды, это поглощение заметно слабеет⁶. Поскольку мессбауэровское поглощение существует лишь в твердых телах, но не в жидкостях, это указывает на постепенный переход заключенной между алюмосиликатными пластинами воды из квазикристаллического состояния, напоминающего состояние льда, в обычное жидкое состояние.

Так как растворимость ионов сильно зависит от степени упорядочения воды (например, поваренная соль прекрасно растворяется в воде, но почти не растворима во льду), то с «плавлением» воды в зазорах между пластинами растет число образовавшихся при диссоциации ионов и, следовательно, осмотическое давление. Сила отталкивания между алюмосиликатными пластинами при этом увеличивается, и толщина водного промежутка может скачком измениться во много раз. Таким образом, возможность неограниченного набухания непосредственно связана с наличием в растворе обменных катионов (как правило одновалентных). Правда, глины с различными

одновалентными катионами набухают все же по-разному, поскольку энергия связи катионов с поверхностью пластин оказывается неодинаковой. (При равной концентрации водные зазоры в глинах для ионов Na^+ и K^+ различны.)

Набухающие глины — одна из важнейших составных частей почв, определяющая их влагоемкость, всасывающее давление⁷ и другие характеристики, от которых зависит плодородие. Максимальное всасывающее давление, создаваемое растениями (осмотическое давление в их клет-



Изменение интенсивности I мессбауэровского поглощения при набухании монтмориллонита. При увеличении толщины водных промежутков между алюмосиликатными пластинами (сверху вниз) поглощение плавно падает, указывая на постепенный переход воды из квазикристаллического в обычное жидкое состояние. [По горизонтальной оси отложено изменение длины волны $\Delta\lambda$ резонансного γ -излучения; числа у кривых соответствуют относительной влажности окружающего водяного пара].

ках), составляет обычно 10—20 атм. Влажность почвы при этом давлении (так называемая влажность завядания растения) примерно соответствует двум мономолекулярным слоям воды между алюмосиликатными пластинами глины.

Если влажность почвы падает до значений, отвечающих двум и менее моле-

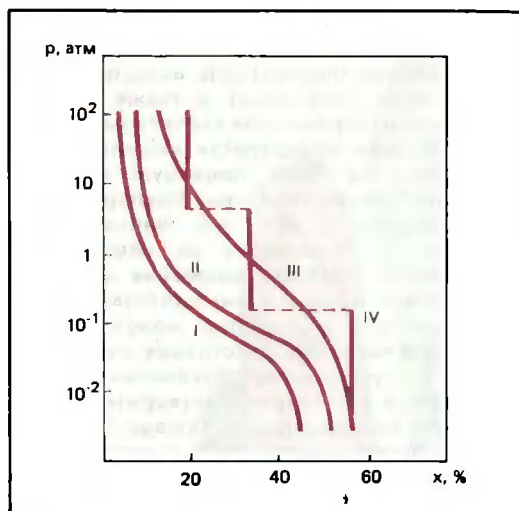
⁵ Это происходит только при добавлении чистой воды (для раствора электролита величина зазоров ограничена толщиной двойного электрического слоя, определяемой концентрацией электролита).

⁶ Эйриш М. В., Дзуреченская А. А. — Коллоидный ж., 1978, т. 40, с. 810.

⁷ Всасывающее давление почвы — это осмотическое давление раствора, находящегося в равновесии с почвой, набухшей до определенной влажности.

кулярным слоям воды, то всасывающее давление резко возрастает до десятков и даже сотен атмосфер. Известны случаи, когда давление, возникающее при набухании сухих глинистых почв, разрушало крупные инженерные сооружения.

Способность глинистых минералов изменять толщину зазоров между слоями от долей нанометра, когда вода в зазорах находится в высокоупорядоченном квазикристаллическом состоянии, до десятков нанометров, когда она «становится жидкой» и процессы обмена с внешним



Зависимость всасывающего давления p почвы от ее влажности x для песчаного суглинка (I), суглинка (II), почвенной глины (III) и монтмориллонита (IV). Скачкообразные изменения влажности в последнем случае (при двух и четырех молекулярных слоях воды в зазоре между алюмосиликатными пластинами) отмечены пунктиром.

раствором протекают с большой скоростью, является редкой, если не уникальной, в неорганическом мире. В связи с этим уже довольно давно обсуждается высказанная Дж. Берналом гипотеза о том, что именно набухающие глины сыграли важнейшую роль в происхождении жизни на Земле: поверхность частиц глины могла служить тем естественным катализатором, на котором происходило образование полипептидов (белков) из отдельных аминокислот, по-видимому, присутствовавших в воде в условиях древней Земли.

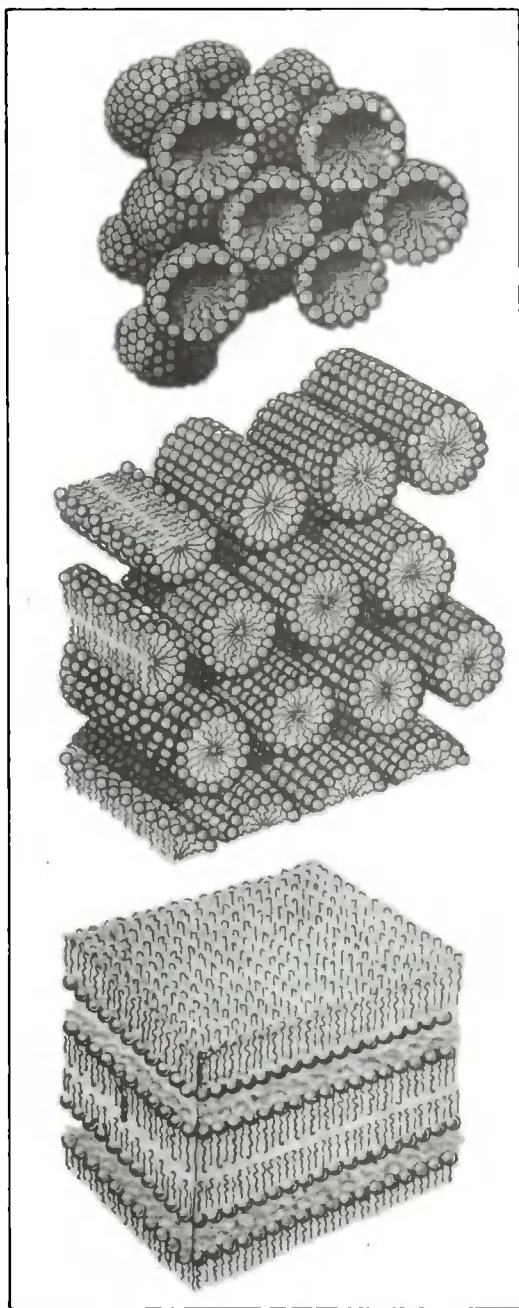
ЛИОТРОПНЫЕ ЖИДКИЕ КРИСТАЛЛЫ

Практически все вещества, входящие в состав живых клеток, в том числе белки, жиры (липиды), углеводы (полисахариды), в той или иной мере подвержены набуханию. Наиболее полно в настоящее время изучено набухание так называемых амфифильных веществ, которые образуют в растворах упорядоченные надмолекулярные структуры — лиотропные жидкие кристаллы⁸.

Молекулы амфифильных веществ (амфифилов) имеют удлинённую форму и содержат полярную головку (участок, хорошо растворимый в воде) и жирный хвост, растворимый в масле. (В зависимости от конкретной структуры полярные головки могут в воде либо диссоциировать на ионы, либо не диссоциировать.) Типичные представители этого класса — обычные мыла, а также биологические вещества — липиды и фосфолипиды. Жирные хвосты не содержат атомных групп, образующих с молекулами воды (или другого полярного растворителя) водородные связи, поэтому энергетически наиболее выгодной оказывается такая структура, в которой жирные хвосты помещены в полости сетки водородных связей между молекулами воды. Вероятность подобной конфигурации молекул в воде невелика, так что жирные вещества растворяются в воде плохо. Из-за этого истинный молекулярный раствор амфифильных веществ в воде существует лишь при очень малой концентрации растворенного вещества, обычно не превышающей нескольких сотых моля на литр. При большей концентрации в растворе образуются агрегаты молекул — мицеллы. В зависимости от концентрации раствора, температуры, наличия в нем неорганических солей и т. д. размеры и форма мицелл меняются, причем наиболее часто встречаются сферические, цилиндрические или слоистые образования.

Лиотропные жидкие кристаллы представляют собой макроскопически однородные, но микрогетерогенные фазы, которые состоят из мицелл, «плавающих» в воде, и обладают обычно кубической (для сферических мицелл), гексагональной (для цилиндрических) или ламеллярной (для слоистых) структурами. Поверхность ми-

⁸ Лиотропными называют жидкие кристаллы, образующиеся при растворении (в отличие от термолитропных, возникающих в процессе плавления твердых тел).



Схематическое изображение структуры жидкокристаллических фаз в растворах амфифильных веществ: вверху — сферические мицеллы, упакованные в кубическую решетку; в центре — цилиндрические мицеллы, образующие двумерную гексагональную решетку; внизу — плоские мицеллы, выстроенные в систему из равноотстоящих слоев. Во всех фазах выполнен принцип «подобное растворяется в подобном»: полярные головки молекул обращены к воде, а их жирные хвосты — друг к другу.

целл, обращенная к воде, образована полярными головками, а внутренняя часть (ядро) состоит из жирных хвостов, каждый из которых, следовательно, находится в «жирном» окружении. Тем самым обеспечивается выполнение знаменитого правила химии: подобное растворяется в подобном.

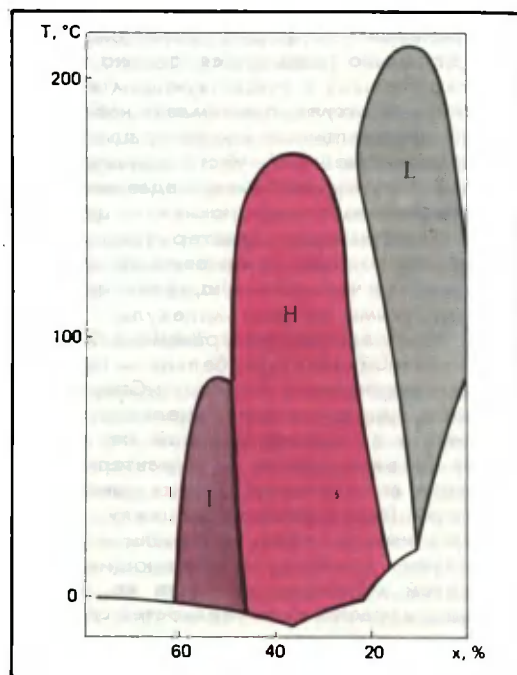
Поскольку поверхность мицелл, как и поверхность алюмосиликатных пластин в глин, гидрофильна, структура водородных связей воды вблизи мицелл в общих чертах такая же, как и возле частиц глины. Однако между этими поверхностями имеются и отличия, наиболее важные среди которых — неупорядоченность поверхности мицелл (поверхность алюмосиликатных пластин регулярна), а также сильная зависимость параметров структуры (например, площади поверхности мицеллы, приходящейся на одну полярную головку) от концентрации раствора. Неупорядоченность связана с тем, что жирное ядро мицеллы — жидкое и на поверхности сказывается тепловое движение молекул. Из-за этого и сила взаимодействия между мицеллами в растворе монотонно падает с увеличением расстояния между ними, т. е. осцилляции, обусловленные молекулярной структурой растворителя, оказываются «замазанными». Правда, как показывают эксперименты по дифракции рентгеновских лучей, в некоторых системах (гелях) с ламеллярной структурой поверхность мицелл при низких температурах становится упорядоченной (кристаллической).

При изменении состава или температуры раствора могут меняться как геометрические характеристики мицелл (их размеры и «упаковка» в них молекул), так и их заряд, определяемый степенью диссоциации полярных головок. Измерения методом ЯМР — ядерного магнитного резонанса (резонансного поглощения электромагнитного излучения в веществе, вызванного переориентацией магнитных моментов атомных ядер) — свидетельствуют, что удельный заряд поверхности у мицелл, как и в алюмосиликатных пластинах глинистых минералов, возрастает с увеличением количества воды в системе.

Структурные изменения мицелл подчиняются общему правилу, справедливому как для изотропных, так и для анизотропных (жидкокристаллических) растворов: площадь поверхности, приходящаяся на одну полярную головку, уменьшается с повышением концентрации (плавно в пределах одной фазы и скачком при фазо-

вом переходе). Поскольку объем жидкого ядра мицелл при этом остается примерно постоянным, меняется также их форма или размеры. При увеличении концентрации амфифильных веществ в растворе, как правило, сначала возникают сферические мицеллы, которые затем перестраиваются в цилиндрические и далее — в слоистые.

Рассмотрим подробнее набухание ламеллярных фаз, образующихся в растворах самых различных амфифилов. При добавлении воды в раствор возможны два предельных случая. В первом из них вся



Фазовая диаграмма водного раствора амфифильного вещества. По горизонтальной оси отложены значения содержания воды x в растворе, по вертикальной — температуры T . I — кубическая фаза (сферические мицеллы), H — гексагональная (цилиндрические мицеллы), L — ламеллярная (слоистые мицеллы).

вода проникает в пространство между полярными головками, что приводит к росту площади их соприкосновения с водой. При этом период структуры остается примерно постоянным. Во втором случае толщина водных промежутков между слоями увеличивается пропорционально количеству добавленной воды, а площадь, приходящаяся на одну полярную головку, прак-

тически не меняется. Встречаются и промежуточные варианты. В общем случае тип набухания вещества определяется молекулярными структурами поверхностного слоя мицелл и жирных хвостов входящих в них молекул (так, набухание ламеллярных фаз, образованных молекулами с одной и двумя углеводородными цепями в хвосте, происходит по-разному). Поверхностные свойства мицелл можно изменить, добавив в раствор неорганическую соль либо амфифильное вещество, подобное спирту. Молекулы спирта встраиваются в мицеллы так, что их хвосты, содержащие углеводородные цепи, располагаются в углеводородном ядре, а гидрофильные группы — в поверхностном слое. При этом полярные головки на поверхности мицелл образуют своеобразный «двумерный раствор», свойства которого зависят от состава системы. Например, как установлено методом ЯМР, энергия связи катионов K^+ Na^+ и т. п. с остатками жирных кислот уменьшается при увеличении концентрации спирта, что приводит к увеличению толщины водных промежутков. Изменить характер набухания слоистых структур удается и добавляя в систему небольшое количество легко диссоциирующего амфифила, например мыла. В этом случае ограниченное набухание (определяемое равновесием ван-дер-ваальсовых и гидратационных сил) сменяется неограниченным, т. е. вся прибавляемая вода «втягивается» между слоями, раздвигаемыми растущим осмотическим давлением образующихся при диссоциации ионов.

Как и у глин, свойства поверхности мицелл зависят от обменных катионов. В частности, площадь, приходящаяся на одну полярную головку, для калиевых мыл больше, чем для натриевых, при этом энергия связи с гидрофильными группами у ионов K^+ больше, чем у Na^+ .

ПОЛИМЕРЫ И БЕЛКИ

Образование набухающими амфифилами упорядоченных структур, в конечном итоге, вызвано наличием в составе молекул двух сильно различающихся по растворимости частей: полярной и жирной. Лиотропные жидкокристаллические фазы (кубические, гексагональные, ламеллярные) возникают и в растворах так называемых блок-сополимеров. Молекулы этих веществ представляют собой полимеры, состоящие из повторяющихся различных мономерных единиц (в простейшем случае а и б), объединенных в груп-

пы (блоки), например: $a \dots ab \dots b$ (в более короткой записи — АВ). Добавление к блок-сополимеру жидкости, являющейся хорошим растворителем для А и плохим для В, приведет к различному набуханию участков А и В и их пространственному разделению. Поскольку, однако, полное расслоение раствора на фазы, одна из которых содержала бы только мономер а, а вторая — б, невозможно из-за связи между участками цепи А и В, в системе появляется лишь микрогетерогенность (скажем, ламеллярная жидкокристаллическая структура с чередованием слоев, образованных «растворами» мономеров а и б соответственно).

Степень набухания полимерной цепи в растворе определяется, с одной стороны, сродством мономеров к данному растворителю (напомним: «подобное растворяется в подобном»), а с другой — относительной подвижностью отдельных звеньев этой цепи, стремящейся (при отсутствии взаимодействия с растворителем) принять наиболее вероятную форму клубка. Последним обусловлена специфическая упругость полимеров типа каучука. Наконец, если полимерная цепь содержит группы атомов, диссоциирующие в данном растворителе, то осмотическое давление ионов, как и в глинах, и лиотропных жидких кристаллах, может оказывать заметное влияние на характер набухания.

Взаимодействие звеньев цепи с растворителем может меняться и приводить к эффективному притяжению мономеров при одних температурах и к отталкиванию — при других. Равновесное набухание полимерной цепи определяется балансом сил притяжения или отталкивания между ее звеньями в растворе, ее упругостью и осмотическим давлением образовавшихся при диссоциации ионов⁹. В зависимости от состава и температуры растворителя молекула полимера пребывает либо в напоминающем клубок «рыхлом» состоянии, что соответствует набуханию, либо в более плотном (своего рода коллапс). Имеют место и промежуточные ситуации, когда молекула обладает плотным ядром (глобулой) и рыхлой периферией¹⁰.

Растворы, в которых молекулы дополнительно «сшиты» между собой химическими связями, называются полимерными

гелями. Эти «сшивки» препятствуют удалению цепей друг от друга, и при набухании геля формируются микродомены — области с большей или меньшей концентрацией полимера¹¹.

В живых организмах полимеры входят практически во все клеточные структуры и выполняют самые разнообразные функции. Наиболее широкий класс биополимеров образуют белки. В клетках они построены из 20 аминокислот, последовательность которых задана генетически. Свойства отдельных групп этих аминокислот меняются от гидрофильных до гидрофобных (жирных). В зависимости от состава растворителя форма молекулы белка может сильно различаться, однако при условиях, близких к существующим в живой клетке, молекула принимает небольшое число определенных конфигураций (иногда — единственную). Часто наряду с первичной структурой белка, задаваемой последовательностью аминокислот в цепи, выделяют вторичную, характеризующую взаимное расположение ее звеньев, а также третичную и четвертичную, связанные с более крупными частями молекулы.

Наиболее распространенные элементы вторичной структуры белков — так называемые α -спирали и β -листы, α -Спираль подобна цилиндрической мицелле — обычной либо с жирной полосой на поверхности (в зависимости от характера окружающих аминокислот). β -Лист напоминает плоскую (однослойную) мицеллу. Соприкасаясь между собой, α -спирали и β -листы образуют домены, охватывающие часть белковой молекулы или всю ее. Между жирными участками поверхностей спиралей и листов создается плотный контакт (как и между жирными хвостами молекул в ядре мицеллы), а между гидрофильными участками образуются водные прослойки.

В конечном итоге структура надмолекулярной организации белков в растворах определяется расположением гидрофильных и жирных участков на поверхности субмолекулярных единиц, а также «сшивок» между белковыми цепями. Изменение первичной структуры белка (последовательности аминокислот) может сказаться и на его вторичной, третичной и т. д. структурах, а в результате — на строении надмолекулярных агрегатов, возникающих в растворе. Известны случаи, когда замещение одной аминокислоты в белке приводит к образованию аномальной чет-

⁹ Веденов А. А. Физика растворов. М., 1984.

¹⁰ Лифшиц И. М., Гроссберг А. Ю., Хохлов А. Р. — Усп. физ. наук, 1979, т. 127, вып. 3, с. 353.

¹¹ Tanaka T. — Scient. Amer., 1981, № 1, p. 110.

вертикальной структуры и вызывает тяжелое наследственное заболевание — серповидноклеточную анемию.

Гемоглобин в здоровой клетке состоит из четырех попарно идентичных цепей, связанных между собой. У больных серповидноклеточной анемией гемоглобин отличается единственным аминокислотным остатком: растворимая в воде глутаминовая кислота заменена жирным валином. В водном растворе жирные аминокислотные остатки соседних молекул «склеиваются», образуя нити, в свою очередь свивающиеся в спиральные волокна, каждое из которых состоит из 14 нитей. Именно эти волокна и придают эритроцитам искаженную, серповидную форму (вместо обычной, дисковидной).

Это отнюдь не единственный пример, когда нарушение надмолекулярной структуры ведет к тяжелым заболеваниям. Так, холестериновые бляшки при атеросклерозе и камни при желчнокаменной болезни, по существу, представляют собой жидкокристаллические фазы, подобные ламеллярной фазе в мыльных растворах¹².

КЛЕТОЧНЫЕ СТРУКТУРЫ

В каждой живой клетке существует множество регулярных структур, напоминающих различные структуры лиотропных жидких кристаллов и изменяющихся в процессе жизнедеятельности, т. е. в процессах обмена веществ, роста, движения и деления, подобно тому как меняются лиотропные жидкие кристаллы при набухании и осушении. Как и в рассмотренных выше системах, многие из этих структурных перестроек в клетке происходят под влиянием изменения ионного состава среды.

Все биохимические процессы в клетках протекают в этих структурах и, по существу, определяются ими. Многие клеточные структуры (мембраны, оболочки вирусов, различные ферментные комплексы, реснички и жгутики бактерий и т. д.) для поддержания своего существования не требуют затрат энергии и в растворах подходящего состава могут возникать самопроизвольно, подобно мицеллам в растворах амфифилов. Подчеркивая самопроизвольность процессов сборки таких структур из отдельных молекул (происходящих как внутри живой клетки, так и в искусственно созданных условиях), их обыч-

но называют процессами самосборки биологических структур.

В настоящее время исследованы процессы самосборки различных клеточных структур. Мы упомянем лишь о некоторых из них.

Мембраны — неотъемлемый атрибут живых клеток — представляют собой двойной молекулярный слой (бислой), напоминающий ламеллу лиотропного жидкого кристалла, и управляют переносом различных веществ между разными частями клетки или между клеткой и внешней средой. Бислой образован амфифильными молекулами (липидами и фосфолипидами) и молекулами белка. Именно белки придают мембранам специфические свойства и позволяют выполнять разнообразные биологические функции: регулировать перенос ионов в клетке с помощью ионных каналов (так называемый пассивный транспорт) и ионных насосов (активный транспорт), осуществлять ферментативные реакции синтеза необходимых клетке веществ, преобразовывать световую энергию и энергию окисления в химическую энергию аденозинтрифосфорной кислоты (АТФ) — универсальной энергетической «валюты» клетки и т. д.

Простейшая из известных фотосинтезирующих систем — пурпурная мембрана солелюбивых бактерий — имеет вид «бляшки» (пятна) на поверхности клеточной мембраны и состоит из молекул белка бактериородопсина, погруженных жирными частями в липидный слой. В одной такой бляшке может насчитываться несколько тысяч молекул, образующих правильную гексагональную решетку¹³. В молекуле бактериородопсина имеется особая светочувствительная группа (хромофор), поглощающая свет. Эта молекула составлена из семи L-спиралей, ориентированных перпендикулярно поверхности мембраны, и по форме напоминает трубку. В ее полости (внутреннем канале), заполненной некоторым количеством воды, по-видимому, и происходит преобразование поглощенной хромофором энергии света в энергию протонов, концентрация которых в клетке понижается по сравнению с внешней средой¹⁴. Таким образом, молекула бактериородопсина действует как своего рода протонный насос, управляемый светом, — она перебрасывает из клетки

¹² Подробнее об этом см.: Минц Р. И., Кононенко Е. В. Дефекты биологических жидких кристаллов. — Природа, 1984, № 6, с. 56.

¹³ Ануин Н., Хендерсен Р. — В мире науки, 1984, № 4, с. 36.

¹⁴ Веденов А. А. Фотосинтез. М., 1984.

наружу один протон при поглощении одного фотона.

Регулярные структуры образуют и другие белки, входящие в состав мембран, например: коннексоны (осуществляющие контакт соседних клеток), цитохромоксидаза (расположенная на внутренней мембране митохондрий — «органов дыхания» клетки — и способствующая протеканию одной из реакций цепи переноса электронов), белковые комплексы фотосинтезирующих мембран зеленых растений и т. д.

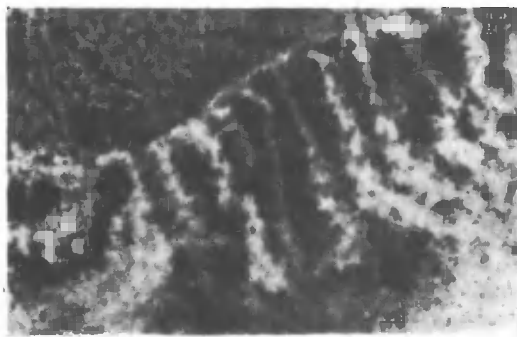
В живых организмах все клеточные структуры существуют в определенном, сравнительно узком интервале изменения солевого состава раствора, его водородного показателя pH, температуры и других параметров. Поддержание значений этих параметров в пределах, необходимых для нормального развития клеток, обеспечивается обменом веществ. Поэтому в нормальных условиях изменения надмолекулярной организации клеточных структур обычно наблюдают в отдельных фазах жизненного цикла организмов либо в специальных тканях, таких как мышечные. Например, в развивающемся хлоропласте зеленого растения ламеллярная структура возникает из гексагональной (и, по-видимому, жидкокристаллической) фазы. Возможны и ситуации, когда в клетках сосуществуют ламеллярная и гексагональные фазы, подобно тому как при определенных составе и температуре раствора они одновременно присутствуют в лиотропных жидких кристаллах.

В качестве другого примера сосуществования различных надмолекулярных агрегатов рассмотрим контакт между нервными клетками — синапс. Он состоит из принадлежащих различным клеткам двух мембран, между которыми имеется зазор. Внутри одной из клеток вблизи мембраны расположены синаптические пузырьки в форме шариков, поверхность которых образована двухслойной фосфолипидной мембраной, а внутренняя полость заполнена медиатором — химическим соединением, участвующим в переносе возбуждения. В покое, т. е. до прихода нервного импульса, система синаптических пузырьков, которую можно считать отдельной фазой, напоминающей мицеллярный раствор или кубическую жидкокристаллическую фазу, находится в равновесии с клеточной мембраной: число и состав пузырьков, а также состав мембраны со временем остаются неизменными. С приходом нервного импульса состав клетки меняется: открываются ионные каналы и ио-

ны K^+ замещаются ионами Na^+ , кроме того, выделяется некоторое количество ионов Ca^{++} . В результате этого равновесие нарушается, поскольку равновесное значение площади, приходящейся на одну полярную головку, для ионов натрия меньше, чем для ионов калия и кальция. Для восстановления равновесия при новом ионном составе часть амфифилов, входивших в состав синаптических пузырьков, встраивается в клеточную мембрану, при этом содержимое пузырьков «выплевывается» в зазор между нервными клетками. Попадая на рецепторы второй из клеток, находящийся в контакте, медиатор вызывает ее возбуждение. После того как первоначальный ионный состав в результате включения молекулярных насосов восстанавливается, молекулы амфифилов, встроившиеся в мембрану, возвращаются в клетку. Эта предельно упрощенная и не учитывающая ряд важных факторов схема показывает, тем не менее, как энергия метаболизма клетки, запасенная в форме потенциальной энергии ионов, может использоваться для химической передачи нервного импульса.

Изменение ионного состава клетки лежит в основе многих механохимических процессов, делающих возможным перемещение живых организмов или отдельных их частей. К этим процессам относятся и мышечное сокращение. Установленная в 50-х годах структура мышечного волокна напоминает гексагональную фазу лиотропного жидкого кристалла, в которой роль цилиндрических мицелл играют тонкие и толстые нити. Период структуры в поперечном направлении определяется (как и в глинах, и жидких кристаллах) дальнедействующими ван-дер-ваальсовыми и электростатическими силами. При увеличении концентрации соли и неизменной длине мышцы он уменьшается примерно так же, как период ламеллярной структуры в глинах.

Тонкие нити мышечного волокна образованы в основном белком актином, а толстые — белком миозином. На толстых нитях имеются выступы — миозиновые «мостики», которые смещаются при подводе к ним энергии в виде АТФ: мостик, вначале перпендикулярный нитям, поворачивается примерно на 45° , передвигая одну нить вдоль другой. Одна из стадий элементарного акта взаимного проскальзывания актиновых и миозиновых нитей (приводящего к сокращению мышцы) — уменьшение зазора между концом мостика и тонкой нитью — может



«Радиоавтограф» зрительной коры мозга. Введение в организм радиоактивного вещества, накапливающегося в активных нейронах, позволяет выявить участки нервной ткани, возбуждаемые сигналами с сетчатки глаза. Чередование активных и пассивных (на снимке — темных и светлых) участков характеризует функциональную организацию зрительной коры млекопитающих и способ обработки в ней информации.

происходить только в присутствии ионов кальция. В естественных условиях выделение ионов Ca^{++} в зазоры между нитями как раз и вызывается нервным импульсом, после прихода которого начинается проскальзывание нитей и сокращение мышц.

Сборка актиновых и миозиновых нитей из белковых субъединиц может происходить и вне живой клетки — *in vitro*. В растворе актин и миозин способны соединяться в комплекс (актомиозин), образующий гель, который при добавлении АТФ сокращается и совершает работу подобно мышце. По-видимому, аналогичный процесс лежит в основе и «амебоидного» движения микроорганизмов: периодическое набухание и осушение актомиозинового геля вызывает движение протоплазмы клетки и ее перемещение по подложке как целого.

В немышечных тканях актин и миозин также входят в состав нитей (микрофиламентов, или микрофибрилл), образующих наряду с микротрубочками, построенными в основном из белка тубулина, опорно-сократительную систему клетки — цитоскелет, к которому прикреплены другие клеточные органеллы. Этот «скелет» изменяет свою структуру при движении клетки или ее делении. Так, на определенной стадии деления микрофиламенты и микротрубочки соединяются в пучки, которые разводят прикрепленные к ним хромосомы и осуществляют разделение материнской клетки на две дочерние.

Важную роль в клетках играют кле-

точные насосы — белковые молекулы, встроенные в мембраны и «перекачивающие» через них различные ионы или молекулы. В этих насосах при поглощении энергии (световой, химической или электрической) происходит перемещение частей белковых молекул на расстояния порядка нескольких долей нанометра. Такой процесс похож на упомянутую выше структурную перестройку при набухании или осушении глин в результате изменения концентрации ионов Na^+ либо приложенного извне давления, когда увеличение концентрации соли NaCl всего на 0,01 моль/л или давления на несколько атмосфер приводит к уменьшению водной прослойки между алюмосиликатными пластинами примерно на 2 нм. Поэтому не исключено, что действие клеточных насосов — своего рода макроскопических квантовых машин (их размеры намного больше атомных — около 10 нм, а перенос каждого иона вызван поглощением одного кванта энергии) — сродни набуханию глин и лиотропных жидких кристаллов.

В заключение отметим, что чередование слоев с различными свойствами проявляется не только в системах молекул и мицелл, но и в системах живых клеток, например в тканях живых организмов. Пожалуй, одним из примеров «клеточного жидкого кристалла» может служить структура зрительной коры мозга, где наблюдаются регулярные слои и ряды цилиндрических колонок, выполняющие определенные функции при обработке информации. Регулярная организация клеток в живых тканях, по всей вероятности, связана с наличием в клетках специальных «молекул адгезии», расположенных на внешней мембране и способных «узнавать» определенные (скажем, подобные себе) молекулы в соседних клетках¹⁵.

Таким образом, в живой и неживой природе широко распространены регулярные структуры из периодических расположенных молекулярных слоев, цилиндров или шариков, пространство между которыми заполнено водой, находящейся в состоянии, промежуточном между жидким и твердым. При набухании или осушении эти структуры перестраиваются, сохраняя свою регулярность. Единообразие таких структур в кирпиче и фарфоре, листе и почве, бактериях и высших организмах — яркий пример единства самой природы.

¹⁵ Эдельман Дж. М. — В мире науки, 1984, № 6, с. 70.

Первые четвероногие: поиски и находки

О. А. Лебедев



Олег Анатольевич Лебедев, младший научный сотрудник лаборатории рыб и рыбообразных Палеонтологического института АН СССР. Занимается исследованием палеозойских кистеперых рыб, их родственных связей с четвероногими, а также изучением фаунистических комплексов позвоночных среднего палеозоя.

Проблемой происхождения четвероногих животных (тетрапод) и их перехода к наземному образу жизни палеонтологи занялись еще в прошлом веке. Именно тогда началась систематизация самых древних и примитивных из известных к тому времени земноводных каменноугольного периода (лабиринтодонтов), а в центре внимания оказался сравнительно-морфологический анализ современных и ископаемых форм рыб и четвероногих, поиски их предков.

Однако и до сих пор проблема происхождения четвероногих не разрешена, до сих пор палеонтологи ищут ответы на важные, ключевые вопросы. В какие геологические времена произошло становление тетрапод, если в каменноугольном периоде они уже были массовыми, и как выглядели более ранние, девонские четвероногие? Сколько раз происходил процесс «превращения рыб в четвероногих», одна ли группа рыб дала всех четвероногих потомков, или разные четвероногие ведут свои родословные от разных рыб? Как, посредством каких морфологических и функциональных преобразований возникла эта группа? В какой обстановке четвероногие «делали первые шаги»?

В настоящее время палеонтологи лишь приближаются к решению этих

вопросов. Сейчас очень важно отыскать и изучить самых древних и примитивных тетрапод, наиболее близких к рыбам. Однако к нынешнему времени, т. е. почти за 100 минувших лет, коллекции палеонтологов не обременены ископаемыми остатками древнейших четвероногих.

ПЕРВЫЕ НАХОДКИ КОСТНЫХ ОСТАТКОВ ЧЕТВЕРОНОГИХ

Летом 1931 г. датская Восточно-Гренландская экспедиция побывала на о. Имер. На склонах горы Цельсия в красноцветных песчаниках позднедевонского возраста были найдены остатки богатейшей фауны рыб, а также около 250 остатков других необыкновенных животных: черепа, скелеты (без головы) в сочлененном состоянии и множество разрозненных костей. Г. Сэве-Седерберг, описавший этих неизвестных до того времени животных, дал им название ихтиостег¹.

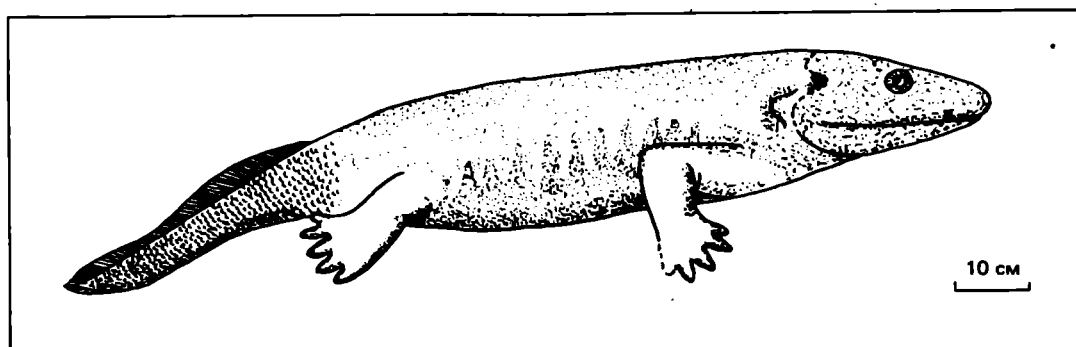
Остатки принадлежали древнейшим четвероногим трех родов — *Ichthyostega*, *Ichthyostegopsis* и *Acanthostega*. У всех ихтиостегид сохранились типично рыбьи признаки, но это были рыбы на ногах. С ры-

¹ Säve-Söderbergh G. — Medd. om Grönland, 1932, v. 94, № 7, p. 6.

бами ихтиостегид сближали остатки жаберного аппарата; сенсорные каналы, расположенные внутри костей головы, а не в желобках на их поверхности, как у более поздних лабиринтодонтов; скелет хвостового плавника, как у рыб, с внутренними и наружными лучами; хорда (хрящевой стержень, пронизывающий тела позвонков), проникающая далеко в череп, как у кистеперых рыб.

Ихтиостегиды, однако, имели хорошо развитые конечности (полной сохранности найдены только задние) — пятипалые,

широком распространении в девоне четвероногих. *Metaxognathus denticulus* — так было названо животное, которому принадлежала нижняя челюсть, описанная в 1977 г. австралийскими палеонтологами К. Кэмпбеллом и М. Беллом². Хотя по единственному скелетному элементу трудно отнести животное к определенной группе, большинство палеонтологов соглашаются с тем, что К. Кэмпбелл и М. Белл нашли остатки девонского четвероногого — одного из ихтиостегид. Абсолютной уверенности в том нет, ведь речь идет о животном,



Ихтиостега — первое четвероногое, найденное в девонских отложениях [реконструкция по: Jarvik E. — Medd. om Grönl., 1952, v. 114, p. 1, с дополнениями автора].

с резко выраженными гребнями для прикрепления мышц. Кости плечевого пояса у них не были связаны с черепом, как у рыб, а расположение костей головы, строение таза уже вполне соответствовали типу строения этих же участков скелета других четвероногих. Однако эти рыбы на ногах могли выползть на сушу лишь в редких случаях (а может быть, не могли вовсе), скорее всего, конечности служили им как движители в толще воды и опора на мелководье.

Сейчас палеонтологи признают, что ихтиостегиды были всего лишь одной из эволюционных попыток (почти удавшейся) перехода к новому способу передвижения — на четырех ногах, чтобы завоевать сушу. Но это смогли сделать другие позвоночные животные, а ихтиостегиды так и остались слепой веткой основной линии развития четвероногих: по морфологическим признакам они могут быть названы только моделью переходной группы.

За последние десятилетия прибавились новые находки, свидетельствующие о

занимающем (по морфологическим признакам) переходное положение между рыбами и настоящими амфибиями. Дело в том, что так называемая мозаичность признаков свойственна всем живым существам. Она позволяет сосуществовать в пределах одного организма чертам (как функциональным, так и рудиментарным), характерным для далеких предков, и признакам, которые в будущем процессе эволюции могли бы оказаться весьма полезными. Вся эта пестрота существует на фоне общей картины признаков, присущих животному на данной ступени развития и «идущих в ногу со временем».

В случае же переходных форм картина еще более усложняется. У таких форм увеличивается удельный вес и архаичных, и прогрессивных признаков по отношению к нормальным, «сегодняшним». Поэтому зачастую допускаются ошибки в определении, какой именно группе принадлежат костные остатки найденного животного. Известная, например, по неполному черепу *Elpistostege*, первоначально отнесенная к ихтиостегидным лабиринтодонтам, ныне рассматривается как высокоспециализиро-

² Campbell K. S. W., Bell M. W. — *Alcheringa*, 1977, v. 1, p. 369.

ванная и прогрессивная кистеперая рыба, так и не ставшая четвероногим, но очень близко подошедшая к нему.

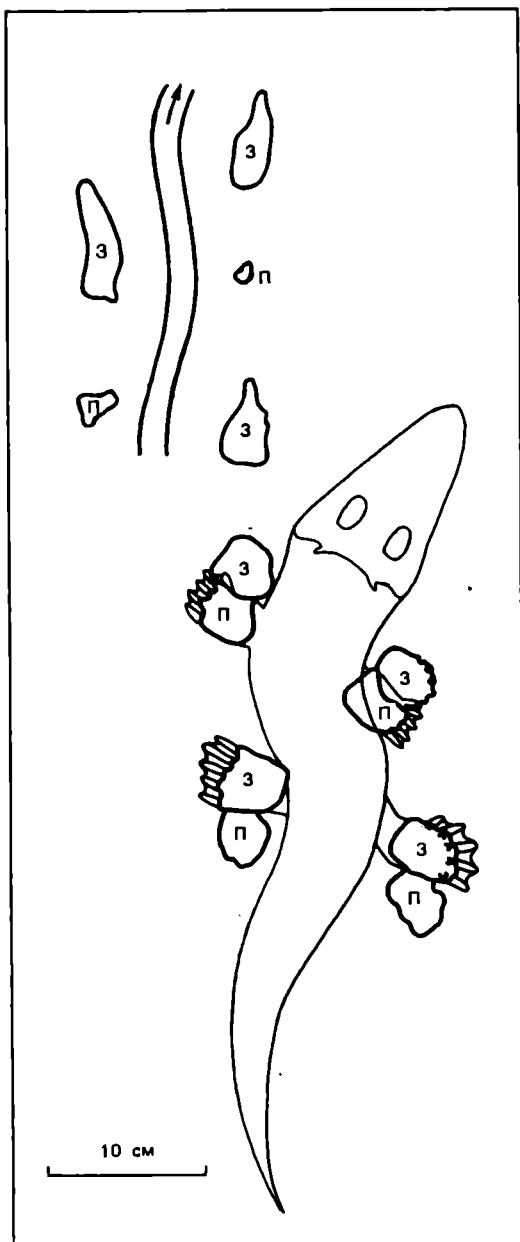
Итак, к концу 70-х годов были известны всего лишь две находки девонских четвероногих. Это, конечно, чрезвычайно мало, но палеонтологи, к счастью, могут пользоваться, помимо костных остатков, и другими свидетельствами древнейшей жизни на Земле.

В БАГАЖЕ — СЛЕДОВЫЕ ДОРОЖКИ И СЛЕДЫ ЧЕТВЕРОНОГИХ

Зачастую палеонтологам приходится иметь дело со следами, оставленными древними животными (существует даже целая отрасль палеонтологии — палеоихнология, изучающая следы жизнедеятельности организмов). По отпечатку лапы на грунте нередко удается узнать очень многое об оставившем его животном: размеры и строение конечностей, принадлежность к той или иной группе; по породе, на которой оставлен след, можно иногда судить о природной обстановке давно минувшего времени. Особенно ценны находки следовых дорожек.

В отложениях позднего палеозоя и мезозоя следовые дорожки амфибий и рептилий находят нередко, но отпечатки конечностей девонских четвероногих столь же редки, как и находки костных материалов. Тем более весома их доля в изучении первых четвероногих.

В 1953 г. в Минусинской котловине в районе с. Верх-Аскиз (Хакасия) геологи обнаружили отпечаток пятипалого следа, оставленного в голубовато-серых мергелях среднего девона³. Там же имелись редкие отпечатки растений, кристаллов поваренной соли и льда. На отпечатке были отчетливо видны пять пальцев правой лапы и во многих местах — поперечные складки кожи. Ценность этой находки не только в ее чрезвычайной древности. Как установил описавший ее Н. Е. Мартъянов, особенности осадка указывают на то, что он накапливался в условиях периодически пересыхающей лагуны, следовательно, климат характеризовался сезонными колебаниями. А это свидетельствует о неполноте наших представлений об условиях жизни древнейших четвероногих, которые мы привыкли считать влажными и теплыми в течение всего года.



Фрагменты следовых дорожек позднедевонского четвероногого (внизу) и рыбы (вверху) из Австралии [по Дж. Уоррену и Н. Уэйлфилду, 1972]. Чтобы понять необычную постановку лап четвероногого животного, на следах автором прорисован контур тела и дорисованы пальцы. На следовой дорожке 1 рыбы след от хвоста виден в виде центральной борозды. П — отпечатки передних лап, З — отпечатки задних лап; стрелкой указано направление движения 1 рыбы. Пояснения в тексте.

³ Мартъянов Н. Е. Отпечаток пятипалого следа. — Природа, 1960, № 9, с. 115.

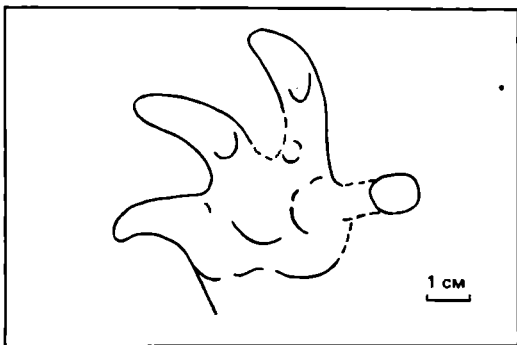
В 1971 г. в отложениях франского возраста (поздний девон) в Австралии (штат Виктория) была найдена дорожка следов, оставленная на тонкозернистом песке одним из самых древних четвероногих животных⁴. Она состояла из десяти правых и девяти левых отпечатков передних и задних конечностей округлой формы. По величине шага, который позволяет приблизительно оценить размер животного, длина его тела достигала полуметра. На этой дорожке не было следов от хвоста или туловища, и создавалось впечатление, что животное опиралось только на лапы, а его тело было приподнято над землей. Для амфибий это было необычно, но, поскольку в 1972 г., когда вышла в свет статья с описанием следовой дорожки, из девонских тетрапод были найдены только ихтиостеги, авторы — Дж. Уоррен и Н. Уэйкфилд — сочли животное, оставившее следы, за одну из ихтиостегидных форм.

Попробуем проанализировать цепочку найденных следов. На отпечатке передних лап видны следы только трех пальцев, хотя вполне вероятно, что четвертый — пятый пальцы могли и не оставить вдавливаний. Задние лапы пятипалые, между пальцами, следы которых на отпечатке выражены всего лишь небольшими ямками (возможно, от концевых фаланг), вероятно, существовала перепонка. Постановка лап животного необычна: угол между продольной осью тела и стопой достигает 86° , а кистью — 90° , значит, пальцы при хождении были вывернуты в стороны. Эти странности можно объяснить лишь уникальным стечением обстоятельств: захоронение следов только что прошедшего (или проплывшего?) животного произошло в условиях мелководья и очень быстро. Если предположить, что в норме кисти и стопа были направлены назад, то при гребке конечности выносились вперед, при этом кисти и стопа могли быть направлены в стороны, но никак не вперед.

Нельзя быть абсолютно уверенным в том, что животное, определенное авторами как ихтиостега, опиралось только на конечности, не используя для опоры хвост. Отсутствие следа от хвоста можно объяснить по-другому. Если допустить, что хвост имел хорошо развитую верхнюю лопасть, а животное обитало в очень мелком водоеме (до полуметра глубиной), то при плавании хвост, служивший движи-

телем, одновременно придавал телу наклонное положение. Для уравнивания тела этой амфибии приходилось опираться на грунт лапами, отталкиваясь от него. При таком способе движения находящийся все время наверху хвост оставить следа просто не мог.

Столь же неоднозначной может быть интерпретация второй следовой дорожки, сохранившейся на той же плите, где Дж. Уоррен и Н. Уэйкфилд нашли следы «ихтиостеги». Эта дорожка состоит из отпечатков задних и передних конечностей,



Отпечаток лапы *Notopus petri* — четвероногого животного из девонских отложений Бразилии (по Дж. Леонарди, 1983).

а также изгибающегося хвоста. На этом основании те же авторы делают предположение, что маленькие, неправильные очертаний, отпечатки оставлены передними конечностями, а большие — результат подволакивания задних. Однако нельзя исключить и того, что дорожку могла оставить кистеперая или двоякодышащая рыба, и тогда удлиненные отпечатки — следы лопастей крупных грудных плавников (ведь отпечатков пальцев нет!), меньшие — брюшных.

Еще один след из отложений конца среднего — начала позднего девона описан из Бразилии (штат Парана) Дж. Леонарди⁵. Животное, оставившее этот отпечаток, названо им *Notopus petri*. По-видимому, у нотопуса была, как у многих вымерших (лабиринтодонтов) и современных амфибий (лягушек, тритонов, саламандр), четырехпалая передняя лапа, хотя пятый палец мог быть просто приподнят над грунтом

⁴ Warren J. W., Wakefield N. A. — Nature, 1972, v. 238, p. 469.

⁵ Leonardi G. — Geobios, 1983, v. 16, fasc. 2, p. 233.

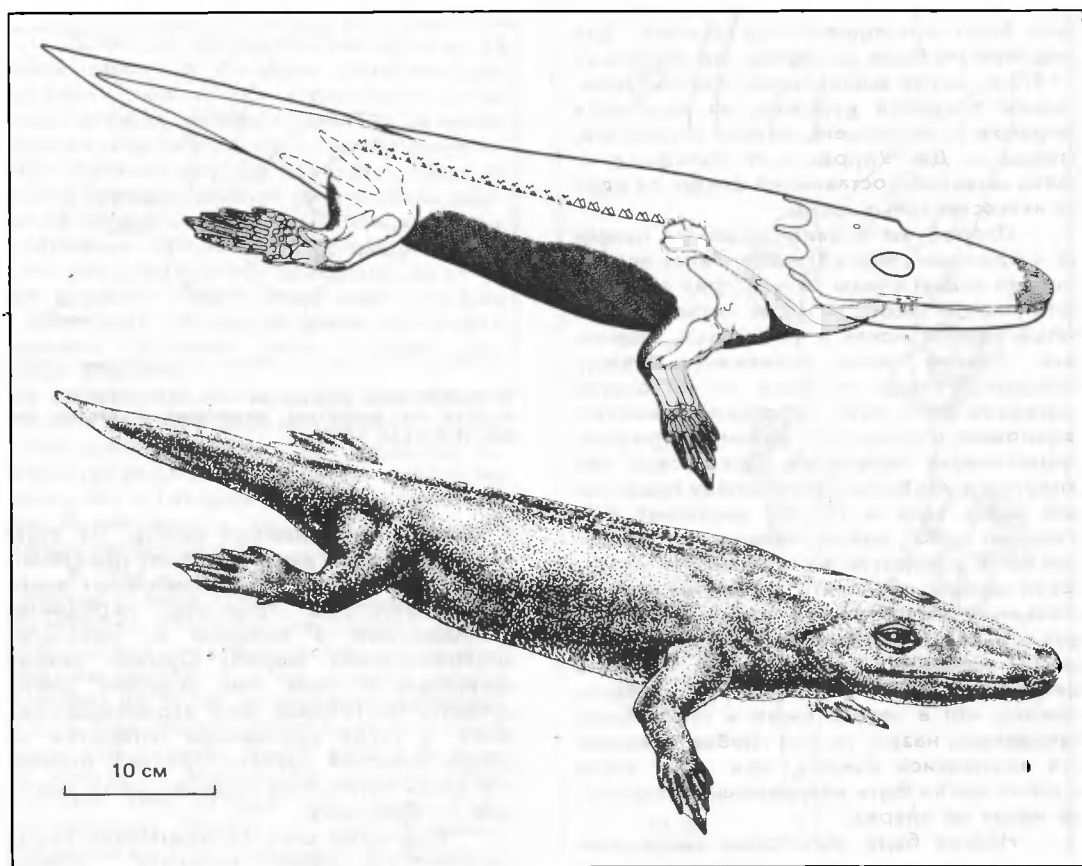
и не оставить вдавления. В тех же отложениях найдены остатки разнообразных морских беспозвоночных, а также растений. Это вместе с волноприбойными знаками в слоях, где найден след, свидетельствует об обитании его хозяина в прибрежном мелководье.

Таким образом, хотя по следам и следовым дорожкам трудно воссоздать облик оставивших их животных, кроме того, отпечатки могут ввести в заблуждение и относительно строения конечностей, но тем не менее следы имеют большую ценность

для палеонтологов. Различие следов позволяет составить некоторые представления о разнообразии древней фауны и служит доказательством того, что четвероногие появились задолго до конца позднего девона — периода, в отложениях которого найдены костные остатки.

ДРЕВНЕЙШЕЕ ЧЕТВЕРОНОГООЕ НА ТЕРРИТОРИИ СССР

Безусловно, самую большую ценность для изучения истоков наземной жизни



Тулерпётон — первый в мире антракозавр из отложений позднего девона. В а р х у — на прорисованном контуре тулерпётона пунктиром показаны недостающие элементы скелета; форма черепа восстановлена по аналогии с другими антракозаврами. В н и з у — авторская реконструкция тулерпётона. Рисунок В. Д. Колганова.

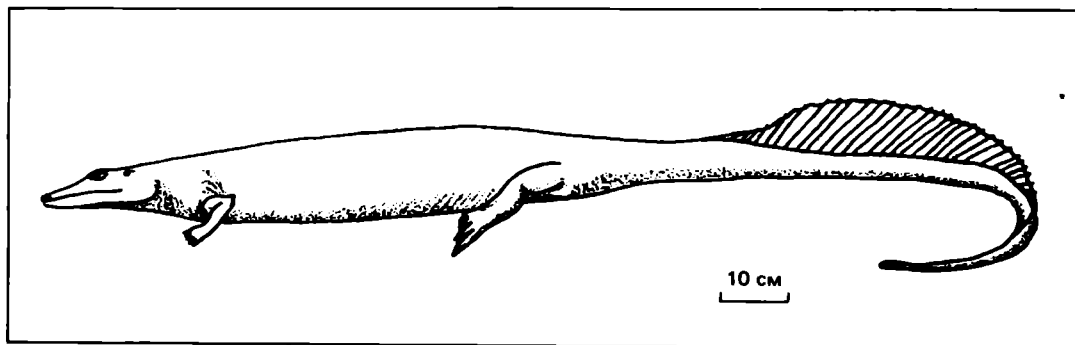
ни, представляют остатки костей. Но каждая такая находка большая редкость и дело счастливого случая. Такой случай выпал на долю сотрудников Палеонтологического института АН СССР — М. Ф. Ивахненко, А. С. Раутиана и автора этих строк.

Мы отправились в Тульскую область в мае 1982 г. собрать дополнительный палеонтологический материал. Поводом для этого была присланная в 1948 г. в наш институт плитка мергеля, содержащая че-

шуи и кости мелкой кистеперой рыбы каменноугольного возраста. Плитка была найдена геологами в районе дер. Андреевки (около г. Суворова), и мы надеялись пополнить там сборы. Точного места, откуда был взят этот образец, мы не знали, его так и не удалось обнаружить, но, изучая обнажения берегового обрыва речки Тресны, в более древних девонских слоях мы нашли куски породы, буквально набитые костями рыб. Здесь же был организован небольшой раскоп, и за полтора дня мы нагнали материал машину почти до

у антракозавроморфных лабиринтодонтов (подкласс батрахозавров, «лягушкоящеров»). На основании этого сходства мы отнесли животное к антракозаврам и дали ему название *Tulerpeton*⁶.

Названия вновь найденных животных составляются из двух или трех корней (латинских или греческих), отражающих какие-либо признаки, место или время обитания или другие особенности. Во многих группах один из корней давно общепризнан, например «завр» для некоторых рептилий — бронтозавр, тираннозавр, мезенозавр и т. д.



Пермский антракозавр арчерия (реконструкция А. Л. Панченя, 1970).

верха. Тут были и мелкие обломки, и сорока—пятидесятикилограммовые блоки, усеянные и «нафаршированные» костями девонских панцирных рыб, с зеркально блестящей или несущей прихотливые узоры из бугорков и гребней поверхностью.

Особое внимание привлекла глыба, на сколе которой был виден сплошной чешуйный покров какого-то животного. Вернувшись в институт и разобрав образцы, мы раскололи плиту на две части. Можно представить наше удивление — перед нами были костные остатки четвероногого! Полные передняя и задняя конечности, сочлененный плечевой пояс, позвонки, остатки брюшного чешуйного покрова без всякого сомнения принадлежали первому четвероногому, найденному в девонских отложениях СССР.

При тщательном изучении найденных остатков мы обнаружили, что фаланговая формула, структура костей конечностей и плечевого пояса, позвонков такие же, как

Внутри подотряда антракозавров общий корень в названии *herpeton* — змея, данный за удлиненное, несколько напоминающее змеиное, тело первых описанных палеонтологами форм. Название «тулэ́рпетон» буквально переводится — тульская змея, или гад, хотя в действительности к змеям это животное никакого отношения не имеет.

Антракозавры считаются группой, переходной от земноводных к пресмыкающимся, и поэтому особенно интересны для эволюционных построений. Впервые они были обнаружены в Великобритании в угленосных отложениях, потому и получили свое название (*anthracos* — уголь, *sauga* — ящерица). Долгое время антракозавры были известны только из каменноугольных и пермских отложений Западной Европы и Северной Америки, однако, судя по находкам последних десятилетий, эти животные обитали в пермском периоде и на Восточно-Европейской платформе⁷. Поскольку угольные отложения, как полагают, образовывались в прибрежных болотах, считается, что антракозавры обитали в прибрежно-водных биотопах.

⁶ Лебедев О. А. — Доклады АН СССР, 1984, т. 278, № 6, с. 1470.

⁷ Губин Ю. М. — Палеонт. ж., 1984, № 2, с. 118.

Тело известных по полному скелету наиболее типичных антракозавров — архерии, зогиринуса — было угревидным, лапы — пятипальными, но не соразмерно телу — маленькими. Основным движителем служил хвост. Скорее всего, эти обитатели полузатопленных лесов каменноугольного периода плавали, змееобразно изгибая тело⁸.

Одна из интереснейших особенностей нашей находки — необычайно полный набор костей запястья и предплюсны. Благодаря полноте этого набора можно судить, что ни слияние, ни полная редукция шестого пальца, характерные для более поздних специализированных четвероногих, у тулерпетона еще не произошли. Шестипалость была нормой для этого животного, хотя как на передних, так и на задних лапах шестые пальцы гораздо меньше остальных. Такое строение отражает стадию редукции числа пальцев до пяти и свидетельствует в пользу гипотезы А. Н. Северцова и И. И. Шмальгаузена о первично многолучевом расчленении парных конечностей⁹. Уменьшение количества лучей-пальцев — процесс пока еще не объясненный. Возможно, это было связано с изменением функции конечности в процессе преобразования рыбьего плавника в лапу четвероногого.

У тулерпетона к верхнему отростку клейтрума (элемента, надстраивающего ключицу, и у лабиринтодонтов завершающего плечевой пояс сверху) причленяется следующая кость. Такое строение характерно для кистеперых рыб, но не для амфибий. На этой кости заметна площадка прилегания элементов, посредством которых плечевой пояс был связан с черепом. По многим другим признакам кости скелета тулерпетона весьма схожи с аналогичными костями других антракозавров, особенно протерогиринуса.

В слое породы, содержащем костные остатки тулерпетона, мы нашли и кости черепа, явно не рыбы. Но мы не берем на себя смелость утверждать, что эти кости принадлежат тулерпетону, для этого нужно найти полный скелет с черепом. Пока же автором статьи реконструирован внешний

вид тулерпетона по найденным костным остаткам, а форма головы — по аналогии с головой других известных антракозавров. По этой реконструкции тулерпетон был небольшим водным животным, длина его тела не превышала полуметра. Задние конечности были длиннее передних примерно в 1,2 раза. Брюхо, как и у многих других земноводных, было покрыто сплошным панцирем из тонких, овальных, длиной до 8 мм чешуй, которые на лапах становились округлыми, мелкими (до 2 мм в диаметре). Относительно короткое туловище и хорошо развитые шестипальные конечности обеспечивали ему иной, чем у типичных антракозавров, способ передвижения. Таков «портрет» третьего в мире четвероногого животного, костные остатки которого найдены в девонских отложениях.

КАКИМИ БЫЛИ ДЕВОНСКИЕ БИОЦЕНОЗЫ?

Изучение палеонтологических находок — чрезвычайно кропотливое дело, и доскональное исследование образцов из Андреевки еще не закончено. Но уже из предварительных результатов ясно, что в девонских слоях Тульской области заключен богатейший комплекс позвоночных и беспозвоночных. Химическим препарированием выделены не только крупные, но и микроскопические скелетные элементы: чешуйки, зубы, а также кости животных, оказавшихся захороненными в начальных стадиях роста и потому особенно интересных каждому, кто изучает развитие древних обитателей Земли. За счет материалов из Андреевки коллекции нашего института пополнились остатками по крайней мере 13 различных форм позвоночных, 7—10 беспозвоночных и 2—3 форм очень редких для девона харовых водорослей.

Основные компоненты сборов — кости и чешуи двоякодышащей *Soederberghia* (вопросительный знак перед латинским названием означает, что организм определен приблизительно) и кистеперых рыб *Siphonodus* и *Platycephalichthys*. Многочисленные панцири пластинокожих рыб антиарх *Bothriolepis* и *Remigolepis*. Редко встречаются зубные элементы кистеперой *Onychodus*, брадиодонтов, чешуи акантод и палеонисков *Mogethomasia*. Еще реже попадаются чешуи кистеперой *Holophthychius*. Не исключено, что данная форма кистеперой не входила в состав этого фаунистического комплекса, а остатки попали сюда в результате перемыва более древних отложений.

⁸ Panchen A. L. Handbuch der Paläoherpetologie, T. 5A. Anthracosaurie. Stuttgart — Portland, 1970.

⁹ Sewertzoff A. N. — Бюлл. МОИП, нов. сер., 1908, т. 21; Шмальгаузен И. И. — Ученые зап. Моск. ун-та, отд. ест. ист., 1915, вып. 37.

Жизнь каждого организма в любую эпоху неразрывно связана со всеми существами, составляющими единое сообщество. Поэтому важную дополнительную информацию к морфологическим сведениям, полученным при изучении того или иного биологического объекта, будь это современное животное или давно вымершее, может дать анализ экологических взаимоотношений. Но если структура современного биоценоза определяется из непосредственных наблюдений, то палеоэкологическую обстановку можно воссоздать, основываясь прежде на двух допущениях: на протяжении всей истории Земли действовали одни и те же экологические закономерности; об экологии ископаемых организмов можно судить, исходя из того, что известно об аналогичных организмах современности. В данной статье делается попытка выяснить структуру позднедевонского биоценоза, в состав которого входил тулерпетон, чтобы понять, в какой обстановке жил этот древнейший антракозавр. Попытаемся установить его место в трофических (пищевых) цепях.

Начальным звеном, основанием трофической пирамиды были одно- и многоклеточные растения. Создавая органическое вещество, т. е. будучи продуцентами, они служили пищей для беспозвоночных и позвоночных животных (таких потребителей органического вещества растений принято называть первичными консументами). Изучая палеобиоценозы, особенно палеозойские, редко удается обнаружить в их составе полный набор растений. Отложения Тульской области не исключение: здесь найдены только харовые водоросли. Ими могли питаться рыбы и гастроподы, а детритом в виде донного или взвешенного в толще воды ила — черви, те же гастроподы и остракоды.

Судя по остаткам животных и растений, соотношение элементов, составляющих трофические уровни рассматриваемого палеобиоценоза, было обычным для комплексов девонских рыб: преобладали первичные консументы. Из рыб в их число входили антиархи (*Bothriolepis*, *Remigolepis*). Но поскольку эти придонные обитатели могли кроме водорослей потреблять также и беспозвоночных, то в равной степени их можно считать и первичными, и вторичными (питающимися животной пищей) консументами. Ко вторичным консументам следует отнести также брадиодонтов, которые кормились раковинными беспозвоночными: очень мелкие зубные элемен-

ты этих рыб несут отчетливые следы истирания. Среди вторичных консументов были такие, на которых трофическая цепочка заканчивалась, но другие (их было примерно на порядок меньше) служили пищей для хищников — следующего пищевого звена.

Молодь рыб (для простоты объединенная нами в одну группу) питалась различными организмами, а на самих мальков охотились двоякодышащие и кистеперая (ониходус) рыбы. Основываясь на том, что молодь двоякодышащих имела мелкие и тонкие зубные пластинки, снабженные на гребнях зубчиками с острыми режущими краями (у взрослых же особей пластинки массивные, а зубчики более округлы), можно предположить, что, вырастая, рыбы переходили к склерофагии (питанию раковинными организмами).

По строению зубного аппарата ониходуса выявляется еще одна его пищевая связь. Челюсти ониходуса были усажены игловидными зубами, а на сращении нижних челюстных ветвей располагался веерообразно развернутый ряд зубов, сидящих на общем костном основании. Несколько зубов торчали изо рта, и рыба могла выпихивать ими беспозвоночных из грунта.

Трофическую пирамиду венчали крупные хищники с мощным зубным аппаратом (несколькими клыками для схватывания добычи и множеством более мелких зубов для ее удержания). Это были кистеперые рыбы *Platycephalichthys* до 2 м длиной и *Siphonodus* до 1,5 м, а также тулерпетон. Платицефалихт был, скорее всего, придонным засадчиком — «живым капканом». Лежа на дне, он подстерегал проплывающих рыб и резким броском нападал на них. Сифонодус, тело которого было узким, сигарообразным, охотился в толще воды.

Небольшие размеры и малая численность тулерпетона не позволяли ему конкурировать по способу добычи пищи с платицефалихтом и сифонодусом. Возможно, его пищевая специализация ограничивалась не крупной рыбой, не исключено также питание падалью. Строение лап и форма тела тулерпетона заставляют вспомнить небольших тюленей или выдру. В связи с этим напрашивается вывод о совершенно особом месте тулерпетона в биоценозе позднего девона.

Поскольку все ранее найденные антракозавры были известны из отложений каменноугольного возраста, у многих исследователей может возникнуть сомнение в правильности датировки хованских слоев,

Позвоночные животные позднелавинского биоценоза Андреевки.
[Авторская реконструкция, рисунок
В. Д. Колганова.]

сифонодус



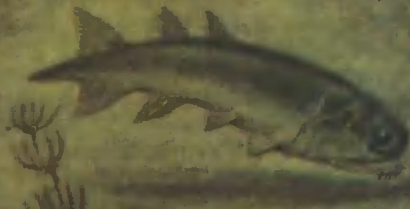
!се́дербергия



ониходус



ботриолепис





в которых обнаружен тулерпетон. Есть ли основания для такого рода сомнений?

В комплексе рыб вместе с тулерпетоном найдены только типично девонские формы (акантоды *Devononchus tenuispinus*, плакодермы *Bothriolepis*, кистеперые *Siphonodus* и *Platycephalichthys*, палеониски *Mouythomasia*), а каменноугольные отсутствуют. Следовательно, отложения из Андреевки не могут датироваться иначе, как самая поздняя часть фаменского яруса позднего девона, а значит, тулерпетон — первый из девонских антракозавров, живший около 345 млн лет назад.

РЕАЛЕН ЛИ НАПРАВЛЕННЫЙ ПОИСК ПЕРВЫХ ЧЕТВЕРОНОГИХ?

Комплексы рыб, найденные вместе с девонскими четвероногими — ихтиостегой, метаксигнатусом и тулерпетоном, удивительно схожи. В Гренландии¹⁰, Австралии и СССР вместе с четвероногими найдены плакодермы ремиголепис, ботриолепис и двоякодышащая седрбергия. Правда, седрбергия и ремиголепис из Андреевки определены пока приблизительно, но, скорее всего, найденные формы принадлежат к этим либо близкородственным родам. Как в Гренландии, так и в СССР в слоях вместе с четвероногими находятся крупные кистеперые рыбы, хотя в Андреевке две формы, а не одна, причем экологическая адаптация обеих форм различна: это активный и пассивный хищники.

В австралийском комплексе вместе с метаксигнатусом упоминается одна седрбергия, а остатки ботриолеписов там больше, чем ремиголеписов. Но если ботриолепис распространен по всему миру, то остатки ремиголеписов, кроме Австралии, Гренландии и СССР, обнаружены еще только в Китае.

Фаунистическое сходство свидетельствует не только об одинаковых условиях существования в этих столь удаленных друг от друга районах мира. Ясно, что взаимосвязи организмов в их экосистемах были не случайными; четвероногие же — один из элементов экосистемы, ее неотъемлемая часть. В то же время рыбы, «сопровождающие» четвероногих в девонских отложениях, не единичны, а сами четвероногие — уникальны в каждой новой наход-

ке. Поэтому некоторые формы рыб — седрбергию, ремиголепис — можно считать как бы индикаторами, указывающими на присутствие вместе с ними четвероногих.

Следовательно, поиски первых четвероногих позвоночных можно вести направленно и прогнозировать их находки. Весьма вероятно, например, находка четвероногих в девонских отложениях провинции Нинся (север Центрального Китая), где найдено большое количество костных остатков ремиголеписов.

Подчеркнем еще раз, что тулерпетон — самое древнее четвероногое, найденное на территории СССР, и самый древний в мире антракозавр. Его находка доказывает, что уже в позднем девоне существовало по крайней мере два самостоятельных ствола четвероногих животных: батрахоморфы, из которых известны ихтиостегиды, и рептилиоморфы, представителем которых является пока единственный тулерпетон.

Представления, сложившиеся об ихтиостегиде, как единственной предковой группе всех последевонских тетрапод, вероятно, следует пересмотреть, а поиск предков обеих групп вести в более древних отложениях.

Становление тетрапод, по-видимому, происходило в неразрывной связи с формированием кистеперых и двоякодышащих рыб, которые произошли от общего предка в конце силура — раннем девоне. Это подтверждается находкой рыбы *Diabolichthys* в нижнедевонских отложениях провинции Юннань (КНР): *Diabolichthys* более всего схожа с двоякодышащими рыбами, однако обладает рядом признаков, общих и с древнейшими кистеперыми¹¹. Специализированные кистеперые и двоякодышащие уже существовали в раннем девоне, а из отложений среднего известны отпечатки лап вполне сформировавшихся тетрапод. Таким образом, временем расхождения четвероногих и прогрессивных неспециализированных кистеперых мог быть ранний девон или даже конец силура.

Новые находки первых четвероногих, которые, как нам кажется, можно искать направленно, опираясь на богатый фаунистический состав древнейших отложений, без всякого сомнения, помогут ответить на вопросы, связанные с проблемой происхождения тетрапод. Остается «немногое»: искать и находить.

¹⁰ Spjeldnaes N. Palaeoecology of Ichthyostega and the origin of the terrestrial vertebrates. — In: Proc. of the 1-st Int. Meet. "Palaeontol. Ess. of Hist. Geol.", Venice, Modena, 1981, p. 323.

¹¹ Chang M. M., Yu X. — Proc. Linn. Soc. N. S. W., 1984, v. 107, p. 171.



Дальневосточный сцинк

А. М. Басарукин

Сахалинский комплексный научно-исследовательский институт
Дальневосточного научного центра
АН СССР
Южно-Сахалинск

Л. Я. Боркин

Зоологический институт АН СССР
Ленинград

Яркая жемчужина Курильских о-вов — несомненно Кунашир. Растительный и животный мир этого острова уникальны и не имеют аналогов в других районах нашей страны. Только на Кунашире, и нигде больше на территории СССР, встречаются четыре вида рептилий. Это островной, малочешуйчатый и японский полозы (*Elaphe climacophora*, *E. quadrivirgata*, *E. japonica*) из числа неядовитых змей и единственный вид ящериц — дальневосточный сцинк (*Eumeces latiscutatus*). Два последних вида рептилий внесены в списки Красных книг СССР и РСФСР.

Дальневосточный сцинк был впервые описан в 1860 г. в Японии, где он широко распространен и сейчас. В 1939—1940 гг. эту ящерицу обнаружили на Кунашире японские зоологи Т. Инукаи и К. Мукаса. Кроме Кунашира, дальневосточного сцинка находили (всего по одному экземпляру) в Приморском крае (в районе залива Ольги и бухты Терней) и на юге Хабаровского края (в районе Советской Гавани). Первая и третья находки датируются еще 1888 г., а вторая — 1964, больше этот сцинк ни разу не встречался на побережье материка. По всей видимости, ящерицы случайно попали на материк с Хоккайдо — или по морскому течению на каких-либо предметах, или с корабельными грузами. Как бы то ни было, но на основании единственного экземпляра, выловленного в нашем веке, нельзя считать берега



Один из биотопов дальневосточного сцинка на о. Кунашир (р. Кислая, вулкан Менделеева).

бухты Терней постоянным местом обитания дальневосточного сцинка. Самый северный участок мирового ареала этого вида — только о. Кунашир.

На самом острове ящерицы распространены неравномерно, их жизнь явно связана с вулканической деятельностью, в частности с выходами горячих источников. Можно, по-видимому, утверждать: там, где есть сцинки, неподалеку должны быть и термальные ключи. Мы, по крайней мере, всегда находили сцинков в таких местах. Вот их перечень и названия гидротерм: район поселка Третьяково (Третьяковские источники), берега ручья Столбовского (Столбовские источники), реки Кислой (Нижне- и Верхне-Менделеевские источники), берега Докторского ручья (Верхне-Док-

торские источники), окрестности поселка Горячий Пляж (Нижне-Докторские источники) и склон оврага с протекающим теплым ручьем, который начинается от сольфатарного поля на северо-западном склоне вулкана Менделеева. По данным Н. Н. Щербака и В. П. Шарпило, сцинки встречаются неподалеку от поселка Алехино на песчаных склонах оврага, по дну которого протекает теплый ручей (Алехинские источники), а энтомологу А. Б. Егорову ящерицы попадались около Горячего озера в кальдере вулкана Головинна. Все перечисленные гидротермы, как и места находок сцинка, сосредоточены в южной части острова и концентрируются вокруг вулканов Головинна и Менделеева. Есть сведения (правда, они не проверены), что ящерицы водятся и на северо-западном побережье Кунашира в районе мыса Докучаева (Нескучинские источники), т. е. в зоне вулкана Руруй. Было бы инте-



Взрослый самец дальневосточного сцинка.

ресно выяснить, обитает ли дальневосточный сцинк на севере острова в районе вулкана Тятя.

Встречается эта ящерица в различных биотопах, главным образом по глинистым и каменисто-песчаным оврагам со скудной растительностью; на открытых участках, граничащих с зарослями бамбука, сумаха, гортензии; на валунах и галечниках ручьев, иногда в дубовых рощах.

Окраска животных одного возраста сходна, зато четки цветовые различия в покровах

молодых и взрослых сцинков, самцов и самок. Очень красив яркий наряд молодых ящериц: темно-каштановый фон спины и боков рассечен пятью продольными полосками золотистого или терракотового с медным отливом цвета. Центральная полоска проходит по середине спины и на голове раздваивается, сливаясь вновь на конце морды. Остальные четыре полоски проходят по бокам, по две с каждой стороны, и сходятся тоже на конце морды. Брюхо у молодых матово-зеленое с легким розоватым оттенком, хвост васильковый, у основания зеленоватый.

С возрастом окраска яще-

риц тускнеет: полоски и хвост самок становятся светло-пепельными или зеленоватыми, спина светлеет до серовато-коричневого цвета, брюшная сторона делается пепельно-серой, розовый оттенок сохраняется только на голове.

Еще большие превращения претерпевает окраска самцов. Их спина становится оливково-серой, центральная полоска делается еле заметной или исчезает совсем, сохраняясь только на бледно-бурой голове (но и эта полоска не видна у старых самцов); над широкими темно-каштановыми полосами, начинающимися позади глаз и заходящими на хвост,

появляются спинно-боковые песочного цвета полосы; брюшная сторона из матово-зеленой становится розатоватой или кораллового цвета, наиболее интенсивного с нижней стороны головы. Стабильная окраска появляется у самцов после достижения ими половой зрелости.

Ящерицы кунаширской популяции немного мельче японских: максимальная длина тела сцинков с японских островов — 80 мм, хвоста — 125, тогда как тело кунаширских ящериц 69 мм в длину, хвост — 110. Возможно, разница в величине объясняется более благоприятными условиями обитания на японских островах, расположенных южнее Кунашира.

Сцинки, как молодые, так и взрослые, очень подвижны. Напуганные, они стремительно скрываются в норках полевок, под нависшими дерновинами, в расщелинах камней, в траве; некоторые при опасности зарываются в песок. Убежищами могут служить также пустоты под старыми досками, поваленными деревьями и другими лежащими предметами. Если сцинка схватить за хвост, тот легко отламывается, но потом отрастает снова. По нашим подсчетам, 18 % пойманных нами ящериц имели регенерированные хвосты, по данным Н. Н. Щербака и В. П. Шарпило, число сцинков с такими хвостами доходило до 30 %.

После зимовки сцинки в массе появляются на поверхности земли в начале — середине мая, когда в лесу под пологом курильского бамбука еще не полностью стаял снег. Ящерицы собираются на небольшой площади (до 20 особей в 3—4-метровой зоне) в непосредственной близости от выходов горячих источников. Здесь температура на поверхности почвы достигает 19 °С, а на полуметровой глубине склона, где в норках зимовали ящерицы, температура поднимается в это время до 26 °С. Около термального котла Верхне-Докторских источников мы находили одиночных мало активных ящериц еще раньше — во второй декаде апреля.

Первыми с зимовки выходят молодые сцинки и взрослые

самцы, между которыми нередко разыгрываются поединки: у двух третей отловленных нами ящериц на головных щитках были следы укусов. Судя по таким же следам на бедрах и брюхе самок, их кусают самцы во время спаривания.

Биология размножения дальневосточного сцинка фактически не изучена. Неизвестны точные сроки спаривания, количество и размеры яиц, срок развития зародышей. Наши исследования позволяют предположить, что спариваются сцинки в июне: в это время вес семенников у взрослых самцов резко падает; а самки прячутся в почве. Откладывают ли они яйца в теплый грунт (это нам кажется более вероятным), или эмбрионы развиваются внутри организма, как у многих других видов сцинков, пока тоже неизвестно.

Потомство дальневосточного сцинка появляется примерно в середине — конце июля, т. е. спустя 2—3 месяца после выхода взрослых ящериц из зимовки. Но в 1972 г. в окрестностях Горячего Пляжа мы поймали двух молодых ящериц 30 июня; вероятно, молодь может появляться и раньше обычного срока. При массе всего в 0,3—0,4 г длина тела молодых сцинков составляет около 29 мм, а хвоста — 40 мм.

На зимовку ящерицы уходят в конце сентября, причем последними исчезают молодые особи. Весь активный период жизни, равный примерно 4—5 месяцам, дальневосточного сцинка можно обнаружить вблизи горячих источников. Только в августе, самом теплом месяце года на Кунашире, ящерицы удаляются от них: нам удавалось найти сцинков на расстоянии 1 км от ключей. Зимуют ящерицы, скорее всего, тоже в зоне влияния теплых источников.

Питаются дальневосточный сцинк разнообразными наземными беспозвоночными, главным образом гауками, жуками, брюхоногими моллюсками. В желудках и экскрементах этих ящериц попадаются также остатки бокоплавов, многоножек, сверчков, кузнечиков, двукрылых насекомых, гусениц бабочек и т. д. Пойманная добыча может быть очень круп-

ной: иногда сцинкам удается утащить дождевого червя или подожшую пиявку в половину собственной длины и даже больше.

Сейчас трудно с достоверностью определить общую численность кунаширской популяции дальневосточного сцинка; нельзя оценить и ее репродуктивную возможность и способность поддерживать стабильную численность, поскольку нет сведений о биологии размножения. До самого последнего времени вряд ли можно было надеяться на благоприятную судьбу этой единственной в СССР популяции, если учесть мозаичность ареала и сосредоточение ящериц около термальных источников. К счастью, в 1984 г. создан Курильский заповедник и теперь полное исчезновение не угрожает ни дальневосточному сцинку, ни другим уникальным животным или растениям. Однако охрана только на территории заповедника может оказаться недостаточной, хотя, безусловно, сцинк будет сохранен.

Общая численность кунаширской популяции дальневосточного сцинка может снижаться из-за того, что в районах гидротерм бурятся геологические скважины, вокруг горячих источников отдыхает и лечится население Кунашира, а изъятие ящериц профессиональными сборщиками, в том числе герпетологами, происходит бесконтрольно. Угрозу существованию кунаширской популяции могут представлять также мелкие хищные млекопитающие, появившиеся на острове. Но главная опасность (она по-прежнему остается вне заповедной зоны) в том, что Кунашир все больше и больше заселяется, загрязняется его территория и это приводит к изменениям, а подчас и полному разрушению естественных биотопов. В таких местах, ставших непригодными для жизни сцинков, ящерицы исчезают.

Мы надеемся, что внесение дальневосточного сцинка в Красные книги СССР и РСФСР будет способствовать пропаганде охраны этого вида среди населения, которое сейчас, кстати, еще не знает даже, что ящерицу необходимо охранять.

Геохимия тропических островов

В. В. Добровольский



Всеволод Всеволодович Добровольский, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии и геохимии ландшафтов и научно-исследовательской лабораторией геохимии ландшафтов Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина. Специалист в области почвоведения, геохимии ландшафтов. Автор многих научных и популярных работ по этим вопросам, в том числе: География почв. Изд. 2-е. М., 1976; Химия Земли. М., 1980; География микроэлементов. Глобальное рассеяние. М., 1983; Проблемы геохимии в физической географии. М., 1984. Неоднократно публиковался в «Природе». Заслуженный деятель науки РСФСР.

Особенности живой природы океанических островов давно обратили на себя внимание зоологов, ботаников, экологов. Не менее сложны и интересны проблемы геохимии. Как влияет океан на геохимическую структуру островных ландшафтов? В какой мере сохраняются в них закономерности, свойственные «большой суше»? Эти вопросы я ставил перед собой, готовясь в 1984 г. во Владивостоке к отплытию на корабле «Академик Александр Виноградов» в составе комплексной советской экспедиции на Сейшельские о-ва.

Цель экспедиции — ознакомление с природными ресурсами молодой развивающейся Республики Сейшельские Острова. Передо мною же стояла задача изучить почвы и коры выветривания на островах, а также особенности распределения в них рассеянных металлов. Ранее мне уже доводилось проводить аналогичные исследования в других районах тропического пояса. Об этих экспедициях и их результатах было рассказано на страницах «Природы»¹.

Плавание вдоль берегов Филиппин и юго-восточной Азии послужило своеобразным введением к знакомству с экваториальной зоной Индийского океана. Незабываемы картины четкой линии конденсации облаков над горизонтом, прерываемой темными полосами далеких тропических ливней, душные черные ночи с зарницами и фосфоресцирующей водой, чарующие закаты, многолик Сингапур — с его старым британским центром, колоритными кварталами Чайна-тауна с буддийскими храмами и стремительно растущими многоэтажными современными зданиями. Впечатляюще и ливневые дожди, которыми славятся Малакка и Индонезия. Нельзя не вспомнить феерический праздник при пересечении экватора. Пройдя вдоль северо-восточного побережья Суматры с хорошо видимыми конусами вулканов, корабль через Никобарский пролив вышел в Индийский океан и, следуя почти по экватору, через 10 дней подошел к архипелагу Сейшельских о-вов.

КОРА ВЫВЕТРИВАНИЯ ГРАНИТНЫХ ОСТРОВОВ

Острова, расположенные в восточной части Индийского океана, разнообразны. Высокие гористые острова и низкие

¹ Добровольский В. В. Геохимические парадоксы Экваториальной Африки. — Природа, 1971, № 4, с. 84; Он же. Красные покровы тропиков. — Природа, 1983, № 5, с. 46.

атоллы, едва выступающие над уровнем прилива, молодые вулканические Маскаренские о-ва и сложенные древними гранитами Сейшелы.

Происхождение последних до сих пор загадочно, сам факт их существования парадоксален. Сейшельские о-ва — верхушка колоссального гранитного массива, поднимающегося на высоту 4 км над дном океана. Можно предполагать, что гранитный массив — обломок некогда существовавшего суперконтинента Гондваны, частями которого являются Африка, Мадагаскар, Индия, Австралия. Доводы для такого предположения есть.

Гранитный массив рассечен системой трещин, заполненных базальтами. По данным английских геологов Б. Бейкера и Дж. Миллера, абсолютный возраст гранитов от 500 до 650 млн лет, возраст базальтов — около 50 млн лет. Ситуация очень напоминает геологическое строение ближайшего континента, и в частности, Восточно-Африканского поднятия. Это сходство еще более усиливается крупным внедрением сиенитов — глубинных кристаллических пород особого состава. Это внедрение в настоящее время выступает над водами океана в виде крупного о. Силуэт. Похожие образования также встречаются в Восточной Африке, на территории Малави.

Большая часть Сейшельского массива находится над водой и покрыта мощными скоплениями коралловых известняков. Кораллы не могут жить на большой глубине, ниже 80 м они уже угнетены. А мощность известняков — несколько сотен метров. Следовательно, массив постепенно опускался, что давало возможность кораллам надстраивать свои сооружения. Но над поверхностью океана пока еще остаются отдельные вершины массива, и я надеюсь найти на них остатки древних продуктов выветривания (гипергенеза)². Работая в конце 60-х годов в Восточной Африке, я обнаружил следы выветривания разных эпох и по ним выяснил развитие гипергенных процессов. Сравнивая местные образования с африканскими, можно получить важные выводы. Правда, во многих геологических работах подчеркивается крутизна склонов островов и сильная эрозия, так что продукты выветривания могли не сохраниться. Поэтому я с трепетом всматриваюсь с палубы корабля на величественный амфи-

театр гор, нависающих над столицей Сейшельских о-вов — городом и портом Викторией.

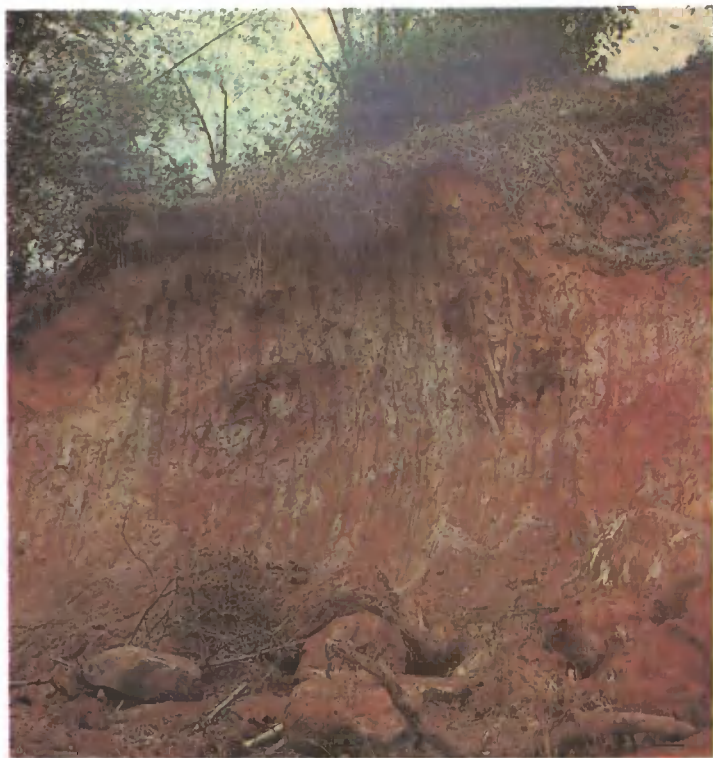
Хорошо видны крутые, местами сбросовые обрывы, изъеденная поверхность скал. Издали они скорее напоминают закарстованные известняки, чем граниты. В отдельных местах сквозь плотную зелень тропической растительности видны обнажения красных продуктов выветривания. Это меня несколько успокаивает.

Наконец мы сходим по трапу на пирс и вскоре идем по главной улице Виктории. Двухэтажные ярко окрашенные в зеленый, желтый, красный цвет дома с магазинами на нижнем этаже удачно гармонируют с нависающей над городом зеленой стеной горного леса. А вот и центр с четырехгранной часовой башенкой — памятью британского господства. Еще несколько лет назад поблизости стояла еще одна достопримечательность: самая маленькая статуя королевы Виктории. Теперь на этом месте водоразборная колонка. Направляясь к юго-западу от города, чтобы посмотреть обнажения и карьеры.

У основания горных склонов накоплены мощные толщи суглинков оранжевого, желтого или красного цвета. Они состоят из глины, хорошо окатанных кварцевых песчинок, а также обломков более или менее «свежих» гранитов. Ясно, что это не элювиальная кора выветривания, образованная *in situ* (на месте) в результате выветривания — гипергенного преобразования гранита, а размытые и неоднократно переотлагавшиеся продукты выветривания. Рядом встречаются массивные глыбы гранита. Они имеют причудливые очертания, напоминающие формы закарстованных известняков. Поверхность шероховатая из-за выступающих зерен кварца. Все это, по-видимому, способствовало представлениям об активном современном выветривании. Но вот что странно: вокруг этих глыб нет продуктов выветривания. Известно, что при выветривании происходит не растворение силикатов (полевых шпатов, слюд, роговых обманок), слагающих гранит, а их преобразование в глинистые минералы. Почему же здесь нет этих глин? Чтобы разобраться в этом, надо подняться выше в горы, где нет мощных скоплений переотложенных красноцветных суглинков, и постараться найти настоящую кору выветривания гранитов.

На следующий день под накрапывающим дождем мы с моими коллегами — биологами — отправляемся на городскую автостанцию. Микроавтобус доставляет нас

² Подробнее см.: Добровольский В. В. Механизмы гипергенеза. — Природа, 1977, № 2, с. 16.



Переотложенная древняя кора выветривания гранитных островов. Скопления белых глинистых минералов группы каолинита, перемешанные с глинами слабо выветренных гранитов. Сверху залегают покровные суглинки, на которых сформирована современная почва (о. Маз).



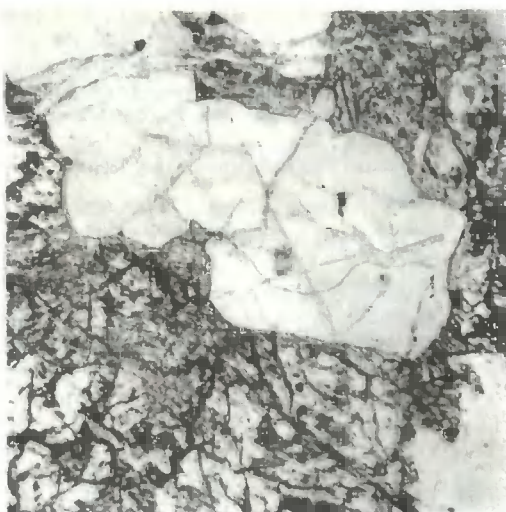
Красноцветные переотложенные продукты, покрывающие элювиальную кору выветривания (о. Праслен).

на конечную остановку, расположенную на высоте около 250 м над ур. м. Дальше идем пешком по дороге через горный лес. Высокоствольные деревья громоздятся по крутым склонам. Их дисковидные неглубоко распространяющиеся корни облекают отвалившиеся глыбы гранита, переполняющие красноцветные отложения. По пути отбираем образцы растительности, отлавливаем насекомых, я делаю прикопки и расчистки. На высоте около 500 м нахожу хорошо сохранившуюся кору выветривания, похожую на ту, которая мне так хорошо известна по Африке.

Постепенно начинаешь представлять, как шли здесь процессы гипергенеза. Мощная кора выветривания, образованная в отдаленные времена, была поднята при перемещениях блоков гранитного массива. Кора была частично размыта дождевыми водами (эродирована), продукты смыва вошли в состав светлоокрашенных делювиальных отложений. Светлые тона древних продуктов выветривания были обусловлены древними ландшафтами постоянно влажных тропических лесов. В их почве образовывались обильные легко растворимые органические соединения, а выветриваемые толщи горных пород были постоянно насыщены водой. В таких условиях железо и другие металлы активно мигрировали.

В неогене установился режим чередования сухих и дождливых сезонов, что повлекло за собой изменение миграции металлов. В период дождей образовывались растворимые соединения железа, в сухие периоды металл, наоборот, закреплялся на поверхности высокодисперсных минеральных частиц, отчего продукты выветривания приобрели желто-красный цвет. Процессы гипергенеза протекали на фоне энергичной денудации. Продукты выветривания быстро смывались и входили в состав рыхлых красноцветных отложений. Покровы этих отложений служат наиболее распространенной почвообразующей породой.

Все изложенное очень напоминает развитие процессов выветривания в Африке и во многих других районах древней тропической суши. Наряду с отмеченными общими чертами, гипергенная толща гранитных островов имеет свои особенности. Они связаны с периодическими обвалами и мощными оползнями. Последнее катастрофическое проявление этих процессов было в прошлом веке, когда огромный оползень с массива Труа Фрер не только разрушил Викторину, но даже изменил очертания бухты. В результате обвалов



Структура древней элювиальной коры выветривания, образованной на гранитах о. Маэ. В коре выветривания сохранились очертания минералов, слагавших исходные граниты, но полевые шпаты полностью замещены скоплениями каолинита (серые), в то время как зерна кварца (белые) сохранились без изменения. Прозрачный шлиф. Увел. в 15 раз.

в толще покровных суглинков оказались включения крупных глыб.

В один из дней работы на о. Маэ я набрел в окрестностях бухты Бо-Валон на карьер. На его стенке — классическая картина строения рыхлой толщи гранитных островов. Нижний слой светло-желтого цвета состоял из плохо сортированного тяжелого суглинка, в массе которого виднелись две крупные глыбы гранита, слабо затронутого выветриванием, и несколько более мелких валунов древней каолиновой коры. В валунах полностью сохранилась структура исходных гранитов, но все первичные минералы, кроме кварца, были полностью замещены гипергенными силикатами. Верхний слой был представлен красноцветным суглинком. В нем также присутствовали крупные обломки, но не выветренных, а совершенно свежих гранитов, обвалившихся после полного смыва древней коры.

Сохранность толщи выветренных пород зависит от площади острова. На небольших гранитных островах денудация полностью уничтожила рыхлые продукты выветривания. Таков, например, о. Арид, площадь которого составляет всего 27 га. На небольшом живописном о. Фелиситэ

площадью около 3 км^2 можно, хотя и не без труда, обнаружить валуны древней каолиновой коры. На о. Силуэт, имеющем площадь свыше 20 км^2 , эти валуны содержатся в значительном количестве. На самых крупных островах Маэ и Праслен остатки древней коры сохранились на месте их образования.

ГЕОХИМИЯ МЕТАЛЛОВ

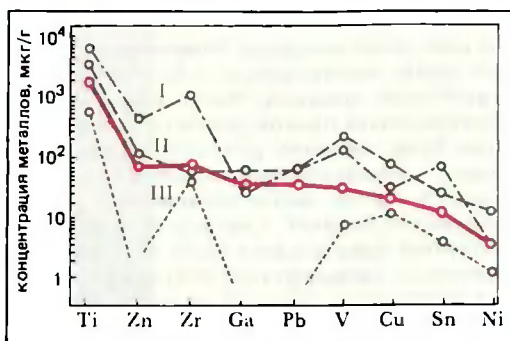
В природе все неповторимо. Как нет двух совершенно одинаковых лиц, так нет двух гранитных массивов с совершенно одинаковым составом. В гранитах Сейшельских о-вов по сравнению с «гранитным» слоем земной коры несколько понижена концентрация хрома, никеля, кобальта и меди. Эти особенности сохраняются в древней каолиновой коре гранитов и в остатках коры сиенитов. Продукты выветривания базальтов, наоборот, обогащены перечисленными элементами. Красноцветные отложения занимают переходное положение. Они особенно подробно должны быть изучены, так как на них формируются современные почвы, из них получают растения необходимые микроэлементы.

Красноцветные покровы состоят из обломков минералов гранитов (главным образом кварца) и гипергенных глинистых силикатов. Последние имеют величину в несколько микрометров и благодаря большой суммарной поверхности аккумулируют ванадий, никель, медь и некоторые другие металлы. Носителями рассеянных элементов служат также обломочные минералы гранитов, устойчивые к выветриванию. Этих минералов мало, они составляют десятые доли процента от массы отложений. Меньше всего рассеянных элементов в обломочном кварце. Таким образом, главным носителем рассеянных металлов в красноцветных отложениях служат глинистые минералы. Чем больше глины в отложениях и образованных на них почвах, тем выше в них концентрация металлов.

Металлы в красноцветных отложениях находятся в состоянии подвижного равновесия. Среди разных форм состояния металлов особый интерес представляют те, которые относительно легко переходят в раствор, могут захватываться растительностью и включаться в биологический круговорот. Водная вытяжка из красноцветов имеет слабо кислую реакцию, величина pH колеблется от 4,6 до 6,1, обычно около 5,5. Чтобы оценить количество металлов, которые могут перейти в подвижное состояние в кислой среде, мы применя-

ем экстракцию 10 % соляной кислоты. Оказалось, что количество подвижных форм для разных металлов неодинаково: для железа и марганца это доли процента от всего количества этих металлов, для цинка и меди — единицы процента, а для никеля и свинца — более 10 %.

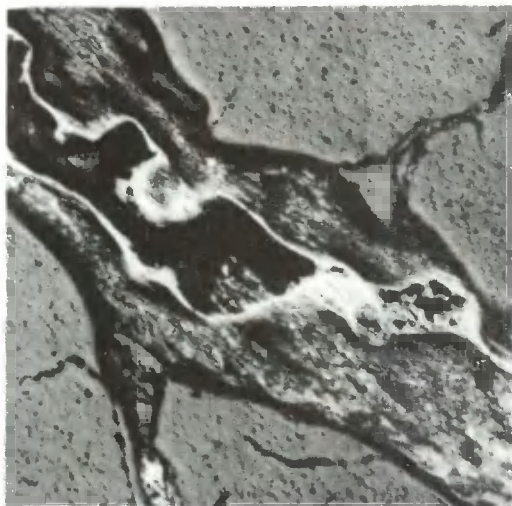
Подвижные формы металлов активно перераспределяются. Этому способствует сезонное выпадение атмосферных осадков. В сезоны дождей почвы и почвообразующие породы насыщаются водой, происходит мобилизация железа. Часть его вскоре



Распределение концентраций рассеянных металлов по главным компонентам покровных красноцветных отложений о. Маэ. Цветная кривая показывает концентрацию металлов в общей массе красноцветных отложений. В «тяжелых» минералах (I) наивысшая концентрация у титана, олова и особенно у циркония. В высокодисперсной фазе отложений (II) самую высокую концентрацию имеют ванадий, медь, никель и галлий. Самая низкая концентрация в обломочном кварце (III), в котором для цинка, галлия и свинца концентрация ниже чувствительности определения.

фиксируется глинистыми частицами, но некоторая часть мигрирует и осаждается в обстановке активного влияния кислорода. Так возникают аккумуляции гидроокислов железа — своего рода эмбрионы мощных латеритных панцирей, широко распространенных на тропических материках.

Наиболее подвижные формы захватываются растительностью, что также сопровождается перераспределением элементов. Конечно, каждый вид по-разному аккумулирует химические элементы. Так, горные леса, покрывающие нижние части склонов на о. Силуэт, состоят из табебуи с примесью дикой корицы. На одном и том же участке в листьях корицы цинка и меди в 2—3 раза больше, чем в листьях табебуи, хотя количество свинца в том и другом растении одинаково. Влияет на диффе-



Метаколлоидные выделения новообразованных гидроксидов железа (белые) в красноватых отложениях о. Мав. Крупные серые зерна — кварц. Полированный шлиф. Увел. в 95 раз.

ренциацию и экологическая обстановка. Например, в наземных растениях больше тяжелых металлов, чем в представителях растущих в соленой морской воде мангров, зато в последних больше стронция, поступающего в растения из воды. Учитывая высокую вариацию аналитических данных, можно считать, что в золе растений гранитных островов содержится в среднем около 0,1 % железа и еще больше марганца, 0,05 % стронция, примерно по 0,02 % цинка и бора, более 0,01 % титана, свыше 0,006 % меди, около 0,001 % свинца и никеля, 10—4% молибдена и примерно 10—5% серебра.

Отнеся эти величины к кларкам (среднему содержанию) элементов в гранитном слое литосферы, мы получим коэффициенты биологического поглощения (K_b), дающие представление об интенсивности вовлечения элементов в биологическую миграцию. Оказалось, что одни металлы, как например цинк и медь, поглощаются с умеренной интенсивностью ($K_b=2-4$), другие — в 10 раз менее интенсивно (никель и свинец) и даже в 100 раз менее интенсивно, как железо и марганец. Невысокая интенсивность поглощения объясняется тем, что в почвообразующих породах гранитных островов так много металлов, что у растений в некоторых случаях (на-

пример, для марганца и железа) должны срабатывать биохимические механизмы, затрудняющие поступление избыточных количеств.

ОТКУДА МЕТАЛЛЫ НА АТОЛЛАХ?

Первая встреча с коралловыми островами буквально ошеломляет. Можно понять Ч. Дарвина, который в своем путевом дневнике писал: «... вид внешних берегов этих лагунных островов всегда представляется мне исполненным величия... Органические силы выделяют из пенящихся бурнов, один за другим, атомы углекислого кальция и сочетают их в симметричных образованиях. ... И вот мы видим, как мягкое и студенистое тело полипа в силу законов органической жизни побеждает великую механическую мощь океанских волн...»³

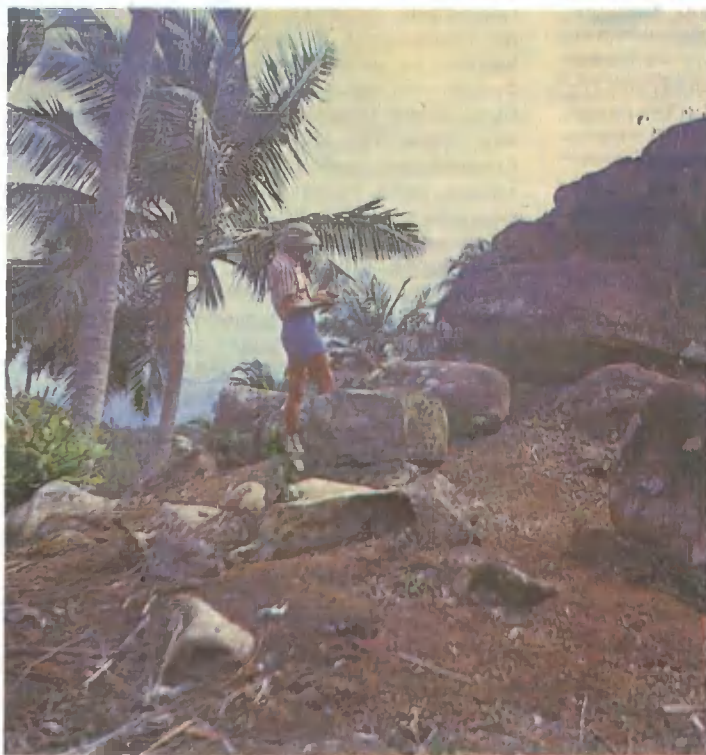
Не менее удивительна геохимия этих экзотических биогеоценозов, порожденных океаном, но имеющих все черты, свойственные ландшафтам суши. Здесь есть почва, разделенная на генетические горизонты, есть — среди соленого океана! — пресные почвенные воды, есть яркая и мощная растительность. На мой взгляд, существование атоллов еще более парадоксально, чем гранитные острова в океане. Созданные из карбонатов кальция и магния, извлеченных из морской воды через тончайшие биологические мембраны, атоллы должны быть более химически чистыми, чем дождевая вода. Но каким образом на таком стерильном субстрате существуют пальмовые леса, растут мощные деревья с огромной кроной? Для их нормальной жизнедеятельности недостаточно кальция и магния, содержащихся в белоснежном коралловом песке. Необходимы многие другие химические элементы, в том числе тяжелые металлы.

На первый взгляд может показаться, что ничтожные примеси, которые есть всюду, могут обеспечить потребности растений. Но обратимся к фактам. Результаты наших анализов показали, что в коралловых рифах и песках встречается очень небольшая примесь сульфатов кальция (не более 1 %) и кремнезема (десятичные доли процента). Остальные химические элементы, в том числе те, из которых состоят гранитные острова, присутствуют в очень незначительном количестве. Так, напри-

³ Дарвин Ч. Путешествие натуралиста вокруг света на корабле «Бигль». М., 1954, с. 485.

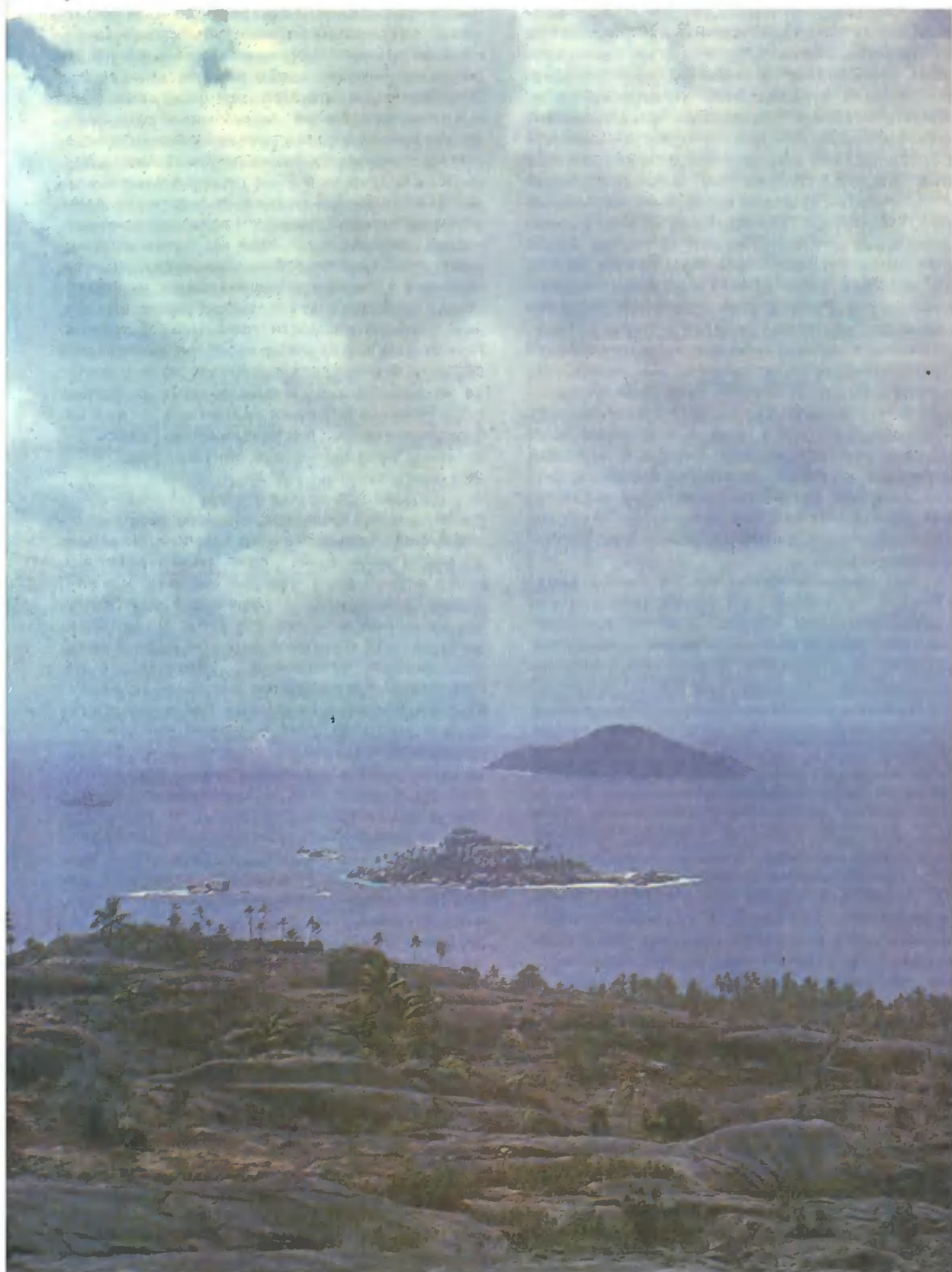


Причудливые формы поверхности гранитных глыб, образованные в результате смыва рыхлых продуктов выветривания с поверхности плотной породы.



Глыбы сиенита и красноцветные продукты выветривания (о. Силуэт).

Сейшельские о-ва — вершины покрытых океаном гранитных гор. Вид с о. Фелиситэ.



мер, железа, содержащегося в почвообразующих породах гранитных островов в количестве около 5 %, в чистых коралловых известняках в тысячи раз меньше. В условиях атоллов этот химический элемент становится настоящим микроэлементом, как медь или цинк. Но растениям требуется железо вне зависимости от того, где они растут. Откуда же оно поступает?

Невольно вспоминаю мои маршруты на о. Фаркуар. Это крупный атолл, расположенный немного южнее 10° ю. ш. Большая часть его покрыта морем. Узкие полоски суши полукольцом охватывают обширную лагуну. Раннее утро. Мотобот, преодолевая волны, приближается к берегу. Проплываем маленькую белую яхту, на которой наши мимолетные друзья — французы супруги Ваши — второй год вдвоем путешествуют вокруг света. Бот поворачивает навстречу ветру, и волны захлестывают нас. Однако они не мешают большой морской черепахе, которая некоторое время сопровождает бот. Время прилива, вода высокая, бот доставляет нас прямо на пляж. Мокрые участники экспедиции расходятся по своим маршрутам.

В полдень я вместе со своим спутником — научным сотрудником Института общей генетики АН СССР В. И. Абрамовым — достигаем окончания северного острова и заставляем перед открывшейся нам картиной. Полоса суши здесь прерывается узким проливом, соединяющим лагуну с океаном. Бирюзовая вода в проливе неправдоподобно прозрачна. На дне видны небольшие колонии кораллов. На другой стороне пролива на ослепительно белом коралловом песке неподвижные под знойным солнцем заросли сцеволы, высокие казуарины, кокосовые пальмы. Истомленные напряженным маршрутом и зноем, мы переходим вброд пролив, сбиваем несколько молодых кокосов, срубаем ножами их верхушки и с наслаждением пьем прохладный кисловатый сок. Сидя в тени высоких деревьев и восхищаясь их мощью, я вновь поражаюсь тому, откуда они получают столько металлов, необходимых для их роста и нормальной жизнедеятельности. Отдохнув, мы собираем образцы почв и растений, ради анализа которых я оказался в этих экзотических местах.

Проведенные исследования показали, что хотя в целом в растительности коралловых островов содержится меньше металлов, чем в растениях гранитных Сейшел, но эта разница не так уж велика. Такой сравнительный анализ особенно убедителен на однотипных растениях, часто встре-

чающихся как на гранитных, так и на коралловых островах. Удобным объектом оказался папоротник *Nephrolepis*, похожий на хорошо знакомый всем папоротник орляк. Это растение широко распространено на островах восточной части Индийского океана независимо от их состава и происхождения. Обнаружено, что в папоротнике с гранитных островов в 2—4 раза больше железа, цинка, бария, хрома, а марганца даже в 10 раз по сравнению с таким же папоротником, собранным мной на атоллах Амирантской группы. Что касается железа, то его в среднем в растительности коралловых островов всего в три раза меньше, чем в растительности гранитных островов. При этом в коралловых породах, на которых образованы почвы и растут растения, железа в тысячи раз меньше, чем в почвообразующих породах гранитных островов. Следовательно, растительность здесь — мощный геохимический аккумулятор тяжелых металлов.

Кратко обобщая результаты изучения рассеянных элементов, можно заключить, что в растительности атоллов по сравнению с растительностью гранитных островов всего в 2—3 раза меньше железа, никеля, меди, свинца, хрома, серебра и еще меньше марганца и титана. На этом фоне обращает на себя внимание сильное (в 3—4 раза) обогащение атоллальной растительности стронцием. Отмеченное различие проявляется не только в наземной растительности, но и в манграх, хотя и менее контрастно.

Если рассчитать коэффициент биологического поглощения растительности атоллов по отношению к содержанию металлов в коралловом субстрате, то окажется, что интенсивность поглощения металлов очень большая ($K_b > 10$), а стронция — низкая ($K_b < 1$). По-видимому, стронция так много в коралловых известняках и песках, что растения «вынуждены ограждать себя» от чрезмерного его поступления. По поводу поступления тяжелых металлов можно считать, что при их ничтожном содержании в почвообразующих породах и столь интенсивном поглощении растениями, последние за очень короткий срок должны бы полностью растворить коралловые острова, едва выступающие над уровнем океана. Так как этого не происходит, то источником поступления металлов может служить только атмосфера.

Этот на первый взгляд неожиданный вывод имеет серьезные основания. Металлы — обязательная примесь в атмосфере, где они находятся в составе аэрозолей. Конечно, их содержание ничтожно и со-

ставляет от одного до нескольких нанограммов в кубическом метре воздуха. В километровом слое воздуха над поверхностью земного шара находятся тысячи тонн тяжелых металлов, которые постоянно осаждаются, но запас которых столь же постоянно возобновляется. Механизм этого глобального миграционного цикла недостаточно изучен.

Используя обширные зарубежные и отечественные данные, мы провели расчет количества тяжелых металлов, осаждающихся на поверхности островов восточной части Индийского океана в течение года из атмосферы.

Поступление тяжелых металлов (кг/км²)

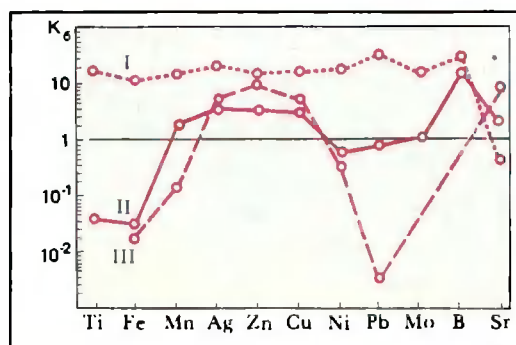
Тяжелые металлы	В растворимой форме с дождями	С сухими осадками
Железо	3—9	90—108
Марганец	6—18	9—16
Медь	3—9	0,3—0,6
Цинк	7—21	1,4—1,8
Свинец	6—18	0,4—0,7
Никель	1,5—4,5	0,1—0,25

Оказалось, что тяжелых металлов с атмосферными осадками поступает больше, чем растения могут получить из коралловых пород.

Установив, что металлы выпадают на поверхность атоллов с дождями и пылью, мы сталкиваемся с еще более сложным вопросом: каков источник поступления металлов в атмосферу? В 1980 г. было введено представление о коэффициенте аэрозольной аккумуляции металлов и показано, что концентрация тяжелых металлов в аэрозолях над континентами возрастает по сравнению с кларками земной коры¹. Близкий эффект имеет место и над Мировым океаном.

Образование аэрозолей из океанической воды — сложный геохимический процесс, состоящий из многих частных физических, химических, физико-химических и даже микробиологических процессов. Некоторые элементы переходят в состав аэрозолей в такой же концентрации, в какой они содержались в морской соли. Это просто частицы солей: сульфатов и хлоридов натрия, магния и кальция, захва-

ченные ветром. Но концентрация тяжелых металлов возрастает по сравнению с их содержанием в морской соли. Величины отношений содержания химических элементов в океанической соли и аэрозолях к кларкам гранитного слоя земной коры близки для кальция, магния, натрия, сульфатной серы и хлора, т. е. солевой части морской воды. В то же время для металлов эти величины возрастают в сотни и тысячи раз. Следовательно, при образовании аэрозолей над океаном происходит не только захват солей, растворенных в морской воде, но и относительное обогащение тяжелыми металлами.



Интенсивность биологического поглощения тяжелых металлов и стронция растительностью и почвенной мезофауной островов различного типа. Сопоставлены величины коэффициента биологического поглощения растительностью (K_b) коралловых [I] и гранитных [II] островов. Хорошо видно, что интенсивность поглощения металлов растительностью гранитных островов велика, особенно для железа, марганца и титана, в то время как растительностью атоллов — очень высокая. Интенсивность поглощения стронция, наоборот, на гранитных островах выше, чем на коралловых. Поглощение металлов и стронция почвенной мезофауной гранитных островов [III] в общем соответствует биогеохимическим закономерностям растительности, хотя имеет свои отличительные черты; более интенсивное поглощение цинка, меди и значительно менее интенсивное — свинца.

Конечно, на присутствие металлов в океанических аэрозолях в какой-то мере влияет вулканическая деятельность и просто континентальная пыль, которая разносится над всей экваториальной планетой. Степень этого влияния можно объективно оценить. В пыли континентального происхождения, как и в твердых выбросах вулканов, железа значительно больше, чем других металлов. При расчетах (так называемого нормирования состава аэрозолей по железу) мы обнаружили, что в аэро-

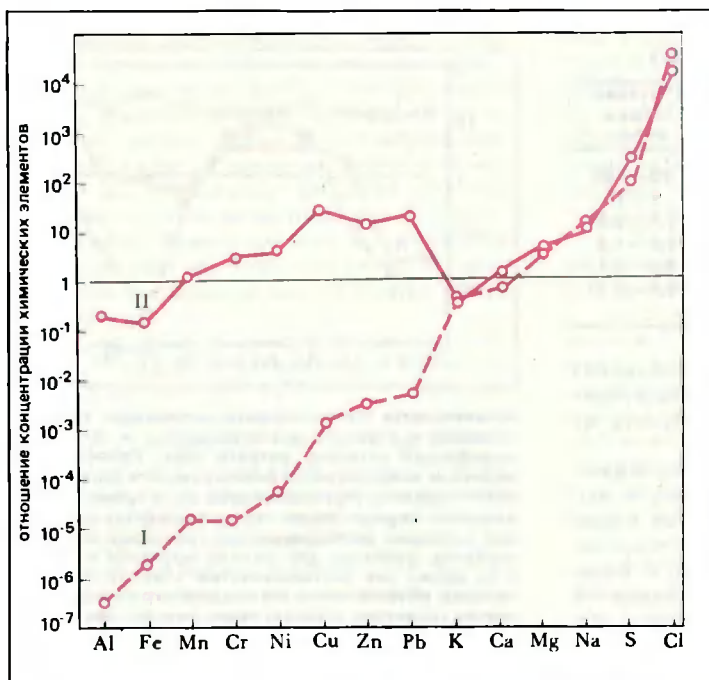
¹ Добровольский В. В. Тяжелые металлы, загрязнение окружающей среды и глобальная геохимия. — В кн.: Тяжелые металлы в окружающей среде. М., 1980, с. 3.

золях Индийского океана более высокие величины отношений тяжелых металлов к железу по сравнению с гранитным слоем литосферы. Можно сделать вывод, что обогащение тяжелыми металлами относительно железа отличает аэрозоли Индийского океана как от частиц морской соли, так и от частиц континентального происхождения.

В 70-х годах специалисты из разных стран, изучавшие льды Антарктиды, — У. Цоллер и Г. Дьюс (США), В. Д. Виленский

На атоллах, наоборот, благодаря сильному дефициту в почвообразующих породах, атмосферные осадки служат главным источником металлов для современных почв и фитоценозов.

Не только абсолютное содержание, но и соотношение металлов в ландшафтах этих двух групп островов неодинаково. Преобладание железа над другими металлами в растениях гранитных островов отмечено выше. Не менее показательно соотношение марганца и цинка. В продуктах выветрива-



Соотношение химических элементов в океане и в аэрозолях над Индийским океаном. I — отношение концентрации химических элементов в морской части Мирового океана к кларку гранитного слоя земной коры; II — отношение концентрации элементов в аэрозолях над Индийским океаном к кларкам гранитного слоя. Соотношения I и II для кальция, магния, натрия, сульфатной серы и хлора очень близки, а для металлов они различаются в тысячи и сотни тысяч раз.

и А. З. Миклишанский (СССР), К. Бутрон (Франция), — высказали предположение о том, что на границе раздела океан — тропосфера происходит определенная дифференциация, фракционирование химических элементов и относительное обогащение тяжелыми металлами. Наши данные о геохимии коралловых островов согласуются с этим предположением.

Геохимия тяжелых металлов в ландшафтах гранитных и коралловых островов Индийского океана принципиально различна. На гранитных островах из-за большого количества металлов в почвообразующих породах значение вклада металлов аэрозольного (атмосферного) происхождения в их содержание в растительности невелико.

ния, почвах и растительности гранитных островов содержание марганца значительно больше, чем цинка. В почвах и растительности атоллов соотношение обратное. Вероятная причина в том, что с дождевыми осадками Индийского океана также поступает несколько больше цинка, чем марганца. Образно говоря, океан не только сформировал рифовую основу коралловых островов, но и продолжает формировать геохимию их ландшафтов.

*

Интересная экспедиция, какое бы время для нее ни было запланировано, всегда кажется исследователю недостаточно продолжительной. Несмотря на уста-



Поверхность песчаных коралловых островов возвышается над уровнем прилива на 0,5—1 м (атолл Пуавр).

лось, хотелось бы посетить еще один остров, взять еще одну серию образцов. Но сроки работ истекли, и наш корабль повернул к северу. Вскоре он обогнул Африканский Рог и после непродолжительной остановки на юге Аравии у раскаленного вулканического п-ова Аден вошел в Красное море. Через несколько дней остались позади последние коралловые рифы. Двухдневное ожидание в Суэцкой бухте, медленное прохождение с караваном судов по Суэцкому каналу среди низкой песчаной пустыни постепенно снимало накал и напряжение экспедиционной работы. Неторопливое плавание по Средиземному морю от Порт-Саида до Гибралтара и затем через Ла-Манш и Балтийское море вокруг Европы располагало к размышлениям. Я старался осмыслить виденное и разрабатывал программу предстоящих аналитических работ.

В 1970-х годах группа американских специалистов высказала предположение, что тяжелые металлы появляются в атмосфере отдаленных от промышленных объ-

ектов пунктов Северного и Южного полушарий не только из-за загрязнения, но и в результате природных процессов. С тех пор получены разнообразные факты, свидетельствующие о частично природном происхождении этого феномена и одновременно подтверждающие замечательные идеи В. И. Вернадского о миграционных циклах, пронизывающих окружающую нас среду. Изучение циклического обмена масс между поверхностью суши и атмосферой, поверхностью океана и атмосферой, между сушей и Мировым океаном только начинает разворачиваться. Коралловые острова, затерянные в океане, служат идеальным полигоном для исследований в этой области. Нет сомнения, что дальнейшее изучение геохимии океанических островов принесет много для понимания сложного механизма миграции и перераспределения тяжелых металлов в биосфере.

Древний город на реке Москве

А. А. Юшко



Алексына Алексеевна Юшко, кандидат исторических наук, младший научный сотрудник Института археологии АН СССР. Занимается историей и археологией Московской земли.

ИСТОРИЯ ГОРОДА ПО ПИСЬМЕННЫМ ИСТОЧНИКАМ

В 60 км к западу от Москвы, в окружении первозданного ландшафта, на высоком останце левого берега р. Москвы, ограниченном с двух сторон глубокими оврагами, расположен древний город Московской земли — Звенигород. Город-здравица с многочисленными санаториями, город, где старина переплетается с новью.

Ранняя история Звенигорода не нашла отражения в русских летописях в силу того, что начало московского летописания, которое падает на конец XIV в., совпадает по времени с правлением крамольного по отношению к Москве звенигородского князя Юрия Дмитриевича, посягавшего на московский великокняжеский стол. Поэтому угодливые московские монахи-летописцы предпочитали умалчивать о важных для истории города событиях, в то время как другие города Московской земли — современники Звенигорода (Москва, Волоколамск, Коломна, Дмитров) упоминались на страницах летописей в XII—XIII вв. неоднократно.

В силу этого умалчивания ученые XIX в. единодушно утверждали, что город возник не ранее XIV в., когда о нем имеется

первое упоминание в духовном завещании Ивана Калиты (ок. 1339 г.), согласно которому город отдается в удел второму его сыну — Ивану¹.

Однако археология, как это нередко бывает, позволила удрежить время происхождения города на два столетия, о чем подробнее речь будет ниже.

Подлинного расцвета Звенигород достиг при втором сыне Дмитрия Донского — Юрии Дмитриевиче, княжение которого приходится на конец XIV — первую треть XV в. Колоритна личность этого князя. Родился Юрий в 1374 г. в Переяславле Залесском, и крестным отцом его был Радонежский игумен Сергей, человек близко стоявший к Московскому великокняжескому дому. Юрий рос в атмосфере высокой культуры и книжности, характерной для конца XIV в.

Пятнадцатилетним юношей, после смерти в 1389 г. отца, Дмитрия Донского, Юрий становится удельным князем, который помимо Звенигорода «со всеми волостями и с тамгою, и с мыты, и з бортью и с селы, и со всеми пошлинами» получил

¹ Духовные и договорные грамоты великих и удельных князей XIV—XV вв. М.—Л., 1950, с. 7, 9.

еще Галич «со всеми волостями», а также ряд сел московских и юрьевских².

В качестве «молодшего» брата великого князя Московского Василия Дмитриевича, Юрий служил ему верно и «не запятнал свое имя ни вероломством, ни излишней жестокостью»³.

Будучи удельным князем, он был участником многих военных походов московского великого князя — в новгородские земли в 1392 и 1417 гг., в Среднее Поволжье в 1396 и 1399 гг. 36 лет длился звенигородский период жизни Юрия Дмитриевича.

СТРОИТЕЛЬСТВО ГОРОДА

За этот период удельный князь превратил город в неприступную крепость, соорудив по его периметру высокий, с напольной стороны достигающий высоты 8 м, земляной вал с деревянным тыном по верху. Внешняя сторона вала, его гласис, была обмазана плотным слоем глины, который, будучи увлажненным, становился неприступным для врагов. Внутренняя же сторона вала была выложена булыжником, по которому защитники города могли легко забраться к деревянной стене.

Где-то, по-видимому, в прибрежной части города располагался княжеский дворец, куда Юрий привез свою жену Анастасию Юрьевну, происходящую из смоленского княжеского дома. Помимо дворца, в городе были различные службы, в том числе и монетный двор. Известно, что около 1400 г. Юрий Дмитриевич наладил чеканку своей монеты. Были здесь также и дворы приближенных к князю бояр.

По образцу великокняжеской Москвы удельная столица должна была иметь и свой придворный храм, соименный главному собору Московского Кремля, свой монастырь, и свой торгово-ремесленный посад. Некоторыми постройками князя Юрия мы можем любоваться до сих пор, например белокаменным собором Успения Богородицы, расписанным Андреем Рублевым. Источники не сохранили нам точной даты построения собора. Однако архитектурные аналогии, а также анализ биографических вех жизни удельного звенигородского князя позволяют исследователям отнести время его сооружения к рубежу XIV—XV вв., считая 1400 г. — годом окончания строи-

тельства⁴. Исследователи подметили, что формы портала собора, характер кладки стен, круглое оконце с обрамлением в виде розетки и некоторые другие детали напоминают соответствующие детали собора Рождества Богородицы Московского Кремля, точная дата постройки которого известна — 1393 г.⁵ Эти моменты также послужили основанием для датировки строительства Звенигородского собора.

Одновременно со строительством придворного собора в двух верстах от города, близ устья Сторожи князем Юрием был основан монастырь. Его основателем и первым настоятелем был троцкий инок Савва, близкий умершему в 1392 г. Сергию Радонежскому. Савва «зело возлюбил» это место, которое «якоже небесный рай благовонными насажен цветы»⁶. Здесь и был основан Саввино-Сторожевский монастырь в окружении древних поселений и курганных могильников эпохи вятичей. От тех времен на территории монастыря сохранился Рождественский собор, по своим пропорциям уступающий Успенскому — он более приземист и массивен, что объясняется различием их функциональных особенностей.

В период превращения Звенигорода в столицу удела интенсивно обживаются и его предместья. Нашими обследованиями противоположного городищу правого берега р. Москвы — территории Верхнего посада — установлено, что культурный слой XIV в. тянется здесь почти на километр. Жилым было и пространство, примыкающее к городищу с севера — Нижний посад (Супонев), на территории которого в более позднее время, как показали наши работы 1978 г., размещалось кладбище города.

МЕЖДОУСОБИЦЫ

Великий князь Василий Дмитриевич I умер холодной февральской ночью 1425 г. Митрополит Фотий посылает в Звенигород за князем Юрием своего боярина Акинфа Аслебетева. Однако за этим актом крылся тонкий расчет опытного интригана. Дело в том, что, согласно духовным грамотам великого князя Василия Дмитриевича 1423 и 1425 гг., московский великокняжеский стол переходил не к следующему по старшинству брату, Юрию Дмитриевичу, как того тре-

² Там же, с. 33.

³ Смирнов П. П. — Уч. зап. Моск. гор. пед. ин-та, 1948, т. IX, вып. 1, с. 89.

⁴ Николаева Т. В. Древний Звенигород. М., 1978, с. 22.

⁵ Там же.

⁶ Цит. по: Николаева Т. В. Древний Звенигород, с. 10.

бовало завещание Дмитрия Донского, а к малолетнему сыну Василию, тоже Василию. Умудренный жизнью пятидесятилетний звенигородский князь должен был признать старшинство своего десятилетнего племянника, что противоречило сложившимся в Москве нормам наследования.

Учитывая все это, князь Юрий не захотел идти в Москву в ответ на приглашение Фотия, а поехал в Галич, где он думал собрать полки с тем, чтобы двинуть их для захвата принадлежащего ему по праву московского великокняжеского стола. На этом закончился звенигородский период жизни князя Юрия, и вместе с тем было положено начало многолетней феодальной войне, продолженной его сыновьями и закончившейся ослеплением великого князя Василия Васильевича, отчего он получил прозвище Темный.

Однако после отъезда из Звенигорода князь Юрий не раз наезжал сюда. После захвата им Москвы в 1434 г. здесь пребывали в заточении жена и мать великого князя Василия Темного. Вскоре — вслед за этим событием — закончилась и жизнь галицко-звенигородского князя. Из духовного завещания видно, что он умер многодетным человеком. В его удел, помимо Звенигорода, входили такие города, как Галич, Руза со всеми волостями, Вышгород, а также «жребий» (доля с доходов) в Москве и некоторые московские села. Звенигородом короткое время владел сын Юрия — Василий Косой. Последним удельным князем здесь был Андрей Васильевич Большой — брат Ивана III, которым он был обвинен в 1492 г. в изменах и крамоле и заточен. Звенигородский удел был ликвидирован, и город на протяжении XVI в. превратился в уездный центр Замосковского края. В начале XVII в. город служил воротами на Русь, через которые проходили войска польских интервентов. Город захирел, зато его историческое значение перешло Саввино-Сторожевскому монастырю, куда не раз ездил на охоту и богомолье царь Алексей Михайлович и другие богомольцы.

ЧТО НОВОГО ДАЛА АРХЕОЛОГИЯ

Археологические раскопки городища Городок были начаты еще в 20-е годы. Однако они носили эпизодический характер. Первые развернутые стационарные раскопки городища были проведены Б. А. Рыбаковым в 1943—1945 гг. Задачи,



Изделия из кости: гребень, игла, проколка. XII—XIV вв.

Известняковая шахматная фигурка. XII в.

Ювелирные изделия: витой бронзовый браслет, ювелирный пинцет, решетчатый перстень, обломок пластинчатого браслета. XII—XIII вв.



Цилиндрические замки и ключи к ним. XII—XIII вв.

Керамика. XIV в.

Железные пражки. XIII—XIV вв.

стоящие перед экспедицией, сводились к решению следующих проблем: определение времени основания города; археологическое изучение периода его расцвета; изучение раннего Звенигорода, что косвенно содействовало бы и уяснению облика ранней Москвы⁷.

Каковы же итоги экспедиции 40-х годов? Прежде всего было доказано, что город возник не в XIV, как следовало из письменных источников, а в XII в. — в то же время, что и Москва. Об этом свидетельствовали многочисленные фрагменты глиняной посуды домонгольской поры, а также такие относящиеся к XII—XIII вв. вещи, как обломки стеклянных браслетов, цилиндрические замки, пряслица (грузики для веретен). К «дописьменной» поре жизни города относились постройки (сруб XII в. с глинобитной печатью), а также мастерская медника XIII в., где в глинобитном горне было найдено 19 цилиндрических замков. Все они были без дужек, многие носили следы взлома и были очень разнообразны, что дало Б. А. Рыбакову основание сделать вывод о том, что это была мастерская не замочника, а медника, который занимался переплавкой металлического лома. Потребность в подобных замках, механизм которых состоял примерно из 40 деталей, была очень велика не только на Руси, но и в Западной Европе, поскольку подобрать отмычку к ним чрезвычайно трудно.

С эпохой расцвета города (конец XIV — начало XV в.) Б. А. Рыбаков связывал возведение оборонительных сооружений, и прежде всего сложного по конструкции вала. К западу от собора были обнаружены следы еще одной, во многом загадочной линии обороны, которая состояла из мощных, до 0,45 м в диаметре, столбов, врытых через 1,6 м и шедших параллельно линии вала. Б. А. Рыбаков делает предположение, что этот тын мог быть оградой особого, возможно, дворцового комплекса внутри города.

Однако, как это нередко бывает в науке, сделанные открытия породили новые вопросы, связанные с проблемой изучения древнейшей поры жизни города, его планировки, укреплений, а также соотношения города XII в. с городом периода его расцвета. Интересно было выявить и изучить дворцовый комплекс, а также монетный двор Юрия Дмитриевича.

⁷ Рыбаков Б. А. — Материалы и исслед. по археол. СССР, 1949, № 12, с. 128.

Все эти вопросы стояли перед Экспедицией Института археологии АН СССР, когда она в 1974 г. под руководством автора этих строк приступила к новым раскопкам городища. Было вскрыто около 700 м² культурных напластований, но тем не менее исследованная площадь городища (с учетом предшествующих работ) составляла всего 4,5 % общей площади древнего города.

Установлено, что древняя планировка Звенигорода в значительной мере соответствовала современной застройке Городка (она сохранилась в прибрежной части городища): две линии домов, расположенных вдоль основной улицы, идущей от древнего въезда на городище к берегу р. Москвы. Периферийные участки города были заняты хозяйственными постройками и огородами. Эта планировка нарушалась в центральной части, где к северу от собора располагалась свободная от построек площадь.

Проведенный экспедицией разрез западного вала городища показал, что в возведении оборонительных сооружений города было два этапа. Древнейший из них относится к XII в., когда была выстроена деревянная стена, состоящая из клеток, поставленная на мощный в этом месте песчаной подсыпке; следующий этап, относящийся к концу XIV — началу XV в., связан с возведением на остатках этой стены земляной насыпи, поверх которой были поставлены деревянные укрепления.

Жилые постройки как в XII—XIII вв., так и в более поздний период представляли собой небольших размеров наземные срубы с глинобитными печами. Характерны погребя-подполья, достигающие глубины 1,7 м и имеющие вдоль стен гидроизолирующую глиняную обмазку. Уже в XII в. существовала усадебная планировка построек, когда в единый комплекс, выгороженный забором-частоколом, помимо жилого помещения включались и хозяйственные.

Удалось еще раз подтвердить ту закономерность, которая была прослежена при раскопках других церковных построек Древней Руси и которая заключается в том, что производство строительных материалов, необходимых для построек, производилось вблизи от места их закладки. Так, в 28 м к северо-западу от собора обнаружены остатки ямы для гашения извести, необходимой для связи белокаменных блоков здания. Подвеска блоков также производилась на месте — в толще культурного слоя прослежены прослойки битого известкового камня.

ЗВЕНИГОРОДСКИЙ БЫТ

Вещевой комплекс Звенигорода насчитывает около 1000 находок. Их можно подразделить на орудия труда, оружие, предметы быта и украшения. Типологическое и технологическое изучение такой массовой категории орудий труда, как железные ножи (около 100 экземпляров), позволило проследить интересные закономерности, связанные именно с общими процессами развития древнерусского ремесла как такового, о чем говорилось выше. Во-первых, ножи древнего Звенигорода различались по своим функциям — большую группу составляли ножи универсальные, но были и специальные ножи, например, по обработке дерева, столовые и т. д. Обилие найденных ножей позволяет проследить эволюцию технологии их изготовления.

В XII—XIII вв. бытовали ножи с более сложной технологической схемой, чем в последующие времена. Схема эта такова: по центру рабочей части ножа проходила стальная полоса, а по бокам наваривались пластины. Это так называемые ножи-пакеты или самозатачивающиеся ножи, у которых со временем более мягкие железные боковины срабатывались. Зато стальное лезвие всегда оставалось острым. Но в то же время встречаются и ножи, которые имели косую торцовую наварку лезвия на железную основу — технологический прием, значительно упрощающий изготовление ножа. Именно этот прием нашел широкое распространение в последующих, XIV—XV вв. Тогда же применялись и ножи, целиком выкованные из стали, которых ранее не было. Это упрощение технологической схемы связано с общими процессами стандартизации ремесла и расширением рынка сбыта ремесленной продукции.

Любой средневековый город всегда был тесно связан с сельской округой (оттуда в него шел значительный приток населения). О такой именно связи свидетельствуют находки семилопастных височных колец — украшений, свойственных местному племени вятичей. Эти очень изящные, часто серебряные украшения, выполненные в технике литья, были продукцией местных сельских ремесленников, обслуживающих округу в 20—30 км⁸. В более позднее время в округе были широко распространены серьги с дужками в виде знака

⁸ Рыбаков В. А. — Уч. зап. МГУ, 1946, вып. 93, с. 88.

вопроса (серьга-одинец). Одна такая дужка — золотая — была найдена при раскопках Звенигорода.

Поскольку Звенигород был удельным городом со своим монетным двором, логично было бы предположить, что в раскопках среди вещей будут и монеты его собственной чеканки. Однако обнаруженные четыре серебряные монеты никак не связаны с чеканом князя Юрия Дмитриевича. Две из них принадлежат, как нам кажется, чекану Василия Дмитриевича Московского. Принадлежность этому чекану одной из монет во всяком случае несомненна. Относительно другой возможен спор. Дело в том, что на древнерусских монетах той поры ставили не даты, а лишь имя князя, в правление которого чеканилась монета. Но в начале XV в. на Руси почти одновременно было два князя с именем Василий Дмитриевич — князь Московский и Суздальско-Нижегородский по прозвищу Кирдяпа. Факт находки нашей монеты на территории Московского великого княжества склоняет спор в пользу того, что она была все же московского чекана⁹.

При раскопках Звенигорода найдено много керамической посуды, разнообразной по своему назначению: здесь и кухонная утварь, и столовая, и сосуды, используемые как тара, и маленькие мисочки, на днищах которых часто стоит клеймо в виде трезубца — «знак Рюриковичей». Из многочисленных обломков нам удалось восстановить около 40 форм целых сосудов.

Выше мы говорили о широком строительстве, развернутом в городе, нашедшем отражение в письменных источниках. Это же подтверждают и данные археологии. Причем находки подчас свидетельствуют о невосполнимых утратах для искусства. Так, при прокладке траншеи, которая велась от одного из раскопов в направлении к Успенскому собору, исследователи натолкнулись на глубокую мусорную яму значительно более позднего времени (XIX в.). Среди отбросов в ней были обнаружены фрагменты древних фресок, сбитые, очевидно, при капитальном ремонте собора в 1830—1837 гг. Специалисты считают, что эти фрески могли принадлежать кисти Андрея Рублева.

К числу необычных находок можно отнести и обломки кирпича XII—XIII вв. — так называемой плинфы. Этот большемерный и тонкий, толщиной в 3—4 см, кирпич

применялся в церковном строительстве Древней Руси еще домонгольского времени. Постройки из него известны в Киевской Руси, на территории Смоленского, Владимирского и других княжеств; на территории же Московской земли ни одного такого сооружения пока неизвестно. В Звенигороде XIV в. было вторичное использование плинфы при кладке больших глинобитных печей, но много ее и в россыпи, причем концентрировалась она в определенном месте раскопок — к западу от Успенского собора. Фрагменты плинфы были найдены также совсем недавно при земляных работах, проводимых в 130 м к западу от городища. Не исключено, что белокаменному Успенскому собору предшествовала плинфяная постройка.

*

Итак, надо полагать, что Звенигород в тот период своей истории, от которого до нас не дошло письменных свидетельств, представлял собой город-крепость, поставленный, вероятнее всего, как и Москва, в середине XII в. Юрием Долгоруким на юго-западных рубежах Владимиро-Суздальского княжества. Об этом свидетельствуют те междукняжеские границы середины XII — начала XIII вв. в бассейне Москворечья, которые удается наметить по скудным летописным свидетельствам. В бассейне р. Москвы в то время стремились утвердиться могущественные соседние княжества, такие как Владимиро-Суздальское, Черниговское, Рязанское, Смоленское. И все московские города, в том числе и Звенигород, ставились князьями этих княжеств с тем, чтобы укрепить свои окраины. Но это касается все же скорее внутриполитического состояния Древней Руси. Многие вопросы внутригородской истории остались за пределами интересов летописцев. Пока в ней еще много «белых пятен». Ликвидации их и способствуют археологические исследования древнего Звенигорода.

⁹ Юшко А. А. — Сов. археол., 1981, № 1, с. 311.

Молекулярная онкология

Ф. Л. Киселев



Федор Львович Киселев, доктор биологических наук, профессор, руководитель лаборатории молекулярной биологии вирусов Научно-исследовательского института канцерогенеза Всесоюзного онкологического научного центра АМН СССР. Занимается изучением молекулярных механизмов канцерогенеза на модели РНК-содержащих онкогенных вирусов.

Рак остается одной из наиболее актуальных проблем в современной биологии и медицине. Наступление на эту болезнь в последнее время развернулось широким фронтом: здесь и новые методы диагностики (прежде всего ранней), и новые химиотерапевтические средства, и усовершенствованные методы хирургического или радиологического вмешательства, а также изучение эпидемиологии этого заболевания и исследование причин его возникновения. Но, несмотря на большие успехи в клинической и экспериментальной онкологии, главный вопрос, а именно механизм превращения нормальной клетки в опухолевую, до сих пор не ясен. В связи с этим особого интереса заслуживают принципиально новые данные, полученные за последние пять лет в области экспериментальной онкологии, значительно расширившие наши представления о молекулярных процессах, происходящих в опухолевой клетке.

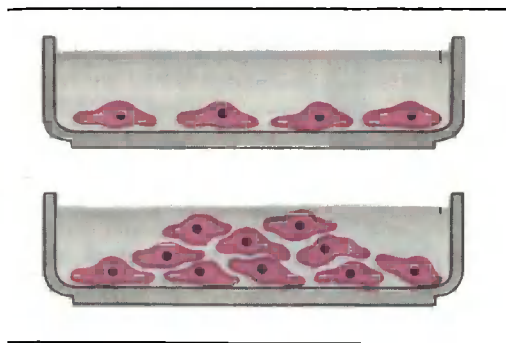
Сегодня уже получены убедительные доказательства молекулярно-генетической природы рака, или, говоря иначе, твердо установлено, что рак возникает в результате нарушения регуляции работы отдельных клеточных генов. Онкология шла к этому выводу долгим и сложным путем, и сама история экспериментальной онко-

логии — яркий пример того, как в процессе изучения с разных точек зрения и различных позиций (в ряде случаев прямо противоположных) выкристаллизовалась единая концепция о природе рака.

Чем же отличаются нормальные клетки от опухолевых? Любая нормальная клетка имеет ограниченный срок жизни, т. е. делится строго определенное количество раз. По-видимому, при контакте клеток друг с другом остановка их дальнейшего размножения происходит за счет какого-то сигнала, который и выключает работу генов, ответственных за этот процесс. Нормальные клетки, культивируемые вне организма, способны лишь к ограниченному количеству генераций. Злокачественные же клетки — бессмертны, т. е. их размножение не регулируется. Причем этот ступенчатый процесс, начиная от сигнала взаимодействия клеток друг с другом до выключения работы генов, регулирующих деление клеток, нарушается либо целиком, либо на каком-то из этапов. В результате такого нерегулируемого роста клеток и образуется опухоль. И второе важное отличие опухолевой клетки от нормальной — это образование вторичных очагов поражения, так называемых метастазов.

Следовательно, говоря о раке, мы должны реально представлять себе, что

ходе онкогенеза в результате сложных биологических процессов происходит преобразование одной (или нескольких) нормальных клеток в опухолевую, последующая селекция этих клеток и их размножение, рост опухоли и специфическое распространение их по организму. При этом для каждого больного характерно свое течение болезни, свой иммунологический и гормональный статус, что существенно влияет на течение заболевания в целом и на отдельные его этапы.



Нормальные клетки в культуре образуют в стандартных условиях монослой (вверху). Опухолевые клетки в тех же условиях образуют много слоев, которые называются фокусом трансформированных клеток.

Таким образом, очевидно, что существуют первичные этапы, без которых развитие рака как болезни невозможно, вторичные, которые могут либо способствовать, либо, наоборот, приостанавливать развитие опухоли. Естественно, что для понимания этиологии заболевания прежде всего необходимо выяснить причины преобразования нормальной клетки в опухолевую. На этот счет в свое время было выказано несколько теорий, среди которых наиболее известны четыре: полиэтиологическая теория Н. Н. Петрова, мутагенная теория, канцерогенная теория, последовательным сторонником которой был И. М. Шабад, и вирусно-генетическая концепция Л. А. Зильбера. Кратко характеризуя каждую из них и оценивая их с пози-

ций современных знаний, хотелось бы подчеркнуть следующее. Н. Н. Петров считал, что рак может вызываться многими как внешними, так и внутренними факторами. Сторонники канцерогенной теории полагали, что причиной развития опухоли могут быть только определенные химические и физические факторы — канцерогены, отрицая при этом роль вирусов. Представители мутагенной теории придавали особое значение в канцерогенезе мутациям. Однако эта теория носила наиболее абстрактный характер, поскольку изучение мутации в опухолевых клетках в те годы было практически невозможно. Наиболее яркая из этих гипотез, вирусно-генетическая концепция Л. А. Зильбера, объясняла появление опухолей встраиванием вирусного генома в клеточный. Именно Л. А. Зильбер первый предположил, что основное отличие опухолевой клетки от нормальной состоит в наследственном изменении генетического аппарата клетки в результате включения вирусной нуклеиновой кислоты в клеточный геном¹.

Первые экспериментальные доказательства справедливости вирусно-генетической концепции были получены американским вирусологом Р. Дульбекко на модели мелких ДНК-содержащих вирусов SV-40 и полиомы. В дальнейшем возможность встраивания вирусного генома в ДНК клетки была продемонстрирована и для других групп ДНК-содержащих вирусов. После открытия в 1970 г. обратной транскриптазы Г. Темин и Д. Балтимором такой механизм вирусного канцерогенеза был доказан и для РНК-содержащих вирусов (названных онковирусами, или ретровирусами). За это открытие в 1975 г. все трое американских ученых были удостоены Нобелевской премии².

Именно изучение онковирусов значительно способствовало пониманию молекулярных механизмов канцерогенеза. Эти вирусы можно разделить на две большие группы. Первая — лейкозные вирусы, вызывающие заболевание у чувствительных животных, а также заражающие клетки, формирование активной РНК, содержатся именно в LTR.

Более того, оказалось, что LTR могут активировать не только вирусные, но и клеточные гены. Это значит, что геном онковирусов, встроенный в геном клетки хозяина, не только функционирует сам,

¹ Зильбер Л. А. Вирусно-генетическая теория происхождения опухолей. М., 1968.

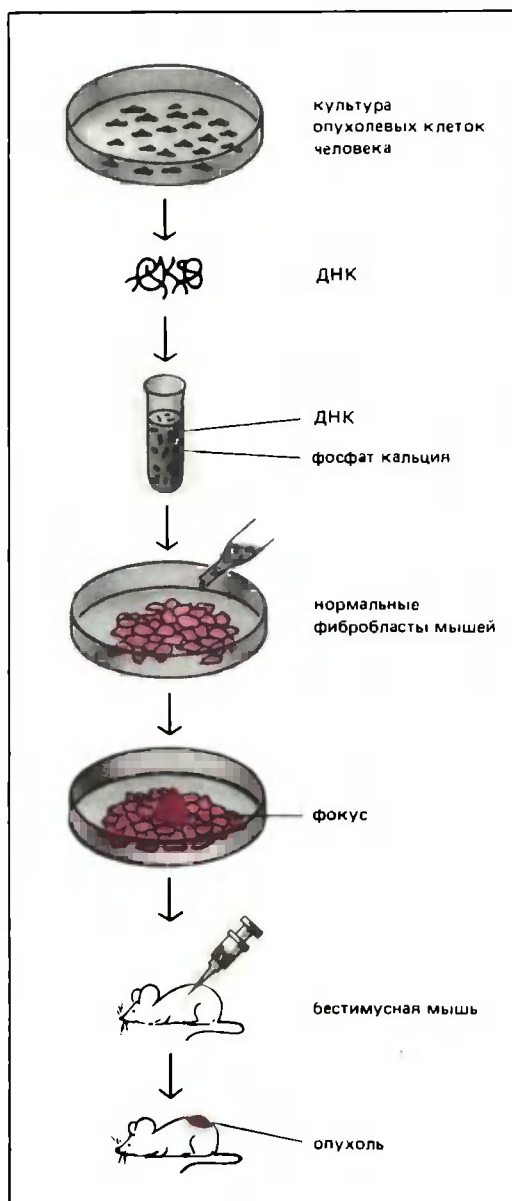
² Лауреаты Нобелевской премии 1975 г.— Природа, 1975, № 12, с. 111.

культивируемые вне организма, но не приводящие к фенотипическим изменениям. Вторая — саркомные вирусы, которые вызывают опухоли у животных, а при заражении определенных культур клеток — их морфологическую трансформацию. По своему биологическому действию к вирусам второй группы можно отнести и так называемые вирусы «острых» лейкозов, которые вызывают как опухоли, так и быстро протекающие лейкозы у многих видов животных.

Причина трансформации клеток саркомными вирусами в культуре ткани была найдена сравнительно быстро. Сначала в геноме вируса саркомы Рауса был обнаружен фрагмент генетического материала, ответственный за трансформацию клеток³. Впоследствии сходные фрагменты были найдены во всех без исключения саркомных вирусах и вирусах «острых» лейкозов⁴. Эти фрагменты оказались независимыми вирусными генами (онкогенами), кодирующими синтез собственных белков (онкобелков).

Изучение онкогенов стало возможным только с помощью генноинженерных методов, т. е. после того как были получены копии вирусного генома в виде ДНК и их удалось внедрить в геном бактериальной клетки. В результате удалось установить, что в геноме саркомных вирусов кроме онкогена имеется дополнительный генетический элемент, необходимый для его активного функционирования. Речь идет о так называемых длинных концевых повторах (long terminal repeat, или LTR). Располагаются они на концах вирусного генома и содержат в себе информацию для регуляции активности всех вирусных генов.

Известно, что РНК, считываемая с любого гена, прежде чем выполнить свою основную функцию — направиться в рибосомы и осуществить там синтез соответствующих белков, должна претерпеть ряд существенных структурных изменений, называемых процессингом. За каждый из этапов процессинга отвечает определенный участок нуклеотидной последовательности. Все необходимые сигнальные участки (промотор, иницирующий начало синтеза РНК, усилитель, активирующий этот синтез и ряд других), ответственные за



Выделение биологически активных онкогенов. Из культивируемых *in vitro* опухолевых клеток человека выделяют ДНК, которую смешивают с фосфатом кальция. Смесь наносят на монослой нормальных клеток мышей и инкубируют при 37° в течение 2—3 недель. Если ДНК содержит активный онкоген, среди монослоя клеток появляется очаг многослойного роста. Этот фокус трансформированных клеток отделяют, дополнительно наращивают, и клетки в количестве 1—2 млн вводят бестимусным мышам (у них отсутствуют иммунные реакции). В возникших опухолях определяют активные онкогены.

³ Duesberg P., Vogt P.— Virology, 1973, v. 54, p. 207; Stehelin D., Guntaka R. et al.— J. Mol. Biol., 1976, v. 101, p. 349.

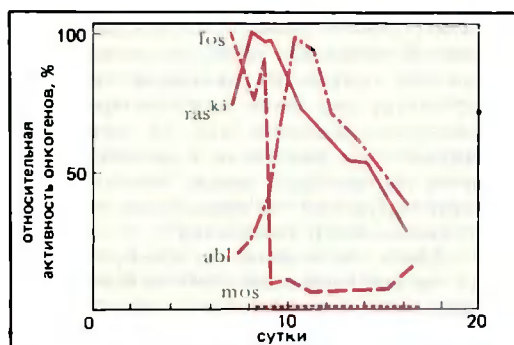
⁴ Подробнее см.: Забаровский Е. В.— Мол. биол., 1985, т. 19, с. 9.

но и активирует работу других клеточных генов, оказавшихся поблизости. Эта ситуация очень напоминает феномен мобильных диспергированных генов, описанных впервые Г. П. Георгиевым с сотрудниками⁵. Очень важным доказательством биологической роли вирусных онкогенов были опыты с внесением «чистых» онкогенов в нормальные клетки. При этом наблюдалась злокачественная трансформация, причем присутствие LTR резко стимулировало этот эффект. Таким образом, разработка основного теоретического положения вирусно-генетической концепции привела к открытию вирусных онкогенов, которые, встраиваясь в геном клетки, вызывают характерные морфологические и биохимические изменения, т. е. злокачественную трансформацию.

На фоне этих блестящих достижений молекулярной онковирусологии выяснился один парадоксальный факт, а именно клеточное происхождение онкогенов⁶. Методами молекулярной гибридизации онкогены были обнаружены в геноме почти всех нормальных клеток животных, начиная от червей и кончая человеком. Они получили название протоонкогенов. Сегодня известно около 20 вирусных онкогенов, столько же их аналогов присутствует и в нормальных клетках. Но тогда возникает законный вопрос: как же так — онкоген, который попадает в клетку с вирусом и может превратить ее в раковую, существует и в геноме нормальной клетки, причем не один, а около двух десятков, и при этом клетки не трансформируются? Зачем эти гены нормальным клеткам? Что с ними происходит в процессе превращения клетки в раковую?

Выяснилось, что протоонкогены, по-видимому, выполняют двойную функцию. С одной стороны, они могут функционировать как нормальные клеточные гены, работающие на определенных этапах эмбриогенеза и дифференцировки. Убедительные доказательства этого получены при изучении эмбриогенеза у мышей⁷. С другой стороны, оказалось, что в опухолевых клетках клеточные протоонкогены становятся активными онкогенами.

Чем же отличаются свойства трех групп онкогенов — вирусных, протоонкогенов (из нормальных клеток) и активных клеточных онкогенов (из опухолевых клеток)? Имеются определенные различия, которые касаются как структуры онкогенов, так и их функциональных характеристик. Во-первых, онкогены нормальных и опухолевых клеток отличаются от вирусных онкогенов значительно более сложной структурой, которая характерна для всех генов эукариот. В результате работы



Активность четырех различных протоонкогенов на разных стадиях эмбриогенеза мышей. Онкоген *mos* «молчит» на всех стадиях эмбриогенеза. Онкоген *fos* активно работает до 8-го дня эмбриогенеза, а затем его активность резко падает. Активность двух других онкогенов *abl* и *ras* сходна в том, что к середине беременности она увеличивается (с разницей в 2—3 дня), а к концу беременности уменьшается в 2 раза.

сложного механизма на клеточных онкогенах образуется РНК, структура которой сходна, но не идентична РНК, формирующейся на вирусном онкогене. А значит, и белковые продукты этих онкогенов — онкобелки — также могут несколько различаться между собой. Во-вторых, вирусный онкоген, попавший в чувствительные клетки, ведет себя как высокоактивный ген, индуцируя синтез сотен и тысяч молекул РНК и соответственно большого количества онкобелка; протоонкогены же либо «молчат», либо работают слабо (синтезируется 20—30 молекул РНК на клетку). Активные клеточные онкогены занимают некое среднее положение по этому критерию (по количеству синтезируемой РНК и онкобелка) — количество копий РНК и соответственно белка, специ-

⁵ См. об этом, напр.: Евгеньев М. Б. Гены, не знающие своего места. — Природа, 1984, № 2, с. 72.

⁶ Альштейн А. Д. — Ж. Всес. хим. об-ва им. Менделеева, 1973, т. 18, с. 630; Vogt P. — J. Nat. Cancer Inst., 1972, v. 48, p. 3.

⁷ Müller R., Slamon D. et al. — Nature, 1982, v. 289, p. 640.

фичных для онкогена, возрастает в опухолевых клетках в несколько раз, но не достигает активности вирусных онкогенов⁸.

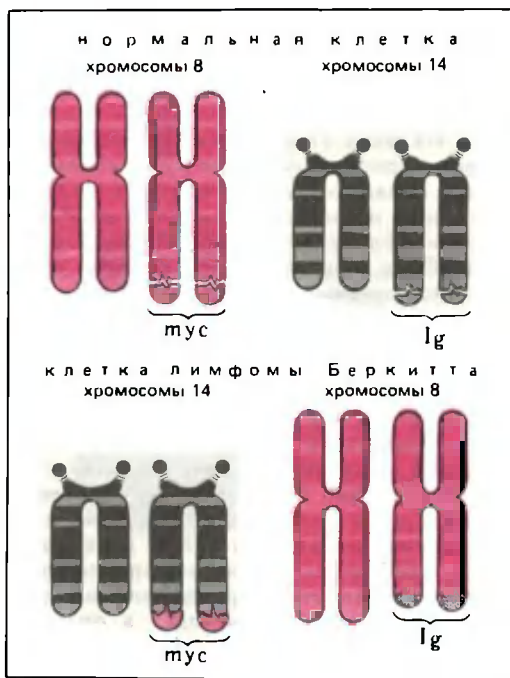
Основные и принципиальные различия между протоонкогенами и онкогенами из опухолевых клеток были обнаружены с помощью биологических тестов. Используя метод переноса ДНК (или фрагментов ДНК) из нормальных или опухолевых клеток, содержащих определенные онкогены, в чувствительные клетки (так называемый метод трансформации), было показано, что ДНК (или онкогены) из опухолевых клеток способны к трансформации, а ДНК из нормальных клеток такой способностью не обладает. С помощью ДНК, выделенной из различных опухолей человека, в большинстве случаев были идентифицированы и трансформирующие гены из клеток этих опухолей. Ими оказались онкогены из семейства *ras*, которые имели несколько отличную структуру по сравнению с протоонкогенами этого семейства⁹.

Здесь, по-видимому, следует отметить, что активные *ras*-онкогены были обнаружены в самых различных опухолях, но проявляли свою активность *in vitro* лишь на одном определенном типе клеток. Что это может означать? Несомненно, что этот онкоген участвует в трансформации реципиентных клеток, но какой это онкоген? Может быть, это *ras* из вносимой опухолевой ДНК человека, или это онкоген реципиентной клетки, который активируется в результате внесения этой ДНК? А может быть, сами культивируемые клетки таковы, что способствуют активации своего гена после заражения, а в первичных опухолевых клетках работает какой-то другой онкоген? Пока прямых ответов на этот вопрос нет.

На основании полученных данных можно было предполагать, что в процессе превращения нормальной клетки в опухолевую с протоонкогенами должны происходить какие-то изменения, приводящие к их активации.

Эти изменения в структуре протоонкогенов могут быть вызваны различными причинами. Во-первых, присоединением к протоонкогену вирусного LTR. Это достаточно четко продемонстрировано для лимфом цыплят, индуцируемых вирусом лейкоза птиц. LTR этого вируса внедряется в геном клетки рядом с клеточным онкоге-

ном *myc* и вызывает его активацию, т. е. синтез РНК. Во-вторых, возможными мутациями в структурной части онкогена. Так, хорошо известна мутация в 12-м положении белка *p21* (продукт онкогена *gas*), приводящая к замене одной аминокислоты на другую (лейцина на валин) и развитию у человека карциномы мочевого пузыря. В-третьих, появлением хромосомных aberrаций. Типичный тому пример — лимфома Беркитта у человека, возникающая в результате переноса участка хромосомы



Хромосомные перестройки в клетках лимфомы Беркитта. В перестройке участвуют хромосомы 8 и 14. На концах длинных плеч хромосом из нормальных клеток локализованы соответственно онкоген *myc* и гены тяжелых цепей иммуноглобулинов (*Ig*) со своим промотором. В клетках лимфомы Беркитта концевые участки длинных хромосом 8 и 14 меняются местами.

8, содержащей онкоген *myc*, на хромосому 14 рядом с промотором иммуноглобулинов. Это нарушение приводит к активации еще одного клеточного гена *Blum* и, в конечном итоге, к развитию опухоли. В-четвертых, увеличением числа копий онкогена, так называемой амплификацией. Такие слу-

⁸ Подробнее см.: Киселев Ф. Л.— Генетика, 1985, т. 21, с. 780.

⁹ Weinberg R.— Cell, 1982, v. 30, p. 3.

чаи описаны для некоторых заболеваний человека (например, амплификация гена N-мус при злокачественной нейробластоме). В-пятых, структурными перестройками внутри онкогена, описанными в некоторых опухолевых клеточных линиях.

Итак, различные изменения в протоонкогенах существенно влияют на их функциональную активность. Но являются ли эти изменения действительной причиной развития опухоли, или же они, напротив, следствие патологического процесса? Сегодня имеются все основания (в первую очередь, все показатели биологической активности некоторых онкогенов) считать модификацию структуры онкогена одной из главных причин злокачественного перерождения клеток, но причиной не единственной. И обусловлено это тем, что трансформирующий потенциал онкогенов должен проявляться через их продукты — онкобелки.

Сейчас уже нет сомнений в том, что онкобелки, действительно, поддерживают измененный фенотип опухолевых клеток, культивируемых вне организма. Но при этом каждый онкоген, а соответственно и онкобелок, осуществляет это своим путем. Онкоген синтезирует свой белок, который располагается в определенных участках клетки. Различные онкобелки можно найти почти во всех структурных элементах клетки, начиная от ядра и кончая оболочкой, а некоторые из них даже секретируются клеткой. Так, продукт онкогена *erb* сходен с рецептором одного из факторов роста и «сидит», как и положено рецептору, на поверхности клетки. Продукт онкогена *sis* идентичен тромбоцитарному фактору роста и секретируется клеткой. Продукты онкогенов типа *src* обладают фосфопроteinкиназной активностью и фосфорилируют ряд клеточных белков, участвующих в межклеточном взаимодействии, и поэтому, видимо, предпочитают клеточные мембраны. Продукты онкогена *mos* распределены по всей цитоплазме, а онкобелок гена *ras*, обладающий АТФ-азной активностью, связан с мембранной фракцией клеток. И, наконец, имеется группа онкогенов (такие как *myb*, *myc* и *fos*), продукты которых ассоциированы с клеточным ядром.

Здесь невольно возникает вопрос: все ли онкогены необходимы для злокачественного перерождения клеток? Поскольку фенотипические проявления трансформации для разных типов клеток различны, можно предполагать, что в этом процессе для какого-то определенного ти-

па клеток участвуют лишь несколько онкогенов и в различных сочетаниях. Не исключено, что клеточные онкогены, иницирующие трансформацию, локализованы в ядре. Так, показано, что продукт онкогена *myb* (белок с молекулярной массой 110 тыс. Д) взаимодействует с клеточной ДНК, в результате чего клетки, сохраняя нормальный фенотип и способность к однослойному росту, приобретают свойство неограниченно размножаться. Эти клетки — именуемые иммортализованными (бессмертными) — могут затем под действием других онкогенов превратиться в злокачественные клетки. Таким образом, возникла идея многоэтапности канцерогенеза на генетическом уровне, что прекрасно согласуется с многоэтапностью на клеточном уровне.

Исходя из этих данных, можно предположить, что один из первых этапов злокачественной трансформации связан с повышенной активностью генов-иммортализаторов. К таким генам относятся онкогены типа *myb*. Сейчас известно, что этот ген участвует в пролиферации нормальных клеток, но в этом случае он «включается» лишь временно, на определенном этапе жизнедеятельности клеток. А в опухолевых клетках, напротив, этот ген функционирует, по-видимому, постоянно. В свою очередь, постоянная активность гена *myb* может активировать работу и других генов. Уже имеются экспериментальные подтверждения правильности такой схемы последовательного включения онкогенов (например, данные об онкогенах *myb* и *Myb* при лимфомах).

Лавина новой информации о, казалось бы, определяющей роли онкогенов в канцерогенезе подняла ряд принципиальных вопросов об их действительном значении в индукции опухолей. Изучение злокачественной трансформации в культуре клеток подтвердило первостепенную важность онкогенов в этом процессе. Но существует ли разница между опухолевыми клетками в культуре и первичными опухолями, с одной стороны, и первичными опухолями и метастазами — с другой?

Над этой проблемой работают во многих лабораториях мира, в том числе и в лаборатории молекулярной биологии вирусов Научно-исследовательского института канцерогенеза Всесоюзного научного центра АМН СССР. Пока не найден свой специфический ген для опухоли человека определенной локализации. С чем это может быть связано и справедлив ли такой вывод? И да, и нет. И вот почему.

Ведь в большинстве случаев в руки исследователей попадает опухолевый материал после операции, т. е., как правило, на конечных стадиях развития опухоли. А что происходит с онкогенами в начале злокачественного роста, мы не знаем и можем лишь предполагать, что где-то на начальных стадиях развития опухоли работают одни онкогены, затем включаются другие. Несмотря на отсутствие видимой специфичности, тем не менее некоторые онкогены (в частности, *myc*, *ras*, *fos*) активны чаще других в опухолях различной гистологической структуры и локализации. Но причины такой повышенной экспрессии пока неясны. Активность других онкогенов, таких как *mos*, *src*, *frs*, не обнаружена ни в одной из исследованных опухолей человека.

Что касается разницы активности онкогенов первичных опухолей и метастазов, то в нашей лаборатории был установлен один интересный факт: оказалось, что онкоген *sis*, который «молчит» во всех изученных первичных опухолях, активен в 36 % случаев метастазов рака в лимфоузлы. Аналогичная картина наблюдалась и для онкогена *myb*. Эта и другие работы говорят о том, что первичные опухоли и метастазы могут отличаться по активности отдельных генов. С чем это может быть связано — с селекцией определенного клеточного клона в метастазах или с какими-то другими клеточными или генетическими процессами, сказать сейчас трудно.

И еще одно интересное свойство онкогенов, а точнее, их продуктов — онкобелков: определенное родство с факторами роста или их рецепторами. По-видимому, этот факт опять же допускает наличие определенных ассоциативных связей между злокачественным ростом клеток и функциональной активностью определенных онкогенов.

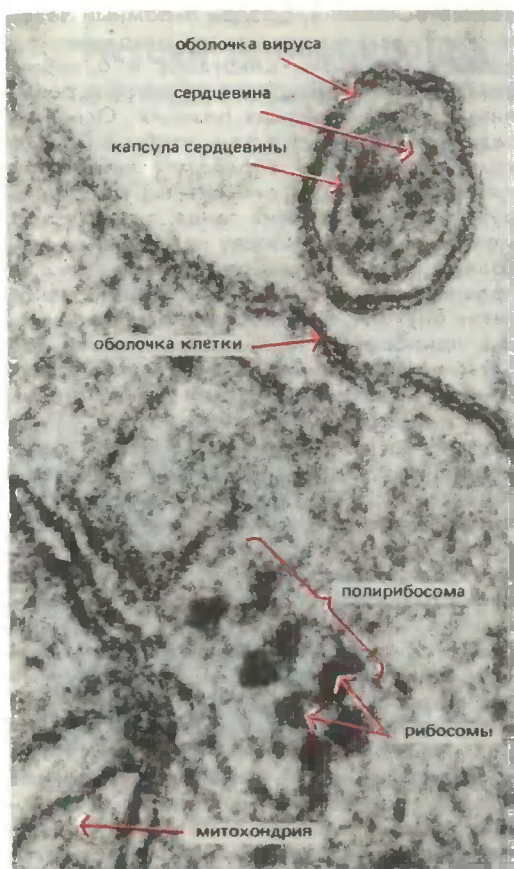
Итак, из сопоставления многочисленных экспериментальных данных о возможной роли онкогенов в развитии опухолей сложилась довольно сложная и мозаичная картина. Очевидно, что процесс превращения нормальной клетки в опухолевую и последующее их неконтролируемое размножение есть процесс многоэтапный. Простейшая система — это клетки, трансформированные саркомными вирусами и культивируемые в виде клеточной культуры, где активности одного вирусного онкогена, по-видимому, достаточно для трансформации клетки. Вероятно, на уровне организма этот процесс существенно сложнее. В этом случае каждая опухоль, или, возможно, небольшая группа опухо-

лей, имеет свою специфическую программу «включения» или «выключения» онкогенов. Это предположение достаточно хорошо соответствует известным биологическим критериям опухолевого роста. Однако все опухоли без исключения объединены одним общим свойством, которое, по-видимому, и является основным, — это способность к неограниченному росту клеток, т. е. к потере контроля над их делением. Несомненно, такой процесс должен контролироваться особой группой белков, работа которых и определяет инициацию опухолевого перерождения. Вероятнее всего, что онкогены каким-то образом вовлекаются в процесс активации клеточных генов, контролирующих клеточное деление, но конкретных механизмов этого явления мы еще не знаем.

И тем не менее значительные успехи экспериментальной онкологии позволили перейти на принципиально новую ступень изучения опухолей человека и привели к возникновению новой науки — молекулярной онкологии. Эти исследования начались всего около 5 лет назад. Однако их прогресс настолько велик, что в ближайшее время можно ожидать получения новой ценнейшей информации, которая приблизит нас к пониманию основ злокачественной трансформации клеток.

До сих пор мы касались в основном вопросов, связанных с раком и возможной ролью онкогенов в этиологии этого заболевания. А каково значение онкогенов в индукции другого неопластического заболевания — лейкозов? Лейкоз — это патологическое нарушение нормальной дифференцировки клеток крови, в результате которого определенный тип кровяных клеток останавливается на одном из этапов своего развития и перестает выполнять необходимые функции. Лейкозы представляют собой другую интересную модель молекулярной онкологии по нескольким причинам. Во-первых, на такой модели можно получать чистые популяции клеток крови различных рядов; во-вторых, можно определять хромосомные нарушения при определенных видах лейкозов и связать их с функциональной активностью онкогенов, локализованных на измененных участках хромосом; в-третьих, изучать активность онкогенов при ремиссиях и в острой фазе заболевания; в-четвертых, изучать работу онкогенов в зависимости от тонкой диагностики лейкозов, разрабатываемых с помощью моноклональных антител.

В настоящее время сведения об активности онкогенов при лейкозах довольно



Микрофотография вируса Т-клеточного лейкоза человека.

противоречивы. Самым интересным событием в этой области стало обнаружение уникального онковируса при сравнительно редком, так называемом Т-клеточном лейкозе. Эта работа была сделана одновременно в двух крупных лабораториях Японии и США. Выделенный вирус, получивший название HTLV (human T — cell leukemia virus — вирус Т-клеточного лейкоза человека), по-видимому, и служит причиной данной формы лейкоза¹⁰. Об этом говорят следующие факты: обязательное присут-

ствие этого вируса у больных Т-клеточным лейкозом; определение в Т-лимфоцитах больных вирусной нуклеиновой кислоты, встроенной в клеточный геном, и отсутствие таковой в клетках доноров и больных другими формами лейкозов; возможность горизонтального переноса вируса, т. е. наличие в крови людей, контактирующих с больным, антител к вирусу; возможность трансформации Т-лимфоцитов этим вирусом; эндемичность заболевания (оно распространено в странах Карибского бассейна и на юго-восточных островах Японии, а в последнее время появились сообщения о распространении такого вируса среди африканского населения). Вирус этот размножается только в Т- и В-лимфоцитах. Источником его, по-видимому, служат индонезийские макаки¹¹. Интересно, что сходный вирус был выделен Б. А. Лапиным с сотрудниками у обезьян колонии Сухумского института экспериментальной патологии и терапии. Это заболевание хорошо воспроизводится у обезьян, и на нем, как на удобной модели, можно изучать прогрессию лимфом.

Другая особенность вируса Т-клеточного лейкоза — его уникальный спектр патогенного действия. Кроме способности вызывать лейкоз и трансформировать лимфоциты в культуре ткани, этот вирус, по-видимому, нарушает иммунный контроль в организме хозяина. Сходный вирус был выделен также у больных гемофилией, а также различными заболеваниями иммунной системы, в том числе и с приобретенным иммунодефицитным синдромом и лимфоаденопатией. Таким образом, онковирус со сходными свойствами при взаимодействии с одними и теми же лимфоцитами может вызывать два совершенно различных клинических проявления: с одной стороны, лейкоз, а с другой — нарушение иммунного контроля. Какова здесь причина? Может быть, это связано с наличием в геноме дополнительного фрагмента, который отсутствует в стандартных лейкозных вирусах, или с интеграцией вируса в разные хромосомы, или же существует генетическая предрасположенность организма? Ясно одно, и здесь в основе патологии лежат изменения генетического аппарата клеток, возникающих в результате внедрения вирусной нуклеиновой кислоты.

¹⁰ Hiruma Y., Nagata H. et al. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1981, v. 78, p. 6476; Poiesz B., Ruscetti F. et al. — Proc. Nat. Acad. Sci. USA, 1980, v. 77, p. 7415.

¹¹ Подробнее см.: Киселев Ф. Л. — Эксперим. онкология, 1984, т. 6, с. 3; Лапин Б. А. и др. — Вестник АМН СССР, 1973, № 4, с. 10.

Заканчивая статью, вернемся к ее началу: можно ли и как связать теории канцерогенеза, царившие в онкологии в 50—60-х годах, с современными данными, полученными при изучении молекулярных механизмов канцерогенеза? Наверное, в науке найдется мало таких примеров, когда различные концепции слились воедино и дали новую достаточно стройную теорию, как это случилось в данном случае. Сегодня очевидно, что каждая из теорий отражала лишь одну определенную сторону этого сложного процесса, именуемого канцерогенезом. Полиэтиологическая теория сегодня нашла свое подтверждение в том, что в ходе превращения нормальной клетки в опухолевую могут включаться различные онкогены, отличающиеся по своей активности в разных опухолях. Мутагенная теория, несомненно, имеет право на существование, поскольку для активации клеточных протоонкогенов необходима их мутация. Канцерогенная теория оказалась справедливой в отношении реального существования различных экзогенных и эндогенных факторов, активирующих клеточные протоонкогены. И наконец, вирусно-генетическая концепция не только оказалась полностью справедливой для некоторых форм рака, но и привела к открытию онкогенов и формулировок единого положения о роли генетических изменений в опухолевых клетках как основной причине возникновения рака. Сегодня мы можем говорить о создании новой молекулярной теории происхождения опухолей, согласно которой рак — это болезнь регуляции отдельных генов, т. е. относится к числу так называемых молекулярно-генетических болезней.

В чем же значение этих достижений в практическом аспекте? Прежде всего в необходимости смещения акцентов в понимании природы рака и, соответственно, возможных путей борьбы с ним. Ни в коей мере не принижая старых классических методов лечения опухолевых заболеваний и ранней диагностики рака, нужно реально представлять себе, что возникновение опухоли связано с регуляцией работы отдельных клеточных, в ряде случаев и вирусных генов. Это, естественно, осложняет всю проблему в целом. Ведь мы очень мало знаем вообще о регуляции активности генов, а здесь необходимо искать какие-то селективные методы, позволяющие «выключать» гены, участвующие в многоэтапном процессе канцерогенеза. Конечно же, задача очень сложная. Но надо быть оптимистом, и для этого есть достаточно

веские основания. Создан огромный задел и в теоретическом, и в методическом аспекте (открытие онкогенов и онкобелков), который позволяет подойти к решению вопроса с разных позиций. Основная задача заключается в том, чтобы выяснить, когда включаются в работу онкогены и какие другие гены они активируют, обнаружить продукты этих генов, выявить возможные различия между первичными опухолями и метастазами, проследить за превращениями онкогенов в процессе развития опухоли. В этом плане особое значение приобретают адекватные модели для изучения молекулярно-генетических особенностей, характерных для разных стадий онкогенеза.

И хотя мы с очень большой осторожностью говорим о возможности использования последних достижений в экспериментальной онкологии, можно гораздо с большим оптимизмом оценивать эти данные для диагностики опухолей и определении различных форм рака. Немного фантазируя, можно ожидать, что в будущем придется говорить о молекулярной эпидемиологии рака, когда, наконец, будут идентифицированы гены, непосредственно вовлеченные в процесс превращения нормальной клетки в злокачественную. И это не абстрактные мечты, а вполне реальные перспективы. Можно надеяться, что прогресс в молекулярной онкологии в сочетании с другими подходами приведет человечество к победе над раком.

Истоки эволюционной экологии: конкуренция, естественный отбор и видообразование

Я. М. Галл



Яков Михайлович Галл, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник Ленинградского отдела Института истории естествознания и техники АН СССР. Основные научные интересы связаны с изучением истории и методологии эволюционной теории и общей биологии. Монография: Борьба за существование как фактор эволюции. Л., 1976.

Теория эволюции и экология всегда испытывали взаимное влияние. И тем не менее эволюционное значение экологии, ее непосредственная связь с видообразованием стала общепризнанной сравнительно недавно. С чем это могло быть связано? Ведь экологические идеи имеют очень давнюю историю, они постоянно развивались и совершенствовались. Хорошо известно, что 20—30-е годы нашего столетия были «золотым веком» теоретической и экспериментальной экологии популяций. Но чем можно объяснить, что полевые экологи и эволюционисты еще в начале 40-х годов пренебрегали их достижениями? Почему в целом ряде исторических работ утверждается, что экология составляет важнейшую основу синтетической теории эволюции, а теоретик современного дарвинизма Э. Майр даже не упоминает экологию в числе наук, принявших участие в создании этой теории?

Попробуем разобраться в конкретных исторических путях и способах взаимодействия экологии и эволюционного учения на примере экологических аспектов видообразования.

ГЕОГРАФИЧЕСКАЯ ИЗОЛЯЦИЯ — ГЛАВНАЯ ПРИЧИНА ОБРАЗОВАНИЯ НОВЫХ ВИДОВ?

Вплоть до 30—40-х годов нашего века в образовании видов признавалась ведущая роль абиотических факторов (факторов неживой природы), т. е. господствовала аутоэкологическая концепция. Образование видов рассматривалось, как результат адаптации близкородственных популяций к разным условиям среды обитания при их географической изоляции: в результате длительного пространственного обособления популяции приобретали морфологические и физиологические отличия, которые препятствовали их скрещиванию; каждая такая популяция, в конце концов, становилась новым видом.

Те сложные отношения, в которые вступают между собой организмы одного и того же вида или разных видов одного сообщества, т. е. биотические факторы, почти никак не связывались с видообразованием. Сейчас это кажется невероятным: ведь еще Ч. Дарвином был собран разнообразный фактический материал, ил-

люстрирующий ведущую роль биотических факторов в распространении видов. По мнению Дарвина, только в районах Крайнего Севера и пустынях, с их однообразными экстремальными условиями, роль абиотических факторов возрастает¹.

Как фактору естественного отбора, особое значение он придавал конкуренции и во многом основывал свои взгляды на исследованиях фауны и флоры Галапагосских о-вов. Эндемичность растений и животных отдельных островов, как считал Дарвин, нельзя объяснить абиотическими факторами, поскольку острова расположены на одной высоте, сходны по геологическому происхождению и климат их одинаков. «Для меня это долго оставалось большим затруднением, но оно объяснялось главным образом прочно укоренившимся заблуждением считать физические условия за наиболее важные, тогда как нельзя и спорить, что характер одних видов, с которыми другим приходится конкурировать, по крайней мере, столь же важен и обычно еще более важен для успеха... когда в прежние времена переселенец попадал сначала на один из островов и затем расселялся с одного на другой, он, конечно, попадал на разных островах в разные условия, так как должен был конкурировать с различными группами организмов... Если бы он начал здесь изменяться, то естественный отбор, вероятно, начал бы благоприятствовать на разных островах разным разновидностям»².

Следовательно, борьбу за существование в форме конкуренции Дарвин считал не менее важной, чем приспособление к абиотическим факторам. «Что климат действует, главным образом, косвенно..., мы ясно видим из того громадного числа растений, которые превосходно выносят климат в наших садах, но которые никогда не натурализуются, так как не могут конкурировать с нашими местными растениями или противостоять нашим местным животным»³.

Однако точка зрения Дарвина на роль биотических факторов в эволюции и распространении видов не была воспринята ни его современниками, ни первыми последователями; натуралисты продолжали изучать интенсивность действия абиотических факторов в качестве причины изменчивости и видообразования.

На рубеже XIX—XX вв. возникло новое экологическое направление — синэкология, в котором исследовалось взаимодействие организмов. Казалось бы, возродился дарвинский подход к экологии; на самом же деле, именно синэкология наиболее сильно противостояла дарвинизму, поскольку в ней сообщество растений и животных представлялось как нечто целое, неделимое, в ней господствовали идеи гармонии и баланса природы, даже представления о конкуренции увязывались с трактовкой сообщества как сверхорганизма.

Дарвинская идея о взаимодействии процессов, ведущих к естественному отбору, оставалась лишь гипотезой, так как не было прямых доказательств эволюционной роли борьбы за существование.

Систематическое и углубленное изучение борьбы за существование экспериментальными и математическими методами началось в 20—30-е годы в СССР, Великобритании, США, Италии и Франции. Эти же годы ознаменовались бурным расцветом эволюционного учения: классический дарвинизм и генетика, с ее точным экспериментальным подходом, объединились, подняв эволюционное учение на более высокую ступень. Но экология приобрела большое значение для изучения эволюции значительно позже — в 40-х годах, хотя первые доказательства их непосредственной связи дал еще в начале 30-х годов наш соотечественник микробиолог Георгий Францевич Гаузе.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ДОКАЗАТЕЛЬСТВА МЕЖВИДОВОЙ КОНКУРЕНЦИИ

К началу 30-х годов уже было выведено логистическое уравнение популяционного роста; на основе динамики численности взаимодействующих популяций с помощью кинетических дифференциальных уравнений описаны межвидовая конкуренция, хищничество и паразитизм; было установлено, что скорость роста численности видов линейно зависит от их плотности. На основании теоретического анализа исследователи пришли к выводу, что два вида, конкурирующие за общий пищевой ресурс, не могут длительное время сосуществовать.

Однако до 1932 г. математическое моделирование межвидовых отношений еще не сочеталось с экспериментальными исследованиями. «К сожалению, очень часто актуальные проблемы борьбы за су-

¹ Дарвин Ч. Соч., т. 3. М., 1939, с. 320.

² Там же, с. 599.

³ Там же, с. 320.

ществование и естественного отбора весьма пространно обсуждаются «за письменным столом», и не делается никаких усилий по экспериментальному изучению этих вопросов⁴. Начиная с 1931 г. в лаборатории экологии Московского государственного университета, которой руководил В. В. Алпатов, Г. Ф. Гаузе начал разработку проблем эволюционной теории с широким применением экспериментальных популяций микроорганизмов. Г. Ф. Гаузе считал, что популяции микроскопических организмов представляют особый интерес, так как позволяют в очень короткий срок и с затратой минимальных средств получить результаты по важнейшим разделам эволюционной теории.

Первые опыты были выполнены им на двух видах дрожжей — *Saccharomyces cerevisiae* и *Schizosaccharomyces kephir*, которые выращивались в анаэробных и аэробных условиях. Рост изолированных культур на одинаковой питательной среде хорошо описывался, как и предсказывало логистическое уравнение, S-образной кривой, но в анаэробных условиях и тот и другой вид дрожжей через некоторое время переставали расти, хотя в культуральной жидкости еще оставались запасы пищи. Оказалось, что причина этого — накопление метаболитов (этилового спирта и близких к нему соединений), которые и ограничивали рост клеток. Кроме того, выяснилось, что в смешанной культуре рост обоих видов дрожжей намного ниже, чем в изолированных культурах. Это, по мнению Г. Ф. Гаузе, свидетельствовало об интенсивной межвидовой конкуренции за пищу.

Затем выяснилось, что в смешанной культуре, как и в чистой, на рост клеток подавляюще действуют метаболиты. Но в этом случае метаболиты конкурента оказывались в три раза токсичнее продуктов своего вида. И тем не менее в смешанной культуре один вид дрожжей не вытеснялся другим, хотя за счет взаимного ингибирования рост дрожжевых клеток и подавлялся. Таким образом, механизм конкуренции между двумя видами дрожжей оказался более сложным, чем предсказывали теоретические расчеты.

В других опытах Г. Ф. Гаузе использовал простейших — инфузорий: *Paramecium aurelia*, *P. caudatum*, *P. bursaria*. Вначале был изучен рост каждого вида в чистой культуре, вычислены коэффициенты



Георгий Францевич Гаузе.

размножения, внутривидовой конкуренции, максимальная численность популяции в определенном объеме среды обитания. Затем создавались смешанные культуры из двух видов, в которых был определен коэффициент межвидовой конкуренции и выяснены причины протекающих процессов. В этих исследованиях небольшая часть популяции ежедневно изымалась при помощи платиновой петли, и, следовательно, искусственная смертность приближала ситуацию к естественным условиям, в которых часть организмов всегда погибает. С помощью такого приема Г. Ф. Гаузе удалось создать популяционное равновесие в более короткий срок.

Конкуренция между *P. aurelia* и *P. caudatum*, питающимися одним видом дрожжей и обитающих в одном пространстве, всегда заканчивалась вытеснением одного из видов. Чаще всего *P. aurelia* вытесняла *P. caudatum*, но если изымались продукты жизнедеятельности, т. е. культуральную жидкость заменяли новой порцией питательной среды, развивались противоположные события: *P. caudatum* подавляла рост конкурента. Из этих экспериментов стало

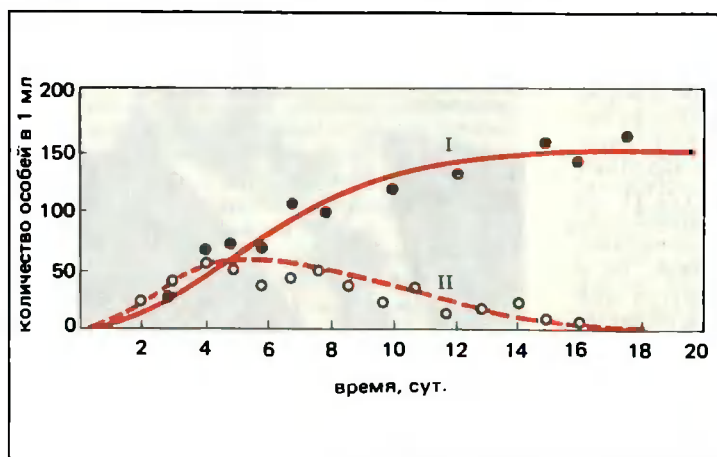
⁴ Экология и эволюционная теория. Л., 1984, с. 5.

ясно, что *P. caudatum* более чувствительна к метаболитам другого вида, чем *P. aurelia*; из них же следовало, что изменения в среде могут менять направление конкуренции. Это было важным и новым выводом, поскольку теоретические расчеты обычно основывались на учете исходных биологических свойств взаимодействующих видов.

Совсем по-иному складывались конкурентные отношения между *P. aurelia* и *P. bursaria*. Хотя и в этих опытах инфузории конкурировали за пищу и пространство, ни один из видов не исчезал, оба могли

обитать в верхней части пробирки, где его было вполне достаточно. Следовательно, каждый вид существовал в своей собственной зоне, но выживание одного из них обеспечивалось симбиозом с водорослью.

Г. Ф. Гаузе на основании своих экспериментов дал определение экологической ниши, в котором объединил положение вида в пространстве и функциональную роль в сообществе. Эксперименты Г. Ф. Гаузе по конкурентному вытеснению видов и составили фактическую основу положения, вошедшего в мировую литературу под



Первое подтверждение межвидовой конкуренции в эксперименте. Два вида инфузорий — *Paramecium aurelia* (I) и *P. caudatum* (II) конкурируют в экспериментальной культуре, более сильный конкурент — *P. aurelia* — вытесняет более слабого — *P. caudatum* — [по Г. Ф. Гаузе, 1934].

сосуществовать неопределенно долгое время. Поскольку пищей для инфузорий в этой серии опытов служил смешанный корм, состоящий из дрожжей и бактерий, причину сосуществования видов можно было усмотреть в их пищевой специализации, которая должна была ослабить интенсивность конкуренции. Действительно, оказалось, что *P. bursaria* обитала в основном на дне пробирки и питалась оседающими дрожжевыми клетками, а *P. aurelia* находилась в верхней части пробирки и питалась преимущественно бактериями. Но и на корме, состоящем из одних только дрожжевых клеток, достигалось равновесие между видами, но при одном условии: если пробирка интенсивно освещалась.

В чем же причина сосуществования видов, конкурирующих за один пищевой ресурс? *P. bursaria*, обитающая на дне пробирки, неминуемо погибла бы не от недостатка пищи, а от недостатка кислорода, но поскольку она существует в симбиозе с водорослью — зоохлореллой — та при ярком освещении снабжала ее кислородом. Более чувствительная к кислороду *P. aurelia*

названием закона Гаузе, или принципа конкурентного исключения: два вида, принадлежащие к одной нише, не могут длительное время сосуществовать. Кроме того, в экспериментах подтвердились предсказания логистической теории популяционного роста, а также математической модели Вольтерры — Лотки.

Эксперименты Г. Ф. Гаузе и по сей день принадлежат к наиболее четким и доказательным в отношении одного из факторов борьбы за существование — конкуренции видов. Исследуя динамику, ритм борьбы и приспособительный характер реагирования видов в процессе борьбы, Г. Ф. Гаузе дал экспериментальное доказательство вытеснения и сосуществования близкородственных видов.

Положение об экологической нише, соединенное с принципом конкурентного исключения, оказалось применимо и для анализа природных популяций. В своей книге «Борьба за существование» (1934) Г. Ф. Гаузе проанализировал большой натуралистический материал и тщательно проработал неопубликованные наблюдения

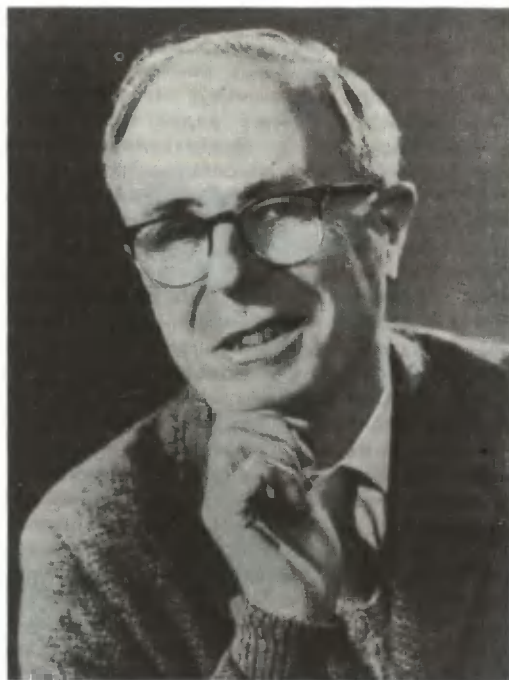
А. Н. Формозова над четырьмя видами крачек, образующих одну колонию⁵. И здесь симпатрическое (на одной территории) сосуществование видов было обусловлено различной у каждого вида пищей, добываемой на разном расстоянии от берега. Следовательно, конкуренция за пищу привела к разделению пространственно-трофических ниш и сделала возможным сосуществование близкородственных видов.

И до экспериментов Г. Ф. Гаузе натуралисты высказывали мысль о конкурентном вытеснении видов, но никому не удавалось доказать это в опытах. Существовало и понятие экологической ниши. Например, Дж. Гриннел считал, что ниша — это место, занимаемое видом в природе, а Ч. Элтон, основоположник учения об экологической нише, характеризовал нишу как трофические связи вида. И тем не менее в своей книге "Animal ecology and evolution" (1930), написанной тремя годами позже того, как он высказал понятие о нише, он совсем не обсуждал эволюционные аспекты теории ниши, мало того, очень редко это понятие упоминал.

ДИЛЕММА ОБ ОБРАЗОВАНИИ ВИДОВ ОБОСТРЕАЕТСЯ

Работы Г. Ф. Гаузе по межвидовой конкуренции, его выводы о необходимости соединить теоретическую, экспериментальную и полевую экологию заложили основу популяционной экологии. Однако это был лишь первый шаг, необходимо было связать популяционно-экологические идеи с учением об естественном отборе и проблемами видообразования. Но в 30-е годы вопросы формирования и дифференциации экологических ниш видов не были предметом обсуждения биологов-эволюционистов и натуралистов.

К этому времени был накоплен огромный материал по образованию географических рас, подвидов и видов. Исследователи стали изучать генетическую природу географической изменчивости, привлекая учения о малых мутациях, генетико-популяционных процессах и естественном



Дэвид Д. Лэк (1910—1973).

отборе. Возникла современная концепция географического, или аллопатрического, видообразования, которая была принята в качестве основного способа увеличения числа видов (во всяком случае, у животных). В это время многим казалось, что идеи конкуренции и экологической ниши полностью противоречат концепции географического видообразования. Даже Э. Майр в 1942 г. полагал, что репродуктивная изоляция и экологические различия между близкородственными видами целиком приобретаются в условиях географической изоляции. «Несколько близких видов могут встречаться в одном и том же ареале, несмотря на то, что их экологические требования, видимо, идентичны»⁶.

О возможном влиянии конкурентов на сдвиг экологической ниши у близкородственных видов в зонах вторичных контактов⁷ не было и речи. Одноступен-

⁵ Gause G. F. The Struggle for Existence. Baltimore, 1934; в серии «Классики науки» (Cambridge University Press): 2nd ed., N. Y.—L., 1964; 3d ed., Dover — N. Y., 1972. Более подробно экспериментальные данные изложены в: Gause G. F. Verification experimentales de la théorie mathématique de la lutte pour la vie. P., 1935.

⁶ Майр Э. Систематика и происхождение видов. М., 1947, с. 381 (пер. с англ. изд. 1942 г.).

⁷ Зоны вторичных контактов, зоны симпатрии, перекрывающиеся ареалы — территории, на которых сосуществуют ранее географически изолированные популяции или виды.

чатая модель видообразования, в которой полностью игнорировались процессы, идущие в зонах вторичных контактов, привела Э. Майра к выводу, что биотопическое распределение видов не связано с адаптациями, а представляет собой «исторические случайности». «Трудно достигнуть обоснованных обобщений относительно экологических изолирующих механизмов»⁸.

Дж. Хаксли был единственным в то время эволюционистом, кто для создания синтетической теории эволюции использовал материалы по экологии популяций и синэкологии⁹. Он показал, что экотипическая дивергенция признаков у насекомых и растений может обуславливаться конкуренцией, что различия в размерах тела млекопитающих могут быть причиной экологической изоляции и что минорные различия в размерах клюва дарвиновых вьюрков связаны с поеданием разных видов насекомых. Следовательно, экотипическая дивергенция у позвоночных животных, скорее, связана с приспособлениями в поведении, чем с адаптациями к местообитанию. Именно поэтому могут, по мнению Дж. Хаксли, значительно перекрываться ареалы близкородственных видов. Но обоснованное Дж. Хаксли симпатрическое образование видов на экологической основе в то время не было поддержано натуралистами.

Итак, в 1942 г. резко обострилась дилемма: географическое видообразование за счет неадаптивных различий между близкородственными видами или экологическое, симпатрическое, видообразование благодаря конкуренции, экологической изоляции и разделению по нишам широко расселенного вида. Разрешить эту дилемму удалось несколькими годами позже.

Особую роль в изучении экологических аспектов вида и видообразования сыграли работы английского орнитолога Дэвида Лэка. Но его путь к эволюционным воззрениям на экологию не был ровным. В 1938—1939 гг. Д. Лэк участвовал в экспедиции на Галапагосские о-ва, где собрал обширную коллекцию вьюрков и поставил эксперименты по скрещиванию видов. На основе экспедиционных материалов и громадных музейных коллекций США (в Сан-Франциско, например, он изучил более 8 тыс. экземпляров) и Велико-

Британские вьюрки, самцы и самки в 2/7 натуральной величины. 14 видов вьюрков, населяющих Галапагосский архипелаг и о. Кокос, приспособлены к разным местам кормления, способам добычи пищи и ее составу за счет различий в размере и форме клюва и тела.

1 — большой земляной вьюрок (*Geospiza magnirostris*), 2 — средний земляной вьюрок (*G. fortis*), 3 — малый земляной вьюрок (*G. fuliginosa*), 4 — остроклювый земляной вьюрок (*G. difficilis*), 5 — кактусовый земляной вьюрок (*G. scandens*), 6 — большой кактусовый земляной вьюрок (*G. conirostris*), 7 — толстоклювый древесный вьюрок (*Camarhynchus crassirostris*), 8 — полугайный древесный вьюрок (*C. psittacula*), 9 — большой древесный вьюрок (*C. pauper*), 10 — малый древесный вьюрок (*C. parvulus*), 11 — дятловый древесный вьюрок (*C. pallidus*), 12 — мангровый древесный вьюрок (*C. heliobates*), 13 — славковый вьюрок (*Certhidea olivacea*), 14 — кокосовый вьюрок (*Pinacoloxia inornata*). Из кн.: Lack D. Darwin's finches. L., 1983.

британии Д. Лэк в 1939—1940 гг. написал книгу о галапагосских вьюрках (опубликована в 1945 г.). Изучив морфологические различия в размере и форме клюва и тела птиц, он построил филогенетическое древо подсемейства вьюрковых Галапагоса, но счел размер клюва за признак, служащий для узнавания особей одного вида при спаривании, т. е. признаком, обеспечивающим репродуктивную изоляцию. Под влиянием Э. Майра и С. Райта, с которыми Д. Лэк встречался во время написания книги, он целиком принял концепцию географического видообразования и признал основное значение «эффекта Райта» (случайного изменения частот генов в популяции, ведущего к формированию адаптивно нейтральных признаков) в дифференциации подвидов и видов.

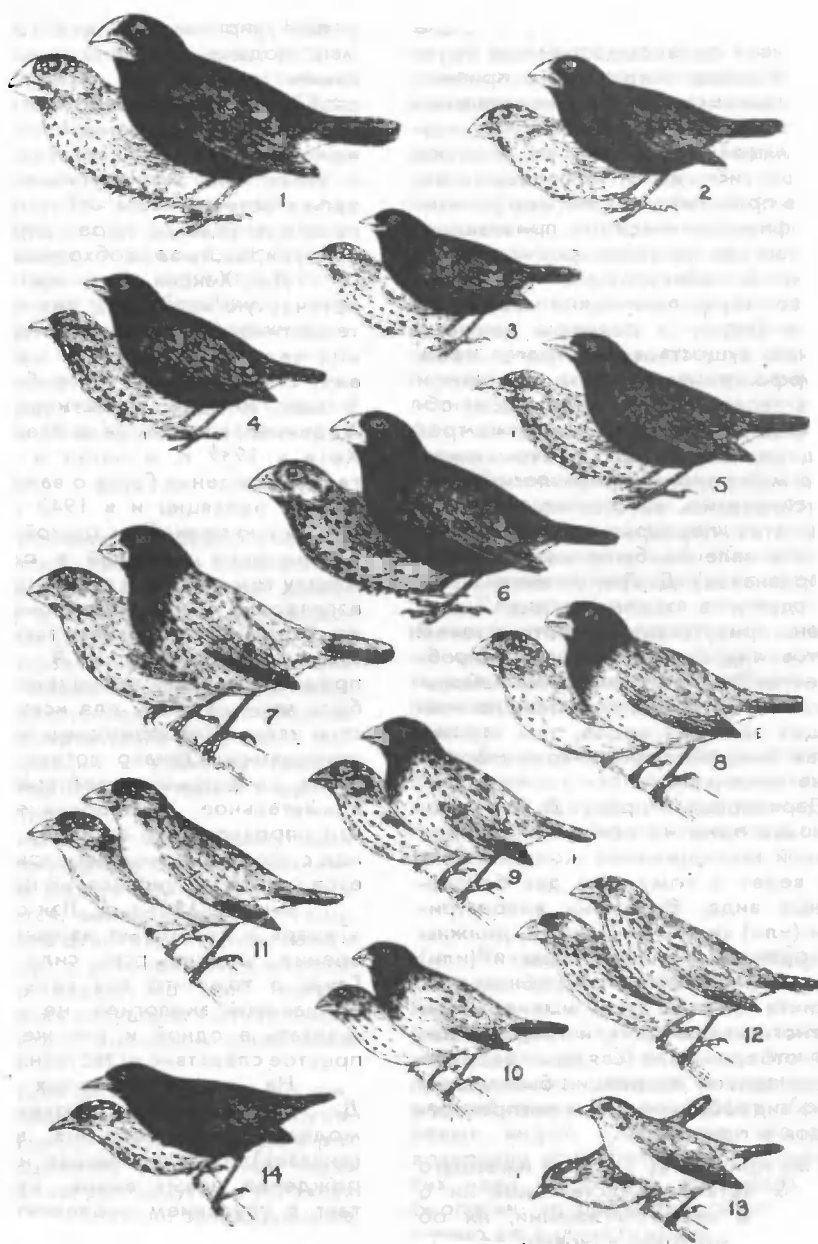
Но уже в книге «Дарвиновы вьюрки» (1947 г.), обратив внимание на экологическую совместимость видов и расширив представления об изолирующих механизмах, Д. Лэк рассматривал размер клюва как специфическую видовую адаптацию к трофической нише¹⁰.

По мнению Д. Лэка, высказанному в этой книге, образование эндемичной группы вьюрков Галапагоса, скорее всего, началось с колонизации одного из островов архипелага несколькими особями, предками земляного вьюрка. Затем вьюрки популяции-основательницы распространи-

⁸ Майр Э. Цит. соч., с. 382.

⁹ Huxley J. Evolution. Modern synthesis. L., 1942.

¹⁰ Lack D. Darwin's finches. Cambridge, 1947.



лись на другие острова, где сформировались новые колонии и за счет пространственной изоляции начались эволюционные изменения, которые, как полагал Д. Лэк, не были крупными в силу экологического сходства островов. На следующем этапе образовавшиеся близкородственные группы заселили новые острова, что привело ко вторичным контактам с первоначальными популяциями. Если бывшие изолированными популяции достаточно различались между собой, гибриды от их скрещивания, обладавшие промежуточными морфологическими и физиологическими признаками, погибали, так как уступали родителским популяциям в конкуренции за пищу. Большинство морфологических изменений затрагивали форму и размеры клюва и тела, причем существовала строгая связь между морфологическими изменениями и сдвигами в экологических нишах. Если области распространения двух или даже трех близкородственных видов перекрывались, различия в морфологии, физиологии и поведении усиливались за счет конкуренции именно в этих перекрывающихся зонах (позднее это явление было названо смещением признаков). Д. Лэк установил также, что сдвиги в экологических нишах обусловлены присутствием или отсутствием конкурентов: вид занимает более разнообразные местообитания при наличии небольшого числа конкурентов; чем больше конкурирующих за пищу видов, тем строже их пищевая специализация и ярче морфологические изменения.

В «Дарвиновых выюрах» Д. Лэк хорошо обосновал один из основных выводов современной эволюционной экологии: конкуренция ведет к тому, что два близкородственных вида, будь они аллопатрическими и (или) симпатрическими, должны занимать различные микросреды и (или) различаться пищевыми потребностями. В этой книге закон Гаузе, или принцип конкурентного исключения, и теория естественного отбора были связаны воедино и с позиции единой концепции был проведен анализ видообразования и распространения видов в природе.

Что же привело Д. Лэка, не имевшего в 30-х годах четких представлений ни о географическом видообразовании, ни об экологической изоляции, к новым воззрениям на вид и видообразование?

Об этом писал сам Д. Лэк в своей автобиографической заметке. «В 1942 г. Майр впервые обосновал аллопатрическое видообразование и его взгляды были приняты. В том же году Хаксли написал, что

различия в размерах между близкородственными видами птиц означают экологическую изоляцию. В 1943 г., когда я пересмысливал эволюцию дарвиновых выюров, я скомбинировал эти точки зрения и постулировал, что два хорошо отличимых подвида с достаточными генетическими различиями, предотвращающими свободное скрещивание, могут сохраняться в том же самом ареале лишь при условии, что они также достаточно отличаются в экологии... Эти различия будут усиливаться естественным отбором до тех пор, пока два вида не перестанут эффективно конкурировать за необходимые ресурсы»¹¹.

Дж. Хаксли лишь постулировал экологическую изоляцию; где же было взять теоретический принцип, который бы объяснил ее формирование и механизм действия? «Человеческий ум работает странно. Я шел к идее экологической изоляции медленно, в самом деле очень мучительно. Хотя в 1939 г. я читал и прямо отвергал утверждение Гаузе о важности экологической изоляции и в 1942 г. я читал, но полностью пренебрег точкой зрения Хаксли на значение различий в размерах тела, между тем обе идеи составили основу моих взглядов. К счастью, я вспомнил о трактовке Гаузе до того, как завершил работу над рукописью»¹². «...Я первоначально предположил, что заключение Гаузе может быть верным лишь для искусственно простых условий лабораторных культур микроорганизмов. Однако логика точки зрения Гаузе, по-видимому, неотвратима, и более внимательное исследование показывает, что опровержение взглядов Гаузе, связанное с экологическим перекрыванием, является только кажущимся, но не реальным»¹³.

В книге 1947 г. Д. Лэк снова отметил: «Теперь я полностью изменил свою точку зрения, оценив всю силу утверждения Гаузе о том, что два вида, обладающие одинаковой экологией, не могут сосуществовать в одной и той же области. Это простое следствие естественного отбора»¹⁴.

На основании своих исследований Д. Лэк предложил четырехступенчатую модель видообразования: вселение вида (инвазия); географическая изоляция и зарождение новых видов; вторичный контакт с усилением изолирующих механиз-

¹¹ Lack D. Ecological isolation in birds. Oxford, 1971, p. 6.

¹² Ibid.

¹³ Lack D.— Ibis, 1944, v. 86, p. 274.

¹⁴ Lack D.— Darwin's finches, p. 87.

мов, дифференциация ниш под воздействием конкуренции и естественного отбора; дальнейшее географическое распространение с повторением ранних стадий.

Следовательно, восприняв вначале идеи Э. Майра об аллопатрическом видообразовании за счет географической изоляции, позже Д. Лэк логично и естественно совместил ее с представлениями Дж. Хаксли и Г. Ф. Гаузе об экологической изоляции. Д. Лэк пришел к выводу, что эволюционные изменения очень часто начинаются в условиях пространственной изоляции популяций, но завершаются после вторичного контакта. Модель Д. Лэка сняла наконец альтернативу: аллопатрическое или симпатрическое видообразование, его модель можно назвать аллопатрически-симпатрическим видообразованием, ступенчатым, или эколого-географическим. Как мы видим, ступенчатая модель видообразования Д. Лэка формировалась ступенчато.

*

Сейчас, понимая под биологическим видом совокупность свободно скрещивающихся популяций, занимающих свою экологическую нишу в природе, процесс видообразования можно рассматривать как возникновение репродуктивных изолирующих механизмов и новых экологических ниш. Виды, за исключением полиплоидных, чаще всего зарождаются в результате дивергенции популяций в условиях географической изоляции, за которой следуют вторичные контакты.

Когда близкородственные популяции оказываются географически изолированными, поток генов между ними уменьшается или прекращается, они приобретают генотипические отличия, которые, накапливаясь, приводят в дальнейшем к возникновению новых видов. Но если географическая изоляция нарушается и популяции приходят в контакт, возможны различные результаты.

Генетическая дифференциация прежде пространственно изолированных популяций может оказаться слабой, и тогда в результате скрещивания образуется одна большая популяция; достигнутые в условиях пространственной изоляции эволюционные изменения становятся полностью обратимыми. Если гибриды от скрещивания будут менее жизнеспособными и приспособленными по сравнению с родительскими популяциями, в ходе естественного отбора гибриды элиминируются и тем самым завершится формирование репродуктив-

ных изолирующих механизмов; возникнут новые виды.

Вторичный контакт популяций вызывает прямой отбор на репродуктивную изоляцию, резко ускоряя темп видообразования, при этом могут возникнуть далеко не равноценные виды за счет того, что скорости экологической и генетической дивергенции могут не совпадать.

Если при вторичном контакте репродуктивно изолированные популяции обладают сходными экологическими требованиями, конкуренция не позволит им сосуществовать на общей территории. Зарождающиеся виды (полувида) географически контактируют, но не скрещиваются, и их ареалы не перекрываются; полувида группируются в надвид. При таком типе распространения видов, получившем название парапатрии, создание специфических экологических ниш как бы не поспевает за формированием репродуктивной изоляции.

Полноценные виды образуются за счет одновременного возникновения репродуктивных изолирующих механизмов и экологических ниш в обширных и стабильных зонах перекрывания ареалов.

Следовательно, в зонах вторичного контакта отбор, действующий против промежуточных (гибридных) форм, может идти как одновременно с отбором на экологическую совместимость, так и с запаздыванием.

Таким образом, формирование репродуктивных изолирующих механизмов и экологических ниш — две одинаково важные стороны единого процесса видообразования.

*

Воззрения на вид и видообразование, как процесс формирования новых экологических ниш, сейчас кажутся сами собой разумеющимися. Трудно даже представить, что почти до 50-х годов нашего века продержалось мнение о главенствующей роли абиотических факторов в образовании новых видов. Появление экологических воззрений потребовало объединения многих идей из далеко отстоящих отраслей биологии, которые представлялись совершенно не совместимыми.

Реликтовое электромагнитное излучение — инструмент исследования Вселенной

П. Д. Насельский



Павел Давидович Насельский, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Научно-исследовательского института физики Ростовского государственного университета им. М. А. Суслова. Область научных интересов — релятивистская астрофизика и космология, физика элементарных частиц. Автор книги (совместно с Л. С. Марочником): *Вселенная вчера, сегодня, завтра*. М.: Знание, сер. «Астрономия и космонавтика», 1983, вып. 8.

Опытные данные, на которых основываются наши знания о свойствах видимой части Вселенной (Метагалактике), — это данные о реликтовых следах, дошедших до нас от ранних стадий ее эволюции. Пока таких следов, поддающихся непосредственному изучению, только два: первичный изотопный состав вещества, «сваренный» в термоядерном котле ранней Вселенной, и фон микроволнового реликтового излучения, однородно и изотропно заполняющий Метагалактику. Исследуя эти «отпечатки» далекого прошлого Вселенной, удается восстановить не только основные закономерности ее эволюции 15 млрд лет назад, но и заглянуть в будущее Метагалактики, которое не менее интересно, чем ее настоящее и прошлое.

Не умаляя всей значимости современных наблюдений оптического, инфракрасного, рентгеновского и гамма-излучений космоса, позволяющих, в частности, судить о химическом составе вещества и характере его распределения в пространстве, следует признать, что наибольший прогресс в изучении основных законов строения и эволюции Вселенной достигнут в настоящее время благодаря теоретическим и экспериментальным исследованиям реликтового электромагнитного излучения. В значительной мере этот прог-

ресс обусловлен резко повысившейся информативностью данных наземных и спутниковых радиотелескопов; они позволяют судить о наличии или отсутствии структурных деталей в распределении микроволнового излучения на небесной сфере с точностью до тысячных долей процента.

Немалую роль в формировании статуса реликтового излучения как инструмента исследования Метагалактики сыграли и наблюдения спектральных искажений микроволнового фона; эти искажения возникают при прохождении реликтовых квантов через скопления галактик, содержащие облака газа, который разогрет до десятков и даже сотен миллионов градусов.

Наконец, говоря о реликтовом электромагнитном излучении, нельзя не отметить достижений современных теорий гравитации и элементарных частиц, сумевших перекинуть мостик между такими, на первый взгляд, далекими друг от друга проблемами, как зарождение и формирование галактик во Вселенной и ее эволюция в будущем.

В этой статье мы сознательно ограничимся лишь космогоническим аспектом проблемы, стремясь подчеркнуть уникальность информации о спектре и характе-

ре распределения микроволнового фона в космическом пространстве для изучения общих законов строения и эволюции Вселенной.

ОТКРЫТИЕ РЕЛИКТОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ, ИЛИ ПЕРВЫЙ ШАГ В ПРОШЛОЕ ВСЕЛЕННОЙ

Впервые с фактом существования микроволнового космического излучения астрономы столкнулись почти сорок лет назад. В 1941 г. У. Адамс и А. Мак-Келлар, исследуя спектры поглощения звезд, обратили внимание, что в спектре молекулярного облака, расположенного на луче зрения между Землей и звездой ζ Змееносца, одна из линий молекул CN расщеплена на три компонента с длинами волн 387,46; 387,58; 387,40 нм. Первую линию удалось объяснить переходами молекул CN из основного в колебательное состояние, однако причины возникновения двух других линий почти двадцать лет оставались невыясненными. Лишь после того, как в 1964 г. А. Пензиас и Р. Вильсон зарегистрировали космический фон микроволнового излучения, стало понятно, что расщепление линий молекул CN возникает в результате их возбуждения квантами микроволнового излучения.

Последовавший затем «реликтовый бум» за какие-то 10—15 лет радикально изменил представление об основных закономерностях эволюции Вселенной и дал в руки исследователей ключ к решению целого ряда проблем современной космологии.

Уже сам факт существования микроволнового фона электромагнитного излучения, интенсивность которого в пересчете на эквивалентную температуру абсолютно черного тела соответствует примерно 3 К, — убедительное доказательство того, что около 15 млрд лет назад расширение Вселенной происходило как бы взрывным образом. Температура космической плазмы была чрезвычайно высока, в ней шли реакции термоядерного синтеза элементов, интенсивно аннигилировали электрон-позитронные пары, причем вся совокупность процессов сопровождалась излучением и поглощением квантов электромагнитного излучения. Если бы наблюдатель, оснащенный самыми современными методами диагностики плазмы, мог перенестись в ту бурную эпоху, он зарегистрировал бы мощный фон электромагнитного излучения, находящегося в состоянии термодинамического равновесия с ядрами и электронами.

Однако по современным меркам это равновесие длилось очень короткий промежуток времени, не превышающий примерно 2—3 минут. Дело в том, что космологическое расширение плазмы наряду с уменьшением ее плотности приводит к так называемому адиабатическому охлаждению, при котором температура излучения уменьшается по мере увеличения возраста мира t пропорционально $t^{-1/2}$. Это означает, что с момента, когда вещество и кванты «остыли» примерно до 4000 К, стал энергетически выгоден процесс присоединения электронов к протонам с образованием нейтральных атомов водорода; в результате резко уменьшилась плотность свободных носителей электрического заряда (иными словами, произошла рекомбинация водорода). Если до этого момента кванты излучения интенсивно рассеивались на электронах, то после него взаимодействие между излучением и веществом практически полностью прекратилось, излучение стало свободно распространяться, «замораживая» в своем спектре информацию о физических процессах, происходивших во Вселенной задолго до эпохи рекомбинации. Таким образом, наблюдаемый в настоящее время микроволновый электромагнитный фон является, в полном смысле слова, реликтом горячего прошлого Вселенной¹.

Именно поэтому почти сразу с момента открытия реликтового излучения делались попытки установить характер его распределения в различных диапазонах длин волн. Спустя год после опубликования первых результатов А. Пензиаса и Р. Вильсона, проводивших свои измерения на длине волны 7,35 см, их коллеги П. Ролл и Д. Уилкинсон измерили температуру реликтового излучения на длине волны 3 см, а несколько позже появились данные о спектре фона и в миллиметровом диапазоне. Дело в том, что измерение ин-

¹ Неизбежность существования этого излучения была предсказана еще в 1948 г. одним из создателей теории горячей Вселенной Г. А. Гамовым. В 1963 г. А. Г. Дорошкевич и И. Д. Новиков рассчитали спектр микроволнового фона, однако, к сожалению, в то время эти результаты не получили широкой известности. Уже после открытия А. Пензиаса и Р. Вильсона их коллеги — Р. Дикке и Ф. Дж. Е. Пиблс, П. Ролл и Д. Уилкинсон — интерпретировали данные эксперимента как подтверждение теории горячей Вселенной, указав температуру реликтового излучения — 3 К. Подробнее об этом см.: Зельдович Я. Б., Сюняев Р. А. Лауреаты Нобелевской премии 1978 г. По физике — А. Пензиас, Р. Вильсон. — Природа, 1979, № 1, с. 101.

тенсивности микроволнового излучения на длинах волн меньших 3 мм,— чрезвычайно сложная экспериментальная задача. В этом диапазоне, помимо многочисленных помех, создаваемых дискретными радиоисточниками в нашей и других галактиках, сама земная атмосфера поглощает значительную часть потока квантов. Поэтому надежную информацию о спектре реликтового излучения на длинах волн, меньших 3 мм, можно получить только с помощью аппаратуры, вынесенной за пределы земной атмосферы на шарах-зондах или космических кораблях. Эта задача была успешно решена в 1980—1985 гг. Оказалось, что в диапазоне от 20 см до 0,6 мм спектр реликтовых квантов с точностью не хуже 6 % описывается равновесным планковским законом распределения с температурой $T=2,72$ К. Таким образом, теория горячей Вселенной получила надежное экспериментальное подтверждение.

Но почему так важно знать, является ли спектр микроволнового излучения равновесным, или в нем имеются отклонения от планковского закона? На первый взгляд ответ очевиден: таково предсказание теории горячей Вселенной; проверяя это предсказание, мы тем самым выясняем наблюдательный статус самой теории. На самом деле ситуация гораздо сложнее. Во-первых, наряду с известными стабильными и нестабильными частицами, такими, например, как нейтрино, электрон, нейтрон и т. д., в природе могут существовать и другие частицы, распадающиеся уже после эпохи термоядерного синтеза легких химических элементов и подогревающие плазму продуктами своего распада. В этом случае спектр реликтового излучения должен немедленно отреагировать на этот дополнительный разогрев электронов, увеличивая долю низкочастотных квантов. Следовательно, повышая точность измерений спектра микроволнового фона в низкочастотном (релей-джинсовском) диапазоне, мы тем самым резко сужаем интервал допустимых значений масс и времен распадов нестабильных частиц, существование которых предсказывается современными теориями Великого объединения. На этом пути теория горячей Вселенной в совокупности с данными экспериментов выступает в роли лаборатории по проверке предсказаний различных теорий элементарных частиц².

Во-вторых, наряду с общепринятой сейчас точкой зрения на природу возникновения реликтового излучения, основные черты которой были кратко изложены выше, в последнее время в космологии активно развивается новое (или хорошо забытое старое?) направление, в рамках которого происхождение микроволнового фона, или по крайней мере его части, связывается с эволюцией гипотетических первичных звезд, возникших задолго до момента образования галактик и их скоплений. Идейные основы этого направления базируются на хорошо известном наблюдательном факте, что даже у самых старых звезд нашей и других галактик не наблюдается первичный изотопный состав, соответствующий 25 %-ному содержанию (по массе) ⁴He и 75 %-ному содержанию водорода. Дополнительным толчком к развитию этой концепции послужили и сравнительно недавние (1979 г.) измерения спектра реликтового излучения в диапазоне 0,06 — 0,2 мм; они указывали на присутствии избытка квантов в этом диапазоне по сравнению с чернотельным равновесным спектром. Объяснение такого избытка представляло серьезную проблему для общепринятой теории. Именно поэтому практически вся первая половина 80-х годов прошла под знаком уточнения спектра реликтового излучения в миллиметровом и субмиллиметровом диапазонах. В итоге была подтверждена справедливость традиционных представлений о природе микроволнового фона.

И наконец, знание спектра реликтового излучения необходимо для определения параметров горячего газа в богатых скоплениях галактик, взаимодействие с которым приводит к отклонению потока квантов от эталонного значения. На этом пути возникает уникальная возможность получить информацию о параметрах современного состояния Вселенной, и в частности определить независимым образом одну из наиболее важных характеристик процесса ее расширения — постоянную Хаббла. Здесь реликтовое излучение выступает уже как инструмент изучения Метагалактики.

ОТ ПРОШЛОГО К НАСТОЯЩЕМУ МЕТАГАЛАКТИКИ

Когда в начале нашего века астрономы получили свидетельства того, что наблюдаемая Вселенная расширяется, естественно, возник вопрос: будет ли этот процесс продолжаться неограниченно долго,

Подробное обсуждение этого вопроса см.: Хлопов М. Ю. Вселенная как лаборатория элементарных частиц.— Природа, 1985, № 5, с. 20.

или же расширение мира сменится сжатием? Теоретические исследования показывали, что взаимное притяжение материи может остановить расширение лишь в том случае, если современная плотность видимых и «невидимых» форм материи будет превышать так называемую критическую плотность $\rho_{кр} = 3H_0/8\pi G$, представляющую собой комбинацию постоянной Хаббла H_0 , характеризующей скорость взаимного разбегания различных частей Вселенной, и гравитационной постоянной G , показывающей, что главную роль в этом процессе играет только гравитационное взаимодействие частиц.

При плотностях материи, меньших $\rho_{кр}$, разбегание галактик в космическом пространстве будет происходить неограниченно долго, поскольку в этом случае энергия притяжения оказывается все время меньше кинетической энергии разлета вещества. Существует и еще один пограничный режим расширения Метагалактики, когда кинетическая и потенциальная энергии материи в точности равны друг другу и расширение происходит как бы по инерции. Для этого режима в любой момент времени t поверхности $t = \text{const}$ образуют плоскости (отсюда и возник термин «пространственно плоская» Вселенная).

На первый взгляд может показаться, что выбор между перечисленными вариантами эволюции Вселенной — «внутренняя» проблема теории. Так как, характерные пространственные масштабы Метагалактики огромны даже по сравнению с размерами галактик, долгое время считалось, что локальные процессы взаимодействия частиц, а на поздних стадиях расширения — галактик, не могут существенно повлиять на глобальные характеристики пространства-времени. Однако в последние 5 лет ситуация радикально изменилась, в значительной мере благодаря развитию теории Великого объединения. Согласно этой теории, задолго до эпохи термоядерного синтеза легких химических элементов, не говоря уже об эпохе рекомбинации водорода, Вселенная могла пройти через стадию экстремально быстрого расширения (так называемая инфляционная стадия), когда размеры причинно-связанных областей пространства превышали собственные размеры Метагалактики³. В результате предсказывается современный режим расширения мира, при котором полная плотность материи равна критической. плот-

ности. Таким образом, проблема «настоящего» и «будущего» Вселенной выдвигается на передний край теоретических и экспериментальных исследований.

Круг задач, стоящих на этом пути перед современной астрофизикой, очерчен предельно ясно. Чтобы ответить на вопрос, является ли Вселенная пространственно плоской, нужно, во-первых, надежно установить величину постоянной Хаббла (а значит, и критическую плотность) и, во-вторых, подсчитать массу вещества, сосре-

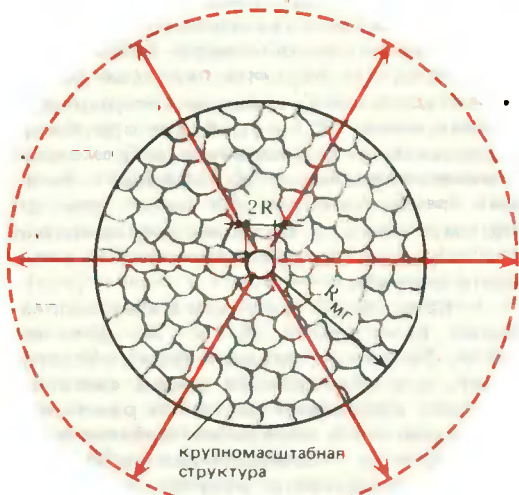


Иллюстрация эффективности режима экспоненциального расширения Вселенной. Область размером $R=10^{-25}$ см за время от 10^{-35} с до $2 \cdot 10^{-33}$ с увеличивается вплоть до масштаба современной Метагалактики с наблюдаемой крупномасштабной структурой; $R_{MF}=10^{28}$ см.

доточенного в различных структурных образованиях — галактиках, скоплениях галактик и т. д.

Однако на каждом из этих этапов возникают свои подводные камни, борьба с которыми уже сейчас требует как создания новых методов идентификации расстояний до скоплений галактик, так и определения массы самих скоплений. Дело в том, что стандартный подход к измерению постоянной Хаббла H_0 , основывающийся на соотношении между скоростью взаимного удаления галактик $\vec{V}_G$ и расстоянием до них $\vec{r}_G$ ($\vec{V}_G = H_0 \vec{r}_G$), дает значительные погрешности, связанные в основном с ошибками в определении $\vec{r}_G$. До сих пор в основе определения расстояний до удаленных скоплений галактик лежал метод

³ Подробнее об инфляционной стадии см.: Зельдович Я. Б. Современная космология. — Природа, 1983, № 9, с. 11.

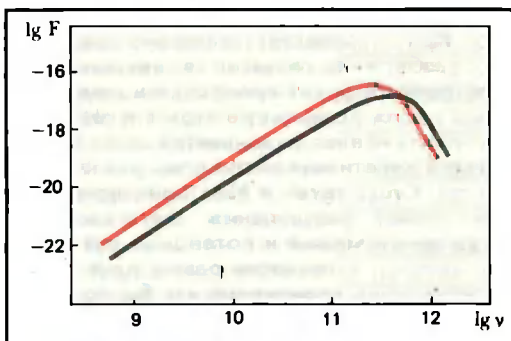
выделения стандартных эталонных источников — переменных звезд (цефеид), шаровых скоплений, центральных галактик скоплений и т. д., светимость которых считалась известной, и сравнение на их фоне светимости изучаемых объектов. При этом чем дальше находится стандартный источник оптического излучения, тем слабее он будет виден на фоне близлежащих объектов. Если одновременно со светимостью измерять еще доплеровское смещение характерных спектральных линий излучения таких источников, то по их сдвигу в красную сторону можно восстановить скорость удаления галактики от нас, а зная g_0 , определить и постоянную Хаббла.

Ясно, что по мере перехода ко все более удаленным объектам, погрешности в измерениях $\bar{V}_G$ и g_0 будут все более увеличиваться. В результате современные данные о величине H_0 обладают большим разбросом: от 50 км/с · Мпк до 100 км/с · Мпк. С такой же погрешностью нам известна сегодня и критическая плотность материи.

Качественно новый шаг в этом направлении был сделан Я. Б. Зельдовичем и Р. А. Сюняевым, предложившими использовать для определения шкалы внегалактических расстояний данные о рентгеновской светимости скоплений галактик в совокупности с наблюдениями искажений спектра реликтового излучения при его прохождении через эти скопления¹.

Метод базируется на экспериментально известном факте, что почти все богатые скопления галактик содержат облака ионизованного газа, разогретого до десятков и даже сотен миллионов градусов. Несмотря на то что масса этого компонента значительно уступает видимой массе галактик в скоплении, ему принадлежит решающая роль в формировании рентгеновского излучения от этих объектов. Двигаясь в облаках горячего газа со скоростями около 1000 км/с, электроны интенсивно сталкиваются с протонами, «высвечивая» в каждом акте столкновения кванты тормозного излучения, энергия которых приходится на рентгеновский диапазон спектра. Именно это излучение было обнаружено со спутников «Ариэль» и «Ухуру», а также космической рентгеновской обсерваторией «Эйнштейн».

Однако такие «горячие» электроны — не только источник рентгеновской светимости скоплений галактик; они существенным образом искажают спектр микроволнового излучения. Эти искажения возникают в результате отбора квантами реликтового излучения части энергии у электронов в ходе их комптоновского взаимодействия. В результате яркостная температура излучения в направлении богатых скоплений галактик на длинах волн, меньших 1 мм, понижается, а температура в субмиллиметровом участке спектра повышает-



Распределение потока квантов F реликтового излучения до (красная линия) и после (черная линия) взаимодействия квантов с горячими электронами в скоплениях галактик. Уменьшение F в низкочастотной области пропорционально температуре электронов; v — частота.

ся. Зная рентгеновскую светимость скопления и измеряя величину «смещения» температуры, можно рассчитать истинный R_s и видимый угловой размер скопления θ_s , а следовательно, и расстояние до него: $r_s = R_s / \theta_s$.

Таким образом, повышая чувствительность измерения спектра реликтового излучения в направлении богатых скоплений галактик, мы получаем новый тест для определения постоянной Хаббла, дополняющий стандартные методы. Реликтовое электромагнитное излучение выступает уже в роли зонда не только прошлого Метагалактики, но и перекидывает мостик к ее настоящему и будущему.

РОЛЬ «СКРЫТОЙ МАССЫ» В ЭВОЛЮЦИИ ВСЕЛЕННОЙ

Обсуждая в предыдущем разделе три возможных варианта расширения Вселенной, мы отмечали, что для выбора между ними еще недостаточно знания только

¹ Любарский Ю. Э. Эффект Сюняева — Зельдовича подтвержден экспериментально. — Природа, 1984, № 11, с. 76.

величины критической плотности материи. Необходимо непосредственно подсчитать плотность вещества, сосредоточенного сегодня в галактиках и их скоплениях, с тем чтобы соотнести ее с критической плотностью материи. На протяжении вот уже почти полувека астрономы, занятые решением этой задачи, постоянно сталкивались с проявлениями фона «невидимой» материи.

Дело в том, что типичные структурные образования — галактики, скопления и сверхскопления галактик — представляют собой гигантские динамические системы, состоящие из большого числа составных элементов. Для галактик роль таких «элементарных частиц» играют звезды, движущиеся в них со скоростями, достигающими десятков и даже сотен километров в секунду; для скоплений галактик элементами структуры выступают уже сами галактики. Естественно, удержать звезды в галактиках, а галактики — в скоплениях от рассеивания в пространстве можно только в том случае, если кинетическая энергия их движения скомпенсирована гравитационным притяжением.

Это условие, хорошо известное в механике под названием теоремы вириала, должно выполняться для всех известных в настоящее время гравитационно связанных систем: отдельных галактик, групп, скоплений и т. д. В противном случае примерно за миллиард лет эти системы должны были бы прекратить свое существование и рассеяться в космическом пространстве, чего не наблюдается. Следовательно, для каждой гравитационно связанной группы объектов, занимающей вполне конкретную ступень в иерархической лестнице масштабов космических структур, можно указать так называемую вириальную массу, при достижении которой данная система будет стабильной.

Весьма заманчиво непосредственно измерить эту важную для динамики галактик и скоплений величину, но, к сожалению, астрономические методы наблюдений позволяют регистрировать лишь массу того вещества, которое «сообщает» о своем существовании посредством электромагнитных волн, испускаемых звездами, облаками горячего газа и т. д. Собственно, основываясь на этих данных, и оценивают современную плотность светящейся материи во Вселенной, которая оказывается примерно в 30 раз меньше критической плотности. Это означает, что большая часть массы гравитационно связанных систем невидима и проявляет себя лишь посредст-

вом гравитационного влияния на движение составных элементов.

В каких же формах может существовать «скрытая масса» галактик и их скоплений? Можно предположить, что она распределена в виде слабосветящихся звезд или больших планет типа Юпитера, но эта гипотеза сталкивается с серьезной трудностью. Оказывается, что если бы недостающая масса галактик состояла из обычного вещества — водорода и гелия, то современная плотность этих элементов превысила бы $2 \cdot 10^{-31}$ г/см³. Теория космологического нуклеосинтеза предсказывает, что в этом случае возникла бы проблема объяснения первичного изотопного состава вещества и, в особенности, распространенности дейтерия, дефицит которого в современную эпоху составил бы около пяти порядков. Это означало бы, что весь космический дейтерий был синтезирован значительно позже, чем водород и гелий. Следовательно, незадолго до настоящего момента Вселенная должна была пережить эпоху мощного вторичного разогрева плазмы, который бы неминуемо оставил отпечатки на спектре реликтового излучения. Но таких аномалий в спектре микроволнового фона не наблюдается, и, следовательно, носителями «скрытой массы» во Вселенной должны быть лишь те частицы (или объекты), которые не изменяют современной плотности водорода и гелия.

Примером такого рода носителей могут служить массивные нейтрино, первичные черные дыры, гипотетические стабильные и нестабильные частицы (монополи, фотино, гравитино и т. д.), существование которых предсказывается современными теориями элементарных частиц. Иными словами, помимо наблюдаемых реликтов ранней Вселенной — изотопного состава вещества и фона микроволнового излучения, сегодня должны существовать и другие (трудно наблюдаемые) «отпечатки» ее горячего прошлого — массивные гравитирующие частицы, составляющие практически 97 % полной массы материи, входящей в скопления и галактики. Само их название означает, что на существующем уровне развития астрофизического эксперимента зарегистрировать эти частицы непосредственно невозможно — они проявляют себя только гравитационно. Однако косвенную информацию о характеристиках «скрытой массы» можно получить, анализируя особенности распределения реликтового электромагнитного излучения в космическом пространстве; в данном случае реликтовое излучение выступает в качестве

инструмента исследований невидимой материи.

Еще в первых экспериментах А. Пензиаса и Р. Вильсона была установлена высокая анизотропия распределения микроволнового излучения на небесной сфере, свидетельствующая о его внегалактическом происхождении. Ведь если бы это излучение сформировалось в результате светимости каких-то объектов в нашей или других галактиках, то при изменении ориентации антенны радиотелескопа в пространстве неизбежно возникли бы значительные флуктуации интенсивности принимаемого сигнала, связанные с проявлением и исчезновением источников в поле ее зрения.

Однако однородность и изотропия реликтового излучения не абсолютны! Согласно теории, неизбежно должны существовать очень малые, не превышающие нескольких тысячных долей процента, флуктуации его интенсивности, связанные с развитием во Вселенной малых неоднородностей плотности материи, сформировавшихся скопления и сверхскопления галактик. То что такие зародыши скоплений существовали в прошлом, не вызывает сомнений, но как велика была их амплитуда и в какой мере они были связаны с носителями «скрытой массы»? Ответы на эти вопросы должны дать измерения степени изотропии распределения реликтового излучения в космическом пространстве.

АНИЗОТРОПИЯ МИКРОВОЛНОВОГО ФОНА И «СКРЫТАЯ МАССА» ВО ВСЕЛЕННОЙ

Как известно, в природе существуют четыре типа фундаментальных взаимодействий элементарных частиц: электромагнитное, сильное (ядерное), слабое и гравитационное. Первое ответственно за формирование спектра микроволнового излучения, сильное и слабое взаимодействия нейтрино и нуклонов между собой обеспечили наблюдаемый изотопный состав вещества. Продолжая эту аналогию, можно сказать, что решающая роль в процессе образования галактик и их скоплений во Вселенной принадлежит самому «слабому» из перечисленных типов взаимодействий — гравитационному. Это утверждение, безусловно, верно для современных структурных единиц Метагалактики — галактик и их скоплений. Однако в прошлом, когда космическая плазма была гораздо плотнее и горячее, ситуация была не так тривиальна.

При температурах выше 4000 К, когда

электроны и протоны еще не успели связаться в атомы нейтрального водорода, кванты излучения весьма эффективно рассеивались на свободных электронах, препятствуя гравитационному сжатию вещества. Если бы в этот период во Вселенной, помимо ионизованного водорода и гелия, не существовало фона носителей «скрытой массы», то в космической плазме установился бы динамический режим, при котором области повышенной и пониженной (относительно среднего уровня) плотности, охватывающие масштабы скоплений галактик, эволюционировали подобно звуковым волнам в среде с высоким давлением излучения. В процессе остывания плазмы и ее рекомбинации при $T \approx 3000$ К резко повысилась бы прозрачность среды для излучения. Собственно, начиная с этого момента и можно говорить о микроволновом излучении как о реликтовом, поскольку в нем «заморожена» информация о распределении вещества в этот период. А так как уже в эпоху рекомбинации в веществе существовали «зародыши» крупномасштабной структуры Вселенной, развившиеся затем под действием самогравитации в скопления и сверхскопления галактик, ясно, что микроволновое излучение, приходящее к нам сегодня из областей повышенной и пониженной плотности, должно обладать слабой анизотропией распределения в угловых масштабах $5-20'$, близких к угловым масштабам скоплений галактик.

В этой привлекающей своей простотой картине существовала небольшая деталь, портившая общее хорошее впечатление. Оказывается, для образования скоплений галактик необходимо, чтобы уже в период рекомбинации водорода зародыши крупномасштабной структуры Вселенной имели «контраст» плотности $\delta\rho/\rho = 0,1$ (при современной плотности вещества, равной 3 % от $\rho_{кр}$) и $\delta\rho/\rho = 3 \cdot 10^{-4}$ (при $\rho = \rho_{кр}$). Это, в свою очередь, означало бы, что уровень анизотропии реликтового излучения, характеризваемый величиной отклонения его температуры от среднего значения, должен быть близок к величине флуктуаций плотности в веществе, т. е. $\Delta T/T \approx 10^{-2} - 10^{-4}$. А современные наблюдения, выполненные группой Ю. Н. Парийского на крупнейшем радиотелескопе РАТАН-600, не обнаруживают вариаций температуры микроволнового фона даже на уровне $(2-4) \cdot 10^{-5}$!

Итак, «небольшая» деталь обернулась серьезной проблемой для теории. Не означает ли это, что уже в эпоху формирования анизотропии реликтового излуче-

ния свойства космической плазмы определялись «невидимой» в настоящее время материей, проявляющей себя только гравитационно?

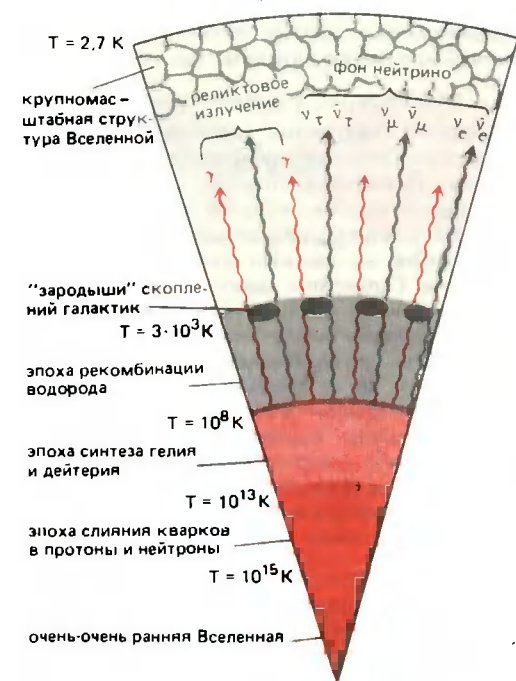
Долгое время эта гипотеза рассматривалась как один из запасных вариантов решения проблемы, поскольку недостаточная точность эксперимента не давала серьезных оснований для беспокойства, а космологи предпочитали руководствоваться принципом «бритвы Окама»: сущности не должны быть умножаемы сверх необходимости. Однако как только чувствитель-

учены из Института теоретической и экспериментальной физики, в которых было показано, что у электронных нейтрино может существовать сравнительно небольшая (около одной двадцатитысячной массы электрона) масса покоя. Если учесть, что теория синтеза легких химических элементов предсказывает современную распространенность этих частиц, сравнимую с концентрацией квантов микроволнового излучения, то при массе покоя $5 \cdot 10^{-32}$ г плотность электронных нейтрино будет даже выше критической плотности материи!

Итак, кандидат на роль носителя «скрытой массы» Вселенной найден? Оказывается, ответ не так прост, как может показаться на первый взгляд. Дело в том, что если носителем «скрытой массы» Вселенной являются только электронные нейтрино, то проблема отсутствия мелкомасштабных флуктуаций температуры реликтового электромагнитного излучения не решается. Необходимо, чтобы наряду с электронными нейтрино существовал еще один тип массивных частиц (возможно, τ -нейтрино), масса покоя которых превышала бы массу электронных нейтрино примерно в 20 раз, причем этот сорт частиц должен быть нестабильным⁵.

В этом случае уменьшается уровень мелкомасштабной анизотропии реликтового излучения, и она начинает играть роль своеобразного «решающего эксперимента» для отбора кандидатов на роль носителей «скрытой массы». Но насколько можно доверять результатам такого эксперимента? Оказывается, предсказания теории можно проверить независимым образом.

Речь идет о том, что помимо измерений анизотропии микроволнового фона в угловых масштабах порядка $10-30'$ существует целый класс экспериментов, в которых исследуется так называемая крупномасштабная анизотропия реликтового излучения. Особенностью этого типа искажений температуры микроволнового фона является его независимость от деталей процесса остывания космической плазмы в эпоху отделения вещества от излучения, поскольку он обусловлен современными неоднородностями распределения материи, размер которых сравним с масштабами Метагалактики. Причина появления крупномасштабных вариаций температуры реликтового излучения на небесной сфере — гравитационное смещение частоты



Температурная история охлаждения космической плазмы от эпохи слияния кварков в нуклоны и до настоящего времени. Серыми волнистыми линиями изображены реликтовые нейтрино, красными — кванты микроволнового излучения, распространяющиеся к нам через зоны повышенной и пониженной плотности.

ность современных радиотелескопов перешагнула рубеж $\Delta T/T = 10^{-4}$ и вплотную приблизилась к $\Delta T/T = 10^{-5}$, а флуктуации температуры реликтового излучения все еще не были обнаружены, эта гипотеза стала притягивать к себе все большее внимание.

В значительной мере изменение статуса проблемы «скрытой массы» во Вселенной обязано и экспериментам группы

⁵ Подробнее об этом см. уже цит. статью М. Ю. Хлопова.

квантов по мере их прохождения через зоны повышенной и пониженной (относительно среднего уровня) плотности. Эти зоны, собственно, и являются крупномасштабным аналогом флуктуаций, породивших скопления и сверхскопления галактик. А поскольку ожидаемый уровень вариаций плотности материи в «зародышах» нам известен, можно предсказать и величину отклонений температуры в больших угловых масштабах.

При описании этого типа вариаций температуры микроволнового фона удобно представить распределение $\frac{\Delta T}{T}(\theta)$ на



«Разрез» поверхности последнего рассеяния квантов на электронах в эпоху рекомбинации водорода (в а. е. р. х. у.). «Облачная» структура распределения интенсивности реликтового излучения на небесной сфере, обусловленная выходом квантов из областей повышенной и пониженной плотности материи; характерный угловой размер облаков — $20'$ (в низу).

небесной сфере в виде элементарного набора функций (так называемых сферических гармоник), каждая из которых характеризует вполне конкретный тип отклонения $\frac{\Delta T}{T}(\theta)$ от изотропии. Например, про-

стейший вариант такого распределения температуры излучения по углу, называемый дипольной анизотропией, возникает при движении наблюдателя с постоянной скоростью относительно реликтового фона. При этом в силу эффекта Доплера, смещающего частоту квантов по мере их движения к нам или от нас, первые будут казаться нам «горячее», а вторые — «холоднее», чем кванты, регистрируемые покоящимся наблюдателем. Так возникает ди-

польное перераспределение $\frac{\Delta T}{T}(\theta)$ в пространстве, связанное с движением нашей Галактики относительно реликтового излучения. Поскольку, однако, это движение определяется не только крупномасштабным распределением вещества, но и в большей мере — самими условиями формирования Галактики, данные только о дипольной анизотропии не позволяют однозначно судить ни о характеристиках «зародышей» крупномасштабной структуры Вселенной, ни о параметрах фона носителей ее «скрытой массы». Поэтому более информативны измерения квадрупольной анизотропии микроволнового фона, которая является следующей по сложности ступенькой деформации распределения интенсивности этого излучения на небе. Как уже отмечалось, этот тип искажений $\frac{\Delta T}{T}(\theta)$ связан с гравитационным влиянием неоднородностей масштаба Метагалактики, и, следовательно, он существенно зависит от параметров фона массивных частиц, составляющих основную долю ее массы.

Оказывается, если бы «скрытая масса» Вселенной была сосредоточена в электронных, мюонных и т-нейтринно с одинаковой массой покоя (причем все перечисленные частицы были бы стабильны), уровень квадрупольной анизотропии реликтового излучения был бы близок к $2 \cdot 10^{-4}$. В моделях с нестабильными т-нейтрино величина квадрупольной моды оказывается значительно ниже.

Для более высоких гармоник, характеризующих по аналогии с электронными орбиталями в атоме номерами $l=3, 4, 5$ и т. д., «контраст» температуры излучения $\Delta T/T$, соответствующий заданной величине l , уменьшается по мере роста номера гармоники. Это уменьшение $\frac{\Delta T}{T}$ обладает

весьма специфическим характером, позволяющим однозначно судить о полной плотности видимой и невидимой компонент материи.

Таким образом, измеряя одновременно анизотропию реликтового излучения в малых (порядка $10-30'$) и больших (порядка $10-90^\circ$) угловых масштабах, можно получить информацию как о величине современной плотности материи, так и о характере распределения амплитуд флуктуаций ее плотности в пространстве. На этом пути появляется возможность экспе-

риментально проверить ряд предсказаний современной теории строения и эволюции Вселенной, включающих в себя и вопрос о режиме ее расширения в будущем.

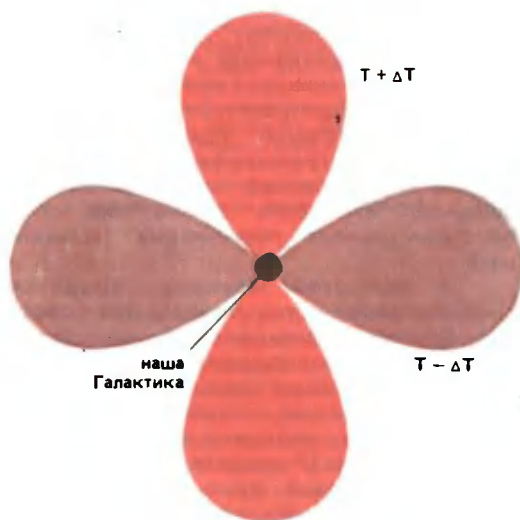
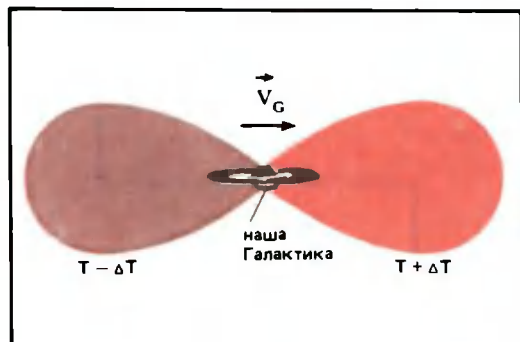
Следует подчеркнуть, что глобальность этой задачи требует от экспериментиста и качественно нового подхода к ее решению. Пример тому — осуществленный в 1983—1984 гг. эксперимент «Реликт», в рамках которого высокочувствительный радиоизмерительный комплекс, установленный на борту космического аппарата, был выведен на орбиту искусственного спутника Земли с перигеем около 1000 км и апогеем около 700 тыс. км. Выбор столь вытянутой орбиты обращения спутника был обусловлен необходимостью устранить помехи от теплового излучения Земли и ее атмосферы, а также — радиоизлучения от Луны. В настоящее время идет интенсивная обработка данных эксперимента, после которой можно будет судить о крупномасштабных структурных деталях распределения микроволнового фона на небе с точностью $(1-2) \cdot 10^{-5}$. И хотя сейчас обработана лишь часть полученной информации, можно уверенно констатировать, что уровень квадрупольной анизотропии микроволнового фона не превышает $2 \cdot 10^{-5}$.

В совокупности с данными группы Ю. Н. Парийского эти результаты убедительно доказывают решающую роль «невидимых» массивных гравитирующих частиц в динамике формирования крупномасштабной структуры Вселенной и анизотропии микроволнового излучения.

А что можно сказать о полной плотности материи в Метагалактике и, следовательно, о ее расширении в будущем? Для ответа на этот вопрос, к сожалению, достигнутой чувствительности радиоизмерений еще недостаточно. Необходимо повысить ее, как минимум, еще в 3—5 раз и за-

регистрировать вариации $\frac{\Delta T}{T}$ на небесной

сфере. Темпы, с которыми осуществляется совершенствование измерительных комплексов, позволяют надеяться, что задача будет успешно решена уже в ближайшие несколько лет.



Дипольное распределение температуры излучения, возникающее при движении Галактики относительно реликтового фона со скоростью $\vec{V}_G$ (вверху). Квадрупольное распределение температуры микроволнового фона как результат его распространения через волны избыточной плотности материи, размер которых сравним с масштабом Метагалактики (внизу).

Нарушение пространственной четности в нейтронных резонансах

В. П. Алфименков



Виктор Павлович Алфименков, кандидат физико-математических наук, начальник сектора Лаборатории нейтронной физики Объединенного института ядерных исследований (Дубна). Занимается экспериментальным исследованием процессов взаимодействия поляризованных нейтронов с ядрами.

Вопрос о нарушении пространственной четности (P -четности — от англ. parity) в микропроцессах, иными словами — об отсутствии зеркальной симметрии в законах взаимодействия между микрочастицами, из которых построен весь окружающий нас мир, исследуется в физике уже около 30 лет. В последние годы проведен ряд интересных исследований нарушения P -четности в ядерных процессах, убедительно подтвердивших правильность наших представлений о природе P -нечетных эффектов. Предлагаемая читателю статья посвящена описанию этих исследований. Краткое изложение истории исследований нарушения P -четности, которое предшествует основной части статьи, должно, по мнению автора, помочь недостаточно подготовленному читателю в понимании этого довольно тонкого физического вопроса.

ЧТО ТАКОЕ ПРОСТРАНСТВЕННАЯ ЧЕТНОСТЬ И ЕЕ СОХРАНЕНИЕ ИЛИ НАРУШЕНИЕ

Понятие «четность» пришло в физику из математики, где оно характеризует поведение функций при изменении знаков (инверсии) независимых переменных. Существуют функции четные (не изменяющиеся при инверсии переменных), нечет-

ные (изменяющие знак, но сохраняющие абсолютную величину) и функции, не имеющие определенной четности (изменяющиеся при инверсии произвольным образом). О пространственной четности, естественно, говорят применительно к функциям пространственных переменных. Под пространственной инверсией обычно понимают изменение знаков всех трех пространственных переменных (координат).

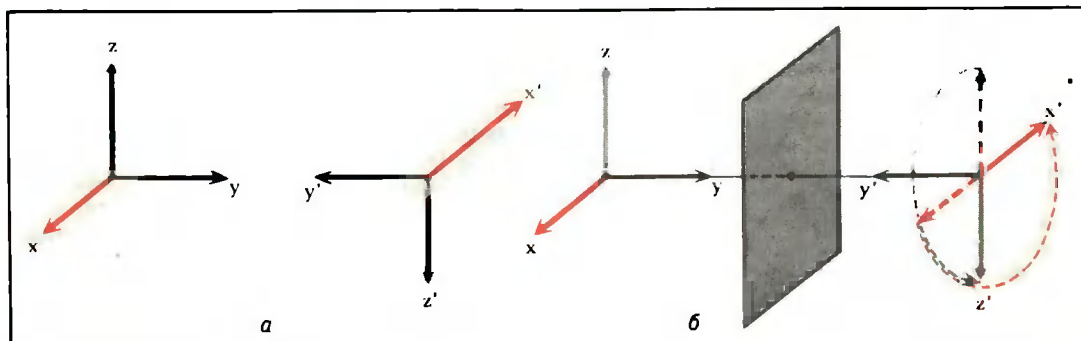
В квантовой механике поведение системы микрочастиц описывается волновой функцией, зависящей от координат и времени. Квантовомеханические уравнения, определяющие волновые функции, таковы, что в случае неизменности взаимодействия между частицами при пространственной инверсии (P -инвариантности взаимодействия) волновые функции оказываются либо четными, либо нечетными, причем «четностный характер» (или, проще, четность) волновых функций сохраняется во времени, т. е. не изменяется при физическом процессе. Если же взаимодействие P -неинвариантно, то четность не сохраняется. Таким образом, утверждение о сохранении или нарушении P -четности в данном процессе эквивалентно утверждению об одинаковости или неодинаковости процессов, происходящих в обычных

условиях и после пространственной инверсии.

Часто вместо пространственной инверсии рассматривают более простое преобразование — зеркальное отражение. При зеркальном отражении инвертируется лишь одна пространственная координата, соответствующая оси, перпендикулярной плоскости зеркала. И пространственная инверсия, и зеркальное отражение переводят «правое» в «левое» (и наоборот). Результаты этих преобразований отличаются лишь поворотом на 180° . Если

скорость, момент количества движения, напряженность магнитного поля — связаны с вращением. С помощью нормальных векторов и псевдовекторов можно строить псевдоскаляры. Типичным псевдоскаляром является спиральность («закрученность»), определяемая как скалярное произведение обычной скорости (нормальный вектор) и угловой скорости (псевдовектор). Спиральность, очевидно, меняет знак при пространственной инверсии.

Уравнения классической физики также имеют «определенную четность», т. е.



Преобразование тройки декартовых осей x, y, z в новую тройку x', y', z' , при пространственной инверсии (с л е в а) и при отражении от зеркала с последующим поворотом на 180° вокруг оси, перпендикулярной плоскости зеркала (с п р а в а). Видно, что результаты обоих преобразований одинаковы. Видно также, что оба преобразования переводят «правую» тройку в «левую». [Тройка векторов считается правой, если при вращении воображаемого винта с правой резьбой от оси x к оси y винт будет перемещаться в направлении оси z ; в противном случае тройка — левая.]

физические условия изотропны, т. е. поворот не влияет на физические процессы, то зеркальное отражение оказывается эквивалентным пространственной инверсии.

В классической физике сохранение P -четности обычно даже не рассматривается — оно считается очевидным. Все физические величины имеют здесь определенную пространственную четность. Простейшие из них — скаляры и векторы. P -четными оказываются нормальные скаляры и аксиальные векторы (псевдовекторы), а P -нечетными — псевдоскаляры и полярные (нормальные) векторы. В качестве примера нормальных скаляров можно привести массу, энергию, температуру. Примерами полярных векторов являются сила, скорость, напряженность электрического поля. Псевдовекторы — угловая

содержат (в качестве отдельных членов) лишь величины, одинаково преобразующиеся при пространственной инверсии — либо только четные, либо только нечетные.

В течение длительного времени считалось, что и в микропроцессах, описываемых квантовой механикой, P -четность всегда сохраняется. Однако в середине 50-х годов было установлено, что закон сохранения P -четности в микромире выполняется не всегда. Это означало, что при описании микропроцессов не всегда можно пользоваться имеющими определенную четность физическими величинами и, соответственно, имеющими определенную четность уравнениями, связывающими эти величины. Следует, однако, оговориться, что в большинстве случаев нарушение P -четности оказывается очень небольшим и поэтому трудно наблюдаемым эффектом. Этим и объясняется столь позднее его экспериментальное обнаружение.

КАК МОЖНО НАБЛЮДАТЬ НАРУШЕНИЕ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ЧЕТНОСТИ

Прямым доказательством нарушения P -четности было бы обнаружение различия в одинаковых процессах, происходящих в зеркально-симметричных услови-

ях (или в условиях, отличающихся только пространственной инверсией). Однако не всегда ясно, как можно реализовать такие условия экспериментально даже при изучении макропроцессов. Что же касается микромира, то здесь царят статистические законы, и это делает практически невозможной реализацию полностью зеркально-симметричных условий эксперимента. Поэтому при изучении нарушения Р-четности приходится пользоваться косвенными методами. Ищутся и исследуются такие явления (их называют Р-нечетными эффектами), которых не должно быть в случае зеркальной инвариантности изучаемого процесса, т. е. при сохранении в нем Р-четности. Обычно изучают простейшие из величин, характеризующие физические процессы, — скалярные величины. Если физическая величина, которая должна быть нормальным скаляром, на самом деле содержит некое псевдоскалярное слагаемое, то это свидетельствует о нарушении Р-четности в исследуемом процессе. Часто для выяснения природы такого скаляра изучают его поведение при изменении некой Р-нечетной величины, характеризующей исследуемый процесс.

В исследованиях нарушения Р-четности почти всегда используются поляризованные частицы. Поляризованная система микрочастиц отличается от неполяризованной ориентационной упорядоченностью собственных моментов количества движения частиц (их спинов). Поляризованная система частиц имеет отличный от нуля средний момент количества движения (псевдовекторная характеристика). Зависимость скалярной величины, характеризующей исследуемый процесс, от псевдоскаляра, построенного с использованием этого псевдовектора, и изучается в исследованиях нарушения Р-четности. При этом, конечно, у системы не должно быть других существенных псевдовекторных характеристик, иначе возможны Р-четные эффекты типа зависимости исследуемой величины от скалярного произведения двух псевдовекторов (нормального скаляра).

ИССЛЕДОВАНИЕ Р-НЕЧЕТНЫХ ЭФФЕКТОВ. ИСТОРИЯ

Экспериментальные исследования нарушения Р-четности начались в 1957 г. с известных экспериментов Ц. Ву, доказавших, что при β -распаде, который обусловлен слабым взаимодействием, пространственная четность не сохраняется. Была

обнаружена зависимость вероятности W вылета β -частицы при распаде поляризованных ядер ^{60}Co от угла θ между импульсом β -частицы $\vec{p}$ и поляризацией $\vec{I}$ распадающихся ядер:

$$W \sim 1 + \delta \frac{\vec{I} \cdot \vec{p}}{Ip},$$

где $\frac{\vec{I} \cdot \vec{p}}{Ip} = \cos \theta$ по определению. Зави-

симость такого рода обычно называют Р-нечетной корреляцией. В экспериментах Ву была обнаружена Р-нечетная корреляция между импульсом β -частиц и поляризацией исходных ядер.

Сразу же после обнаружения нарушения Р-четности в слабых взаимодействиях Р. Фейнман и М. Гелл-Манн выдвинули гипотезу об универсальности слабого взаимодействия между микрочастицами. В соответствии с этой гипотезой слабое взаимодействие должно иметь место и между образующими ядро нуклонами (протонами и нейтронами). Нуклоны в ядре связаны другим взаимодействием — сильным, которое, как это ясно уже из самого названия, сильнее слабого, причем очень намного. Однако сильные взаимодействия сохраняют пространственную четность, а слабые ее нарушают. Это позволяло надеяться, что в ядерных процессах можно будет наблюдать слабые взаимодействия на фоне сильных, хотя надежды поначалу были довольно зыбкими. Оценки в нуклон-нуклонных взаимодействиях Р-нечетных эффектов (величин δ в соответствующих Р-нечетных корреляциях) давали очень малые, практически неизмеримые величины 10^{-7} — 10^{-6} . Благоприятным обстоятельством в данном случае оказалось то, что в тяжелых ядрах из-за сложности их структуры возможны процессы, в которых относительный вклад слабого взаимодействия может быть усилен. Именно на поиски таких процессов и были направлены усилия экспериментаторов.

В 1964 г. пришел первый успех. В экспериментальной группе Ю. Г. Абова¹ была обнаружена Р-нечетная корреляция в угловом распределении $\vec{p}$ -квантов, появляющихся при радиационном захвате поляризованных тепловых нейтронов неполяризованными ядрами ^{113}Cd . Соответствующая величина δ была порядка 10^{-4} , т. е. в 100—1000 раз больше, чем в нуклон-

¹ Abov Yu. G., Krupchitsky P. A., Oratovsky Yu. A. — Phys. Lett., 1964, v. 12, № 1, p. 25.

нуклонном взаимодействии. Этот результат стал веским аргументом в пользу существования слабого межнуклонного взаимодействия. Однако количественное подтверждение гипотезы универсального слабого взаимодействия из этого результата получить не удастся, поскольку современная теория ядра не в состоянии дать надежного количественного описания реализующегося в сложных ядрах процесса усиления.

Позже были проведены исследования еще целого ряда усиленных Р-нечетных эффектов в ядерных процессах². Их результаты, в силу той же неизвестности коэффициентов усиления, не дали ничего нового для подтверждения универсальности слабого взаимодействия. Они представляют интерес для ядерной физики, поскольку углубляют и расширяют представления о структуре атомного ядра. Прежде чем переходить к описанию последних исследований нарушения Р-четности в ядерных процессах, попытаемся пояснить физическую суть проявляющихся в них механизмов усиления.

УСИЛЕНИЕ Р-НЕЧЕТНЫХ ЭФФЕКТОВ В ЯДРАХ

Поскольку большинство явлений в сложных ядрах имеют существенно квантовый характер, напомним читателю некоторые основные следствия квантовой механики, относящиеся к атомным ядрам.

Согласно квантовой механике, движение нуклонов в ядре происходит таким образом, что энергия возбуждения ядра квантована, иными словами, может принимать лишь дискретные значения. С увеличением числа нуклонов в ядре и с увеличением энергии возбуждения ядра возрастает плотность возбужденных состояний (в среднем они сближаются по энергии). Каждому из возбужденных состояний ядра присущ и ряд других квантовых характеристик. Нас будут интересовать две из них. Это — уже упоминавшиеся выше спин (он должен быть кратным половине постоянной Планка $\hbar$) и четность состояния (о состоянии с пространственно-четной волновой функцией говорят как о состоянии с положительной четностью, а о состоянии с нечетной волновой функцией — как о состоянии с отрицательной чет-

ностью). Как уже говорилось выше, ядерные состояния будут иметь определенную четность лишь при условии Р-инвариантности взаимодействия в ядре.

Квантованным оказывается и относительное движение микрочастиц, например нейтрона, налетающего на ядро (нас будет интересовать именно этот случай). Энергия такого движения, естественно, произвольна, однако орбитальный момент количества движения дискретен и может принимать лишь значения L , кратные $\hbar$. Орбитальное движение имеет свою четность: движение с четным L описывается четной волновой функцией, а движение с нечетным L — нечетной волновой функцией.

Под действием ядерных сил нейтрон, налетающий на ядро, может быть захвачен им с образованием возбужденного состояния суммарного ядра. Многие ядра охотно захватывают даже медленные нейтроны, в результате чего образуются сильно возбужденные состояния, поскольку сильное взаимодействие велико и имеет притягивающий характер. Вероятность захвата нейтрона ядром характеризуется в ядерной физике так называемым нейтронным эффективным сечением σ . Для нейтронов низких энергий σ быстро падает с ростом L . Захват нейтрона ядром с образованием возбужденного состояния проявляется в виде острых («резонансных») всплесков в энергетической зависимости нейтронных сечений. Эти всплески в сечениях получили название нейтронных резонансов. В случае нейтронов низких энергий и не очень легких ядер большинство нейтронных резонансов соответствуют захвату нейтронов с орбитальным моментом $L=0$. Такие резонансы называют s-резонансами. Резонансы с $L=1$ (p-резонансы) оказываются значительно слабее — их известно сравнительно немного. Резонансы с $L>1$ оказываются настолько слабыми, что практически не наблюдаются. В связи с зависимостью четности орбитального движения от L нейтронные резонансы могут иметь разные четности. Для нас, в частности, существенно, что нейтронным s- и p-резонансам в одном ядре соответствуют возбужденные состояния противоположной четности. Именно с такими резонансами и связаны Р-нечетные эффекты, которые мы будем обсуждать ниже.

Как же изменятся квантовые ядерные состояния, если учесть, что в межнуклонном взаимодействии наряду с основным взаимодействием — сильным — имеется и слабое взаимодействие, нарушающее

² Об одном из них см.: Д а н и л я н Г. В. Зеркальная симметрия и деление ядер. — Природа, 1981, № 2, с. 94.

четность? В связи с тем что слабое взаимодействие крайне мало в сравнении с сильным, естественно ожидать, что ядерные состояния изменятся слабо. Единственным качественным изменением будет то, что теперь ядерные состояния лишатся определенной четности. Состояния окажутся смешанными по четности, причем из-за той же малости слабого взаимодействия примесь противоположной четности будет невелика.

Рассмотрим характер такого смешанного по четности состояния с помощью метода возмущений, столь широко применяемого в квантовой механике. Примем за исходную («невозмущенную») ситуацию рассмотренный выше случай наличия в ядре только сильного взаимодействия, а слабое взаимодействие будем рассматривать как малое возмущение. Тогда применительно к нейтронным резонансам можно считать, что к исходному резонансу, имеющему определенную четность, слабое взаимодействие примешивает все остальные резонансы противоположной четности. Из квантовомеханической теории возмущений следует, что интенсивность смешивания резонансов возрастает при их сближении по энергии. Поскольку слабое взаимодействие, как и сильное, сохраняет момент количества движения, к данному резонансу будут примешиваться лишь резонансы с тем же спином. Это условие несколько ограничивает возможности смешивания резонансов. Остановимся на этом вопросе в интересующем нас случае смешивания s - и p -резонансов. Спин нейтронного резонанса складывается из спина исходного ядра J , спина нейтрона $S=1/2$ и его орбитального момента L , равного 0 для s -резонанса и 1 для p -резонанса. Квантовомеханические законы сложения моментов количества движения таковы, что спин s -резонанса может принимать значения $J \pm 1/2$, а спин p -резонанса — значения $J \pm 1/2$ и $J \pm 3/2$. Это означает, что смешиваться слабым взаимодействием с s -резонансами могут не все p -резонансы, а лишь те, у которых спин равен $J \pm 1/2$.

Согласно современным представлениям, усиление P -нечетных эффектов во взаимодействии нейтронов с ядрами происходит именно из-за смешивания нейтронных резонансов по четности³. В соответствии с вышесказанным здесь проявляют-

ся два механизма усиления. Во-первых, это — усиление смешивания резонансов из-за их близости по энергии. Такое усиление получило название динамического, поскольку оно связано с особенностями динамики нуклонов в сложных ядрах при больших энергиях возбуждения. Во-вторых, возможно дополнительное усиление P -нечетных эффектов, если основной процесс почему-либо оказывается подавленным в сравнении с примесным процессом. Это «подчеркивает» смешанность состояния и усиливает P -нечетный эффект. Такое усиление обусловлено большей частью особенностями движения участвующих в процессе частиц, т. е. носит кинематический характер. Следует также отметить зависимость P -нечетных эффектов от энергии нейтронов, обусловленную резонансным характером смешивающихся возбужденных состояний.

В последние годы интенсивно изучаются проявления нарушения P -четности в процессах ослабления пучков нейтронов при их фильтрации через вещество. Исследуется зависимость прозрачности неполяризованной мишени от спиральности нейтронов, т. е. от того, поляризованы ли нейтроны в направлении их движения или навстречу ему.

Прозрачность мишени для нейтронов характеризуется полным нейтронным сечением составляющих мишень ядер, а P -нечетная зависимость от спиральности — разностью сечений для нейтронов с разной спиральностью. Эта разность сечений обусловлена P -нечетным эффектом в сечении захвата нейтронов в резонансы и, как показывает теоретическое рассмотрение, вблизи резонансов зависит от энергии нейтронов так же, как само сечение захвата. Для нейтронов с энергиями, близкими к p -резонансам со спином $J \pm 1/2$, имеет место кинематическое усиление P -нечетного эффекта. Оно обусловлено тем, что основной процесс (захват нейтронов с орбитальным моментом $L=1$) подавлен в сравнении с примесным процессом (захватом нейтронов с $L=0$). Если поблизости от такого резонанса есть подходящий для смешивания s -резонанс, то будет иметь место значительное динамическое усиление. Это с большей вероятностью реализуется у ядер, в которых велика плотность резонансов. Для нейтронов с энергиями, близкими к s -резонансам, динамическое усиление смешивания также имеет место, но P -нечетный эффект в них кинематически подавлен (по той же причине, по которой он усилен в p -резонансах).

³ Сушков О. П., Фламбаум В. В. — Усп. физ. наук, 1982, т. 136, вып. 1, с. 3.

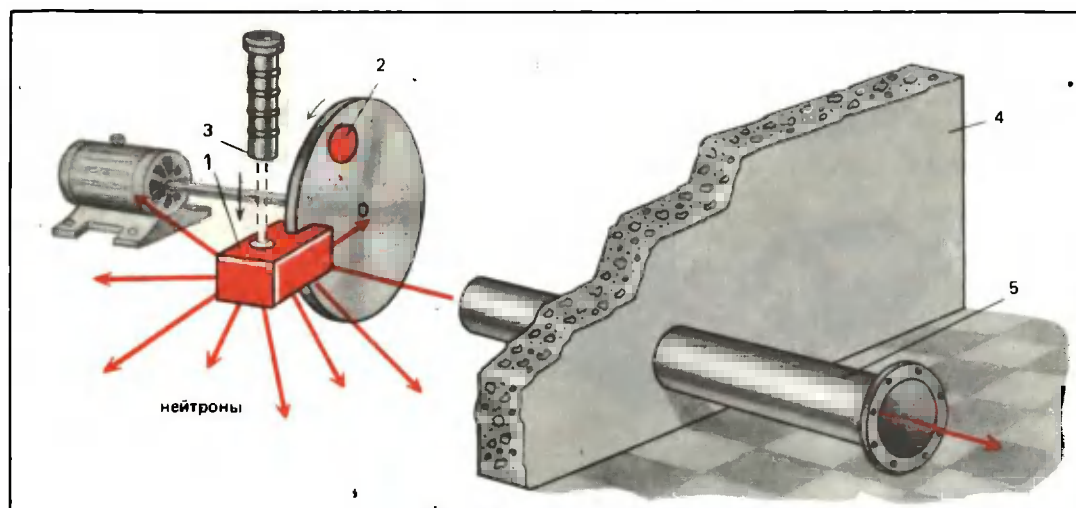
Исследования Р-нечетной зависимости полных нейтронных сечений от спиральности нейтронов с энергиями вблизи р-резонансов в течение последних лет проводились в Лаборатории нейтронной физики (ЛНФ) Объединенного института ядерных исследований в Дубне.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ УСТАНОВКА И ПОСТАНОВКА ОПЫТОВ

Зависимость прозрачности ядерных мишеней от энергии нейтронов разной

ных реакторов. Она состоит из двух частей. Одна часть (сборка из плутониевых стержней) смонтирована неподвижно, а другая (урановый вкладыш) вделана в металлический диск, который быстро вращается на оси электромотора. Диск установлен таким образом, что урановый вкладыш периодически, на непродолжительное время, оказывается внутри неподвижной зоны.

Чтобы пояснить принцип действия реактора, рассмотрим ситуацию, когда диск остановлен и вкладыш находится в середине неподвижной зоны. Если обеспе-



Упрощенная схема реактора ИБР-30. Ц в е т о м показана активная зона, содержащая делящиеся материалы (уран и плутоний). Одна часть зоны (1) устанавливается стационарно, а другая (2) вделана в диск, с большой скоростью вращаемый электромотором. В момент совмещения подвижной и неподвижной зон реактор генерирует нейтронную «вспышку». Для получения более короткой вспышки (в бустерном режиме) в момент совмещения зон на мишень в неподвижной зоне подается электронная «вспышка» от линейного ускорителя (3). В экспериментальные помещения нейтроны проводятся через защитную стену (4) по специальным нейтронным трубам (5).

спиральности изучалась с использованием так называемого метода времени пролета. Исследования проводились на пучке поляризованных резонансных нейтронов, созданном на импульсном реакторе ИБР-30 ЛНФ ОИЯИ. Основным элементом этого реактора (как и всякого другого ядерного реактора) является активная зона, содержащая делящиеся материалы (уран и плутоний). Однако зона реактора ИБР-30 существенно иная, чем у других, стационар-

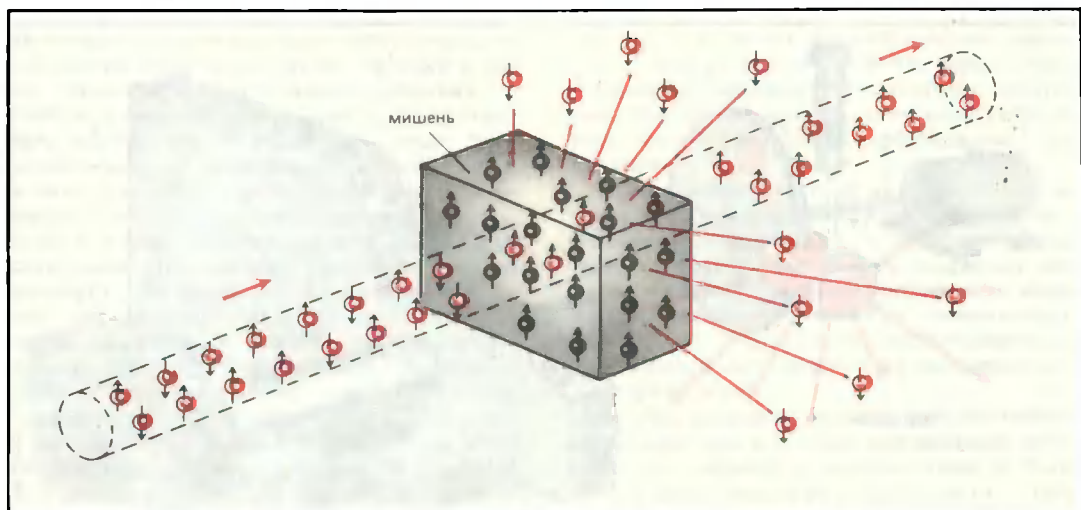
чены так называемые условия критичности, то реактор будет работать в стационарном режиме. При этом потери нейтронов за счет их выхода наружу и поглощения внутри зоны будут скомпенсированы нейтронами, возникающими при делении ядер вещества зоны. Перемещая специальные регулирующие плутониевые стержни неподвижной зоны, можно добиться работы реактора либо в надкритическом, либо в подкритическом режиме. В первом случае интенсивность цепной реакции деления возрастает (реактор «идет в разгон»), а во втором, наоборот, цепная реакция затухает. Реактор, работающий в подкритическом режиме, но достаточно близком к критическому, является «нейтронным усилителем» и называется бустером. На один введенный в бустер нейтрон испускается большее количество нейтронов, причем коэффициент усиления бустера тем больше, чем ближе состояние его активной зоны к критическому. Реактор, работающий в критическом режиме (стационарный реактор),

можно считать в этом смысле бустером с бесконечным коэффициентом усиления.

Активная зона с небольшой надкритичностью используется в ИБР-30 при работе в так называемом реакторном режиме, когда большого разгона реактора не возникает из-за кратковременности пребывания вкладыша в неподвижной зоне при быстром вращении диска. При этом реактор во время совмещения подвижной и неподвижной частей зоны будет давать «нейтронные вспышки». У реактора ИБР-30 длительность таких вспышек составляет

с веществом мишени возникает короткая нейтронная вспышка, которая в несколько сот раз усиливается в активной зоне бустера. В бустерном режиме длительность нейтронных вспышек составляет примерно 5 мкс, а частота их повторения — 100 Гц. Средняя мощность реактора в таком режиме составляет 5—10 кВт.

Реактор ИБР-30, несмотря на довольно скромную среднюю мощность, имеет очень высокую мгновенную мощность, достигающую 100 МВт. Если при этом учесть, что активная зона реактора небольших раз-



Поляризация нейтронного пучка при фильтрации через поляризованную протонную мишень. Черными шариками со стрелками, изображающими спины, показаны нейтроны пучка, а черными — протоны мишени. Протоны преимущественно рассеивают нейтроны со спинами, которые антипараллельны спинам протонов. Это приводит к тому, что профильтрованный через поляризованную протонную мишень нейтронный пучок оказывается поляризованным в направлении поляризации протонов в мишени.

около 70 мкс при частоте их повторения 5 Гц. Средняя мощность реактора 20 кВт, она ограничена возможностями теплосъема с активной зоны.

Для получения более коротких вспышек на ИБР-30 используется бустерный режим — с подкритической активной зоной. В этом режиме в момент совмещения подвижной и неподвижной зон реактора на специальную мишень, расположенную в неподвижной зоне, подается короткий электронный импульс от линейного ускорителя. В результате взаимодействия электронов

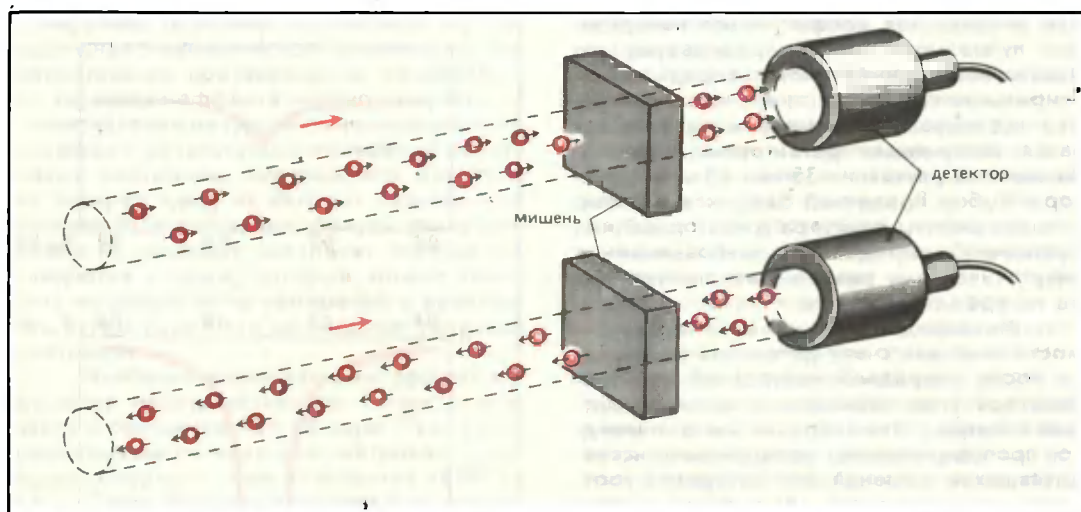
меров (около 20 сантиметров), то ИБР-30 оказывается одним из самых «ярких» нейтронных источников.

Метод нейтронной спектроскопии по времени пролета используется на импульсных источниках нейтронов, каким является реактор ИБР-30, и состоит в измерении промежутков времени, за который нейтроны пролетают известное расстояние, иными словами, в измерении скорости нейтронов. Точность измерения энергии (энергетическое разрешение) в методе времени пролета тем выше, чем больше пролетная база и чем точнее измеряется время пролета. Время пролета и энергия связаны таким образом, что с увеличением энергии нейтронов, при неизменных экспериментальных условиях, энергетическое разрешение ухудшается пропорционально кубу скорости нейтронов. Улучшение энергетического разрешения, как путем сокращения длительности нейтронной вспышки источника, так и путем удлинения пролетной базы, обычно приводит к потере нейтрон-

ной интенсивности, нежелательной при проведении точных измерений. Для каждого импульсного источника нейтронов характерна своя область энергий нейтронов, в которой этот источник обеспечивает оптимальные условия для нейтронной спектроскопии по времени пролета. Для реактора ИБР-30 это электронвольтовая область энергий. Реактор ИБР-30, хотя он и запущен уже более пятнадцати лет назад, до настоящего времени является одним из лучших в мире нейтронных источников для работы в этой области энергий.

ризованную протонную мишень из него выводятся преимущественно нейтроны со спинами, направление которых противоположно поляризации протонов в мишени. В результате, прошедший через мишень пучок оказывается поляризованным в направлении поляризации протонов.

Идеальный поляризатор такого типа («бесконечно» толстая полностью поляризованная мишень с ядрами, взаимодействующими с нейтронами лишь при одной ориентации спинов нейтронов) давала бы полностью поляризованный пучок при



Условия измерений прозрачности мишени: вверху — для нейтронов с положительной спиральностью (поляризованных параллельно импульсу), внизу — с отрицательной спиральностью (поляризованных антипараллельно импульсу). Нейтронный пучок (цветные шарики со стрелками-спинами) проходил через исследуемую мишень и регистрировался нейтронным детектором. Отсчеты детектора подавались в систему временного анализа и накопления данных.

Для поляризации резонансных нейтронов пучок от реактора ИБР-30 пропусклся через мишень, содержащую поляризованные ядра обычного водорода. Этот метод поляризации был предложен в ЛНФ ОИЯИ и состоит в использовании сильной зависимости сечения рассеяния нейтронов на протонах от относительной ориентации их спинов. При антипараллельной ориентации спинов нейтрона и протона это сечение велико, а при параллельной ориентации их спинов заметно меньше. Поэтому при фильтрации пучка через поля-

уменьшении интенсивности в 2 раза. В случае реальной протонной мишени, из-за невозможности полностью поляризовать протоны и «неидеальности» протонного сечения, приходится ограничивать толщину мишени, чтобы обеспечить достаточно высокую интенсивность пучка нейтронов. При этом, естественно, поляризация пучка будет неполной. Количественно она характеризуется разностью вероятностей найти в пучке нейтроны с заданным направлением спинов и нейтроны с противоположной ориентацией спинов. Эта величина и называется поляризацией пучка.

Принципиально этот метод чрезвычайно прост. Техническая же его реализация сильно осложнена трудностями в создании достаточно качественной поляризованной протонной мишени. Для получения поляризованной протонной мишени приходится использовать и специальные монокристаллы, охлажденные до гелиевых температур, и сильные магнитные поля с высокой однородностью, и коротковолно-

вое СВЧ-излучение. Используемая в ЛНФ ОИЯИ поляризованная протонная мишень имеет площадь около 30 см^2 и обеспечивает нейтронную поляризацию, равную приблизительно 0,6 при уменьшении интенсивности пучка в 10 раз.

Коротко опишем размещение экспериментального оборудования и саму процедуру измерений. Поляризатор пучка (поляризованная протонная мишень) располагался в 30 м от реактора. Он давал поперечно поляризованный нейтронный пучок и был оборудован устройством для быстрого реверса нейтронной поляризации. За поляризатором с помощью магнитных полей специальной конфигурации поляризация пучка менялась на продольную, что давало нейтронный пучок с определенной спиральностью. Затем пучок проходил через исследуемую мишень и регистрировался нейтронным детектором, расположенным на расстоянии 35 или 60 м от реактора. Выбор пролетной базы, как и выбор режима работы реактора (реакторный или бустерный), определялся требованиями к энергетическому разрешению спектрометра по времени пролета.

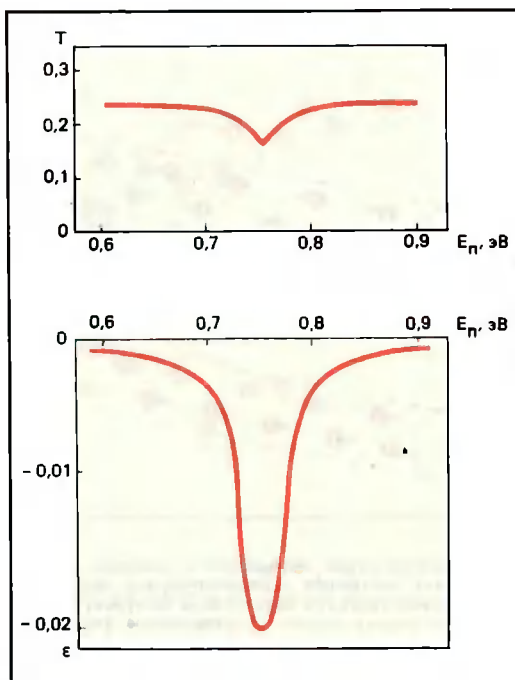
Непосредственно измерялись зависимости скорости счета детектора от времени после очередной нейтронной вспышки реактора (так называемые времяпролетные спектры). Эти скорости счета, очевидно, пропорциональны прозрачности исследовавшихся мишеней для нейтронов соответствующих энергий. Временной анализ скорости счета детектора и ее регистрация осуществлялись специальной электронной системой, созданной на базе малой ЭВМ. Эта же система периодически, по заданной программе, реверсировала поляризацию пучка (спиральность нейтронов) и обеспечивала накопление времяпролетных спектров для нейтронов разных спиральностей в двух отдельных частях памяти ЭВМ. Измерения с разными спиральностями чередовались с интервалом 0,5—1 мин, что повышало надежность экспериментальных результатов. В связи со сравнительно небольшим изменением прозрачности мишеней при реверсе спиральности нейтронов, измерения с каждой из мишеней продолжались довольно долго — несколько сотен часов.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

На описанной установке были проведены исследования Р-нечетной зависимости полных нейтронных сечений (прозрачно-

стей соответствующих ядерных мишеней) от спиральности нейтронов более чем для десяти резонансов ряда сложных ядер. Эффект нарушения пространственной четности был обнаружен в четырех из исследованных резонансов.

То, что более чем в половине случаев эффекта не было видно, совершенно естественно в рамках современных представлений об этом эффекте. У всех исследованных резонансов были неизвестны спины, да и то, что эти резонансы являются р-резонансами, было известно



Результаты экспериментальных исследований нарушения Р-четности в нейтронном резонансе с энергией 0,75 эВ ядра ^{139}La . Вверху — зависимость от энергии нейтронов E_n (вблизи резонанса) прозрачности T исследованной лантановой мишени для нейтронов с одним из возможных значений спиральности. Резонансному всплеску нейтронного сечения на кривой, описывающей прозрачность мишени, соответствует, естественно, провал. Внизу — энергетическая зависимость величины $\epsilon = \frac{T_+ - T_-}{T_+ + T_-}$ (T_+ и T_- — про-

зрачности мишени для нейтронов с положительной и отрицательной спиральностями). Эта величина пропорциональна разности нейтронных сечений для нейтронов с разными спиральностями, обусловленной нарушением четности. Отчетливо видно резонансное поведение Р-нечетного эффекта. Его знак и величина показывают, что резонансное сечение при $E_n = 0,75$ эВ для нейтронов с положительной спиральностью на 15 % больше, чем для нейтронов с отрицательной спиральностью.

лишь предположительно. Если такой резонанс является р-резонансом, но имеет спин, равный $1 \pm 3/2$, то эффекта на нем просто не должно быть, а если это s-резонанс, то эффект на нем будет кинематически подавлен до практически ненаблюдаемой величины. Даже в случае, когда исследуемый резонанс является р-резонансом с нужным спином, эффект в нем может оказаться малым и «утонуть» в ошибках измерений, если природа этого резонанса такова, что он плохо смешивается с соседними s-резонансами.

Во всех случаях, когда Р-нечетный эффект в исследованном резонансе был обнаружен, отчетливо проявилась его резонансная энергетическая зависимость. Дополнительное подтверждение резонансного характера эффекта можно получить из сопоставления результатов измерений в резонансах с результатами измерений на тепловых нейтронах, имеющимися для трех из четырех ядер, на которых резонансный эффект был наблюден. Результаты измерений на тепловых нейтронах хорошо согласуются с теми, которые можно получить из результатов измерений в резонансах путем пересчета на энергию тепловых нейтронов.

Наиболее впечатляющим эффект нарушения пространственной четности оказался в резонансе 0,75 эВ ядра ^{139}La . Здесь резонансные сечения для нейтронов с разными спиральностями отличаются почти на 15 %. Столь большое усиление Р-нечетного эффекта в данном случае имеет кинематическую природу и обусловлено тем, что этот резонанс смешивается с аномально сильным s-резонансом.

Энергетическое поведение и порядок величины Р-нечетных эффектов в полных нейтронных сечениях находятся в хорошем согласии с предсказаниями модели, объясняющей усиленные Р-нечетные эффекты в ядерных процессах тем, что в них из-за слабого взаимодействия происходит смешивание по четности возбужденных состояний ядер. Эта модель применяется уже давно, она, в частности, стимулировала первые попытки найти усиленные Р-нечетные эффекты в ядерных процессах, приведшие к их открытию. Однако лишь наблюдение нарушения четности в нейтронных резонансах явилось прямым подтверждением обсуждаемой модели. В этом и состоит основная ценность исследований Р-нечетных эффектов в нейтронных резонансах.

Что касается количественного подтверждения гипотезы универсального слабого взаимодействия, то результаты иссле-

дований в нейтронных резонансах дают столь же немного, как и результаты всех остальных исследований усиленных Р-нечетных эффектов в ядерных процессах. Причина здесь именно в том, что эффекты значительно усилены, а надежно количественно оценить величину этого усиления пока не удастся. Можно лишь надеяться, что по мере накопления экспериментальных данных по усиленным Р-нечетным эффектам в ядрах удастся сделать некоторые статистические заключения о слабых нуклон-нуклонных взаимодействиях, проявляющихся в этих эффектах.

Вопрос о нарушении пространственной четности интересен не только в фундаментальном аспекте симметрии или асимметрии природы относительно правого и левого на «изначальном» уровне взаимодействия между микрочастицами. Было бы интересно найти объяснение «небезразличию» между правым и левым, хорошо известному в живой природе. В качестве примеров этого достаточно напомнить, что многие сложные природные органические молекулы «закручены» в одну сторону (имеют определенную спиральность) и что строение тела у многих живых существ имеет явно выраженную право-левую асимметрию. Известное объяснение такого нарушения Р-четности, сводящееся к случайному его возникновению и дальнейшему сохранению в силу законов наследственности, представляется недостаточно убедительным. Объяснить же такую асимметрию на основе особенностей взаимодействия между микрочастицами, из которых состоит все в природе (в том числе и все живое), пока не удается. Из ряда взаимодействий, существующих между микрочастицами, пространственная четность нарушается лишь в слабом взаимодействии, а его роль в структуре сложных многоатомных образований исчезающе мала. На последнее утверждение никак не влияет и то обстоятельство, что в некоторых процессах, обсуждавшихся выше, роль слабых взаимодействий оказывается усиленной до уровня, сравнимого с ролью сильных взаимодействий. Уж очень в специфических условиях это имеет место.

Если нарушение пространственной четности в живой природе все же не случайно, то объяснение ему нужно искать в чем-то другом, быть может, в каких-то механизмах усиления слабого взаимодействия, присущих самой живой природе.

«ПРЕОДОЛЕНИЕ САМОГО СЕБЯ»

Б. Г. Кузнецов — историк науки

С. Р. Филонович,
кандидат физико-математи-
ческих наук
Москва

Борис Григорьевич Кузнецов (1903—1984) относится к плеяде исследователей, в трудах которых закладывались основы и формировались традиции советской истории науки. Его творческая деятельность охватывает почти пятидесятилетний период: с середины 30-х до середины 50-х годов ученый занимался исследованием конкретных проблем истории физики и техники, а затем перешел к изучению вопросов, связанных с тем, что он сам называл «неклассической ретроспекцией», т. е. анализом важнейших событий истории науки (в основном — физики) в свете квантово-релятивистской научной революции первой трети XX в. Б. Г. Кузнецов — автор более 30 монографий и большого числа статей, посвященных различным аспектам истории и философии науки. Его работы переведены на английский, французский, немецкий, болгарский, польский и другие иностранные языки. К числу наиболее известных относятся «Развитие физических идей от Галилея до Эйнштейна в свете современной науки» (2-е изд., М.: Наука, 1966), «Пути физической мысли» (М.: Наука, 1968), «История философии для физиков и математиков» (М.: Наука, 1974), «Эйнштейн. Жизнь. Смерть. Бессмертие» (5-е изд., М.: Наука, 1979). Последняя книга «Встречи» (М.: Наука, 1984), по его собственным словам, является



Борис Григорьевич Кузнецов.
1903—1984.

результатом некоторой ностальгии «по быломu»: по ушедшим людям (среди них Г. М. Кржижановский, В. Л. Комаров, В. И. Вернадский, Я. И. Френкель), по беседам, улицам, садам и квартирам, где эти беседы происходили. Это своего рода объяснение необходимости философского «досуга», равнозначного душевной собранности и напряжению творческих сил. Вышла книга уже после кончины ученого.

Б. Г. Кузнецов вел большую научно-организационную работу. Он был одним из организаторов Института истории естествознания и техники АН СССР, входил в состав редколлегии ряда журналов. Его исследовательская деятельность получила признание у нас в стране и за рубежом: Б. Г. Кузнецов был удостоен звания Заслужен-

ного деятеля науки и техники РСФСР, являлся действительным членом Международной академии истории науки, избирался председателем комиссии по истории новейшей физики Международного союза истории и философии науки.

Из перечня книг и основных направлений деятельности ученого кажется, что Б. Г. Кузнецов будто бы всегда занимался историей науки и философии. Между тем это не так. Свою деятельность он начинал как экономист и был доктором экономических наук. Поэтому для полной смены деятельности потребовалось, говоря словами М. Сервантеса, «преодоление самого себя, а более доблестной победы невозможно себе пожелать». Тем более что именно новые его идеи, отраженные в книгах, принесли ему широкую известность.

Б. Г. Кузнецов часто бывал за рубежом — во Франции и Италии, США и Канаде, Бельгии, Мексике, Болгарии, в других странах. Его поездки никогда не были чисто туристическими — они служили катализаторами творчества. Из каждой поездки ученый привозил по несколько тетрадок-дневников, где записывал мысли, пробужденные увиденным и услышанным, которые впоследствии преобразовывались в статьи, очерки, книги.

Последняя зарубежная поездка Б. Г. Кузнецова была весной 1982 г. в Брюссель, куда его пригласил известный бельгийский ученый, лауреат Нобелевской премии И. Пригожин. В Бельгии Борис Григорьевич много общался с самим Пригожиным, с его коллегами по Сольвеевскому Международно-

му физико-химическому институту. Результатом этой поездки оказалась книга «Идеалы современной науки» (М.: Наука, 1983), где подробно освещаются парадоксы, коллизии и противоречия естествознания как целого, заставляющие постоянно уточнять, менять, конкретизировать и заново обобщать, казалось бы, давно известное. Поездка в Брюссель оказалась особенно плодотворной: именно здесь родился замысел последней, к сожалению, до конца не дописанной, книги — о великом голландском мыслителе XVII в. Б. Спинозе.

Об этом философе, который зарабатывал себе на жизнь шлифовкой линз, написаны сотни томов. Что же привлекло к нему Б. Г. Кузнецова? Последнее время ученого интересовали вопросы, связанные

с процессом творческого мышления. Большую роль в этом процессе он отводил интуиции, которая, по его мнению, связана не только с логическими конструкциями ума, но со всем психологическим строем человека. Мысль Б. Спинозы о том, что познание зависит не столько от прагматических целей человека, сколько от его эмоциональных потребностей, стала стержневой для Б. Г. Кузнецова.

В этой работе автор хотел проследить, как развивались идеи Спинозы на протяжении трех веков, вплоть до наших дней. Борис Григорьевич работал над книгой со времени возвращения из Бельгии в июне 1982 г. до самых последних дней жизни. В главах, которые были за это время написаны, нашли отражение проблемы

необратимости и ценности познания, инвариантов науки, экономических и общекультурных ценностей современного естествознания.

В «Природе» были опубликованы две статьи Б. Г. Кузнецова — «Ученый-революционер (к 85-летию со дня рождения Г. М. Кржижановского)» (1957, № 1) и «Декарт в свете современной науки» (1971, № 3). Ныне журнал предлагает читателям два небольших отрывка из рукописи Б. Г. Кузнецова о Спинозе («Предисловие» и "Amor intellectualis dei, прагматизм и эффект науки"). Можно надеяться, что у тех, кто не знает работ Б. Г. Кузнецова, чтение этих отрывков пробудит желание подробнее познакомиться с творчеством одного из крупнейших советских историков науки.

Спиноза

Б. Г. Кузнецов

ПРЕДИСЛОВИЕ

Я много думал о тех замечаниях, которые следовало бы предпослать книге о Спинозе¹. Предисловие находится между титульным листом и содержанием, и оно

¹ Бенедикт Спиноза (1632—1677) — нидерландский философ-материалист, пантеист, атеист. Его главные философские произведения: «Трактат об усовершенствовании разума» (1661) и «Этика» (1662—1675).

Опираясь на механико-математическую методологию, Спиноза стремился к созданию целостной картины природы. Центральным пунктом его онтологии (учения о принципах бытия, его структуре и закономерностях) является тождество бога и природы, которую Спиноза понимал как единую и единственную, вечную и бесконечную субстанцию, исключающую существование какого-либо другого начала, и тем самым как причину самой себя (causa sui).

Натуралистически рассматривая человека как часть природы, Спиноза утверждал, что тело и душа взаимнонезависимы. Это воззрение сочетается у него с материалистической тенденцией в объяснении мыслительной деятель-

должно как-то связать выбор героя книжки с тем, что сказано об этом герое. Для меня основой выбора была особенная роль Спинозы для истории науки — главного направления моих мыслей и работ в течение последних десятилетий. Для меня Спиноза был (и остается поныне) мыслителем, который противопоставил сам процесс познания, т. е. исторический процесс науки, всем попыткам остановить этот процесс, заменив его канонизированными «вечными истинами», принудительно обязательными и вытекающими из различных кано-

ности человека: зависимость мышления от телесного состояния человека обнаруживается, по Спинозе, на стадии чувственного познания. Последнее есть первый род знания. Рационализм Спинозы проявился в противопоставлении им понимания (intellectio) — единственного источника достоверных истин — чувственному познанию. Понимание у Спинозы является вторым родом познания, состоящим из рассудка (ratio) и разума (intellectus). Третьим родом познания является интуиция, являющаяся фундаментом достоверного знания. — Прим. ред.

нических текстов, так называемых *ratio scripta*². Перейти от канонизированного *ratio scripta* к собственно безостановочному процессу познания — в этом центральная роль Спинозизма и основа пантеизма, объединяющего в понятии познания абсолютную бесконечную субстанцию — бога с подвижной и относительной природой, с не менее относительным к подвижным познанием природы — экспериментально-эмпирическим («внешнее оправдание» Эйнштейна) и логическим («внутреннее совершенство» [Эйнштейна]).

Указанный переход был великим торжеством гуманизма — отказом от абсолютного знания, стоящего над человеком, и всевластием развивающегося знания — относительного и неподвластного канонизации и принудительному авторитету.

Это сближение Спинозизма и пантеизма, с одной стороны, и истории науки — с другой сближает движущую силу истории науки — *amor dei*³ Спинозы — с проблемой культурно-исторической и общеисторической роли истории науки. Спинозизм и пантеизм были завершением того освобождения мысли от *ratio scripta*, от авторитарных норм, которое началось Возрождением.

Через триста лет после смерти Спинозы историческая оценка его идей, т. е. выяснение их значения для современной науки и культуры и их связи с исторически преходящими особенностями данного времени, неизбежно вырастает в переоценку. В чем состоят эти особенности второй половины и последней четверти XX столетия?

В наши дни освобождение от авторитарных норм в познании — это не только историко-философская, но и социальная проблема. Сейчас *ratio scripta*, которую Спиноза в «Трактате»⁴ считал источником ненависти и раздражения, тем, что разделяет людей и делает их врагами, сейчас *ratio scripta* угрожает продолжению того, что Тейяр де Шарден назвал «феноменом человека»⁵. Человек — это самопознание



Бenedикт Спиноза. 1632—1677.

мира, и прекращение самопознания — это прекращение существования населенной Земли. Спинозовская любовь к богу — любовь к познанию, *Amor intellectualis dei*⁶,

мной наукой. За религиозное инакомыслие, отвергавшее ортодоксальные церковные догмы, Тейяр был лишен права преподавания и публикации своих философско-теологических сочинений и изгнан церковными властями из Франции. Жил в Китае и в США. Тейяр пытался преодолеть статичность господствующей томистской (от Фомы Аквинского) теологии на основе теории эволюции. Отвергая ветхозаветный миф о творении перво-человека, Тейяр считал, что человек — наиболее современный результат многотысячелетней эволюции органического мира, в свою очередь развивавшегося на основе неорганического мира. Тейяр различает три последовательные качественно различные стадии эволюции: «преджизнь» (имея в виду литосферу), «жизнь» (биосферу) и «феномен человека» (ноосферу). Появление человека, по Тейяру, знаменует не конец эволюции — это ключ к возрастающему совершенствованию мира; человеческие страдания, символом которых, по его воззрениям, является распятый Христос, — стимул к активному соучастию человека в совершенствовании бытия. Самосознание человека — источник «персонализации» — влечет за собой стремление к «социализации», которую Тейяр понимает как «динодушие». — Прим. ред.

⁶ *Amor intellectualis dei* (лат.) — интеллектуальная любовь к богу. — Прим. ред.

² *Ratio scripta* (лат.) — писанная доктрина, закон. — Прим. ред.

³ *Amor dei* (лат.) — любовь к богу. — Прим. ред.

⁴ Имеется в виду «Трактат об усовершенствовании разума». — Прим. ред.

⁵ Пьер Тейяр де Шарден (1881—1955) — французский философ, геолог, палеонтолог, археолог, антрополог и католический теолог, член ордена иезуитов, священник. Один из первооткрывателей синантропа. Выдвинул свое призвание в радикальном обновлении христианского вероучения в соответствии с совре-

противопоставление всем формам канонизации человеческих мнений, всякому «запрещению идей», условие сохранения жизни и сознания на Земле. Гносеологический идеал становится идеалом мирного сосуществования, сотрудничества и безопасности государств и народов.

Таким образом, на наших глазах решается вопрос: оканчивается ли сейчас «феномен человека», или человеческая цивилизация оказывается бессмертной, и бессмертной будет ее необратимая трансформация — социальная, экономическая, экологическая, моральная и гносеологическая?

Ответ на этот вопрос связан с анализом современного этапа человеческого познания и неотделимого от него преобразования мира. При этом речь идет не только и даже не столько о слабой необратимости бытия и познания, т. е. о различии отдаленного прошлого и отдаленного будущего, а о необратимости, которая становится явной уже в данный момент, т. е. о том, что Рейхенбах назвал «сильной необратимостью»⁷.

Актуализация необратимости — основное, что Спиноза внес в учение о времени. Метафизика XVII в. и, прежде всего, Декарт⁸, обсуждала проблему субстанции: какие элементы бытия и сознания являлись инвариантной сущностью мира. Спиноза перенес центр тяжести проблемы на познание, объединив таким образом эволюцию картины мира (историческую эволюцию преобразования картины мира) с проблемой ее бесконечности (фигурировавшей под именем бога) и многообразия конечных предикатов (фигурировавшего под именем природы). Отсюда — *deus aut natura*⁹, т. е. устранение онтологической кол-

лизии бытия при ее переходе в гносеологическую коллизию истины и заблуждения, в коллизию, которая все время разрешается необратимым переходом от заблуждения к истине и вновь возникает.

Неклассическая наука конца XX в. с каждым новым конкретным вопросом о природе соединяет прозвучавший две тысячи лет назад вопрос: «Что есть истина?» Без такого неизбежного продолжения диалога человека с природой не может быть сформулирована ни проблема Космоса — общая теория относительности, ни проблема микрокосмоса — квантовая механика, общая теория элементарных частиц, ни проблема жизни... Для судьбы человеческой цивилизации очень важным и благоприятным обстоятельством служит то, что если научная революция начала XX столетия, приведшая к атомной угрозе, была сделана в условиях *ratio scripta*, то в конце столетия научная революция происходит в условиях нового альянса¹⁰ не только человека и природы, но и в условиях гуманистического альянса людей при их постоянном экспериментальном и индустриальном диалоге с природой.

AMOR INTELLECTUALIS DEI, ПРАГМАТИЗМ И ЭФФЕКТ НАУКИ

Из исторической связи исходной идеи Спинозы "*Cogitare — esse*" («мыслить — значит, быть») с последующей философией, связи, раскрытой в «Философских тетрадах» В. И. Ленина, связи с французским материализмом XVII в., английским эмпиризмом и немецкой классической философией, видно, как изменила философия Спинозы представление об объекте познания, о сенсуальном (чувственном. — Ред.) постижении мира. А как изменила она представление о субъекте познания, о познающем природу интеллекте и о внутрен-

⁷ См. об этом: Рейхенбах Г. Направление времени. М., 1962. — Прим. ред.

⁸ Рене Декарт (1596—1650) — французский философ и математик. Основной чертой его философского мировоззрения является дуализм души и тела, «мыслящей» и «протяженной» субстанции. Отождествляя материю с протяжением, Декарт понимает ее не столько как физическое вещество, сколько как стереометрическое пространство. Мировая материя (пространство) беспредельна и однородна; она не имеет пустот и делима до беспредельности. Каждую частицу материи Декарт рассматривал как инертную и пассивную массу. Движение, которое Декарт сводил к перемещению тел, возникает в результате толчка, сообщаемого данному телу другим телом. Общий же первопричиной движения, по Декарту, является бог, который сотворил материю вместе с движением и покоем и сохраняет их. — Прим. ред.

⁹ *Deus aut natura* (лат.) — бог или природа. — Прим. ред.

¹⁰ Таково название книги И. Пригожина и И. Стенгерс. Обосновывая свой взгляд на мир, они пишут: «Мы ушли от представления о природе как об ассимилировавшемся автомате, подчиненном математическим законам, чье нерушное проявление определяет раз навсегда ее будущее, так же как было определено ее прошлое, мы приходим к совершенно иной теоретической ситуации, к картине мира, включающей самого открывающего и описывающего этот мир человека. Не будет преувеличением характеризовать эту концептуальную трансформацию как подлинную метаморфозу науки». Prigogine I., Stengers I. *La Nouvelle Alliance. Metamorphoses de la science*. P., 1979, p. 9; см. об этом: Кузнецов Б. Г. Идеалы современной науки. М., 1983, с. 21. — Прим. ред.

нем механизме познания, в частности об импульсе познания, о том, что толкает человека к познанию и, таким образом, является движущей силой всей эволюции познания и преобразования мира — науки и техники? Здесь «Трактат» и «Этика» изменили очень многое.

Что заставляет человека вглядываться во внешний мир, искать в нем субстанцию и причинные связи? Этот стимул, по Спинозе, — интеллектуальная любовь — *Amor intellectualis dei*.

Так в гносеологию входит любовь, эмоция, уже не логическая связь, а психологическая категория. Несколько слов об истории слова *Amor*.

Этим именем Данте назвал в «Новой жизни» живое воплощение своего чувства к Беатриче. В «Божественной комедии» *Amor* становится уже воплощением познания: Беатриче рассказывает Данте о Космосе, при переходе к раю она заменяет Вергилия.

В философии Спинозы *Amor* становится психологическим стимулом познания. Логические умозаключения не могут привести к изменению логических норм. Металогические переходы заключены не в логике, а в психологии, которая обладает чувственным тоном, познание гедонистично¹¹: именно по этому психологическому стимулу и получает оно свое имя — *Amor intellectualis dei*. Отсюда следует, что не прагматические цели движут познание вперед, а внутренняя эмоциональная потребность человека, которая, заметим, забегая несколько вперед, является естественным признаком самого возникновения человека.

Как ни странно, «Наука логики» Гегеля завершает превращение *Amor intellectualis* в исходный смысл познания и в осознание этого превращения. Логика Гегеля парадоксальна, она не может стать системой чисто логических, выводимых одно из другого умозаключений. Логика Гегеля — это освобождение разума от простых и даже тавтологических рядов умозаключений. Логика Гегеля — металогична. Поэтому она требует металогических переходов от одних логических норм к иным,

а такие переходы — интуитивны и поэтому психологичны, стимулом им служит *Amor intellectualis*. Именно в этом заключается связь диалектики с материализмом. Эмпирия переходит в умозаключения интуитивно в рамках не логики, а психологии.

Интуиция по отношению к логическим умозаключениям является предварительным ощущением бесконечной применимости понятий к наблюдениям, применимости понятий и логических выводов к бесконечному числу наблюдаемых случаев. Таким образом, интуиция есть ощущение актуальной бесконечности (которой нет в логическом построении теории).

Эта функция интуиции, позволяющая перейти от наблюдения (эйнштейновского внешнего оправдания) к логике (внутреннему совершенству)¹², связана с решительным возвратом к *Amor intellectualis* — ведь эти два слова, поставленные рядом, выражают психологическую подоснову слияния логической потенциальной бесконечности, логических умозаключений и реальных воплощений и актуальной бесконечности, интуитивного *amor*. В сущности, уже поставленные рядом слова *amor* и *intellectualis* означают переход от логики к металогике.

Анализ соотношения гносеологии (и онтологии) Спинозы и логики Гегеля объясняет, почему в «Философских тетрадах» В. И. Ленина одно из центральных мест принадлежит замечанию о продолжении дела Гегеля и Маркса — диалектической обработке истории науки и техники. В познании, в его необратимой истории и Гегель, и Маркс (а до них — Спиноза) видели доказательство реальности объективного мира и эмпирически постижимых пространственных тел. Что же служит для человека стимулом такого познания? Здесь я хочу сделать одно уводящее в сторону автобиографическое замечание.

Зимой 1943 г., в Сталинграде, очередную атаку немцев на траншеи, в которых находились батальоны нашей инженерной бригады, сопровождал и поддерживал немецкий самолет, который осыпал траншею бомбами и пулеметными очередями. Я думал об очень близкой и, по-видимому, неизбежной смерти, но был уже достаточно опытным офицером, чтобы знать, как можно ликвидировать это ощущение и вернуть

¹¹ Гедонизм (от греч. ἡδονή — наслаждение) — этическая позиция, утверждающая наслаждение как высшее благо и критерий человеческого поведения, сводящая к нему все многообразие моральных требований. Идеи гедонизма были распространены в античности, в эпоху Возрождения и в этических теориях просветителей. — Прим. ред.

¹² О роли интуиции в гносеологии А. Эйнштейна см. первые главы книги: Фейнберг Е. Л. Кибернетика, логика, искусство. М., 1981.

себе то «ощущение бессмертия», потеря которого на передовой является таким же ЧП, как дезертирство; моя роль как начальника политотдела бригады как раз и состояла в ликвидации ЧП. В напряженной обстановке я вспоминал о встречах с людьми и о прочитанных книгах. Когда наступление немцев выдохлось, ко мне подошел командир соседней бригады, полковник Корвяко — самый, по общему признанию, храбрый офицер инженерных войск. Он командовал бригадой десантников, забрасывавшихся в ближайшие тылы противника с грузом тлуола и подрывавших немецкие доты. И Корвяко, и его бойцы в промежутках между вылетами начинали скучать, нетерпеливо ожидая следующего задания. Корвяко спросил меня, о чем я думал во время атаки немцев, и, узнав, что о книге Спинозы, заметил: «Что ж, это правильно, вы помните «Есть упоение в бою...» и следующую фразу «Пира во время чумы»: «Все, все, что гибелью грозит, для сердца смертного таит неизъяснимы наслаждения — бессмертья, может быть, залог...» Я думаю, что не только то, что грозит нам гибелью, но и всякое отвлечение от личного бытия и от прагматических задач приближает человека к невыразимому наслаждению и к «бессмертью, может быть, залог»¹³.

Познание мира, освобождение от *ratio scripta* и от выводимых из него, на основе неизменных логических норм, частных выводов, познание, включающее интуитивные переходы — психологические акты с гедонистическим эффектом («неизъяснимы наслаждения») являются залогом бессмертия. Вероятно, и для Спинозы такой «залог» познания был источником его трагической, но внутренне счастливой жизни.

Реплика храброго инженерного полковника — командира и сказочного героя зафронтовых форм инженерного штурма — запомнилась мне надолго.

В вопросах о стимулах познания существуют две противоположные тенденции: *Amor intellectualis* и прагматизм, сводящий эти стимулы к практическим применениям науки. Вторую концепцию — прагматизм — позитивисты положили в основу гносеологии. В. И. Ленин раскритиковал ее в «Философских тетрадах», в замечаниях на книгу А. Рея «Современная философия»¹⁴.

Существуют, однако, два этажа науки, в которых *Amor intellectualis* и прагматизм играют явно различные роли. Нельзя и подумать, что теория относительности или, в наше время, концепции «черных дыр» и Big Bang («большого взрыва») обязаны перспективе какого-либо промышленного применения. Вместе с тем применения лазеров не могли быть прямым результатом *Amor intellectualis*.

Существует явное различие в эффекте этих двух «этажей». Механические открытия и техническая реконструкция дают не снижающуюся скорость приращения производительности общественного труда. Когда техническое воплощение новых достижений науки становится непрерывным, происходит непрерывное ускорение роста производительности труда. Когда же наука углубляется и движется вперед в наиболее общие, фундаментальные, охватывающие самые основы научно-философской картины мира исследования, и когда эти исследования все в большей степени входят в содержание общественного труда, тогда ускорение самого роста производительности труда приобретает непрерывно возрастающий темп.

Именно эти «бескорыстные» (*Amor intellectualis*) исследования дают все более интенсивный и вместе с тем все более неопределенный и неожиданный эффект, воздействующий на цивилизацию в целом.

Публикацию подготовил С. Р. Филонович.

¹⁴ Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 475—525.

¹³ О беседах с друзьями военных лет говорится в моей книге «Встречи».

Бонифатий Михайлович Кедров

10 сентября 1985 г. скончался выдающийся советский философ и историк науки академик Бонифатий Михайлович Кедров, член редакционной коллегии журнала «Природа».

Б. М. Кедров родился 10 декабря 1903 г. в г. Ярославле в семье видного революционера-большевика, соратника В. И. Ленина. Он рано пошел по стопам отца: пятнадцатилетним юношей, в 1918 г., стал членом партии большевиков, а в 17 лет сражался добровольцем на фронтах Гражданской войны. Личное знакомство с В. И. Лениным и восхищение его философскими трудами во многом определило будущую научную жизнь Б. М. Кедрова.

После окончания Московского государственного университета и аспирантуры Института общей и неорганической химии АН СССР Б. М. Кедров находился на партийной и преподавательской работе, сначала в Ленинграде, затем в Москве. В первые дни Великой Отечественной войны Б. М. Кедров вступил в народное ополчение. После демобилизации работал заведующим сектором и заместителем директора Института философии АН СССР. В 1947 г. был назначен главным редактором журнала «Вопросы философии», затем работал профессором Академии общественных наук при ЦК КПСС, директором Института истории естествознания и техники

АН СССР, Института философии АН СССР. В последние годы Б. М. Кедров возглавлял сектор «История науки и логика» в Институте истории естествознания и техники АН СССР.

Б. М. Кедров являлся Председателем Советского национального объединения истории и философии естествознания и техники, членом академий наук ряда социалистических стран, а также Международной академии истории науки.

Бонифатий Михайлович был ученым необычайно широкого профиля и поразительной работоспособности — им опубликовано более 800 книг и статей. Химик по образованию, он охватывал в своих трудах проблемы, относящиеся к общей термодинамике и химической атомистике, истории естествознания и психологии научного творчества, марксистско-ленинской философии и современной научно-технической революции. Однако творчество Б. М. Кедрова было единым. Неизменно тяготел к широкому теоретическому синтезу, Бонифатий Михайлович многие свои труды подчинил захватывающей и неисчерпаемой теме — диалектике естествознания. С работы над «Диалектикой природы» Ф. Энгельса он начал в 1925 г. свой научный путь. А в 1983 г. один из этапов этих исследований был завершен выпуском в свет книги «О методе изложения диалектики. Три великих замысла», в которой подверглись анализу понятия материалистической диалектики у Маркса, Энгельса, Ленина.

Более чем полувековой творческий путь Б. М. Кедрова в науке ознаменован множеством интересных и практически важных результатов. С позиций физической атомистики Дальтона им найдено логическое решение одной из сложнейших термодинамических задач — парадокса Гиббса. Б. М. Кедров изучил познавательные особенности формирования химической атомистики Дальтона; установил принципы субординации уровней развития атомно-молекулярного учения в химии. Исследование архива Д. И. Менделеева помогло ему восстановить историческую и логическую последовательность открытия Периодического закона химических элементов, раскрыть психологию научного творчества великого химика. Итоги этих исследований обобщены в многочисленных монографиях Бонифатия Михайловича: «День одного великого открытия» (1958), «Философский анализ первых трудов Д. И. Менделеева о периодическом законе. 1869—1871 гг.» (1959), «Три аспекта атомистики» (1969),

«Микроанатомия великого открытия» (1970), «Мировая наука и Д. И. Менделеев» (1984). В ходе исследований в области истории атомистики установлены принципы периодизации истории химии, показана роль изучения эволюции научных понятий в развитии современного естествознания, создана типология научных открытий.

Параллельно этому Б. М. Кедров разрабатывал вопросы о методологическом значении материалистической диалектики для развития науки. В сопоставлении с замыслами Энгельса о создании диалектики естествознания он осуществлял анализ ленинского философского наследия, и в частности тех работ В. И. Ленина, в которых с диалектических позиций освещалась кризисная ситуация в развитии физики на рубеже XIX и XX вв. В этой связи Б. М. Кедров подробно рассматривал сущность «новой революции естествознания» и в своих книгах «Ленин и революция в естествознании XX века» (1969), «Ленин и научные революции» (1980) выдвинул и обосновал оригинальную концепцию научных революций, установил их критерии и типы. Многие работы Б. М. Кедрова посвящены классификации современного научного знания.

Все эти проблемы Б. М. Кедров сумел сделать достоянием не только ученых-специалистов, но и самой широкой читательской аудитории, внося огромный вклад в дело популяризации науки. В 1934 г. была напечатана первая статья Б. М. Кедрова в журнале «Природа». С тех пор он был активным автором старейшего популярного академического издания, членом редакционной коллегии, выступал со статьями и воспоминаниями, которые пользовались неизменным успехом у читателей. В анкете, которую проводил наш журнал, его работы названы в числе лучших.

Заслуги Б. М. Кедрова высоко оценены Коммунистической партией и Советским государством. Он был награжден тремя орденами Ленина, орденами Октябрьской Революции, Трудового Красного Знамени, Красной Звезды, «Знак почета», многими медалями.

Бонифатий Михайлович Кедров умел сочетать в себе умную пристрастность и доброту, принципиальность и сердечность, отзывчивость к нуждам своих коллег, студентов, читателей. Таким он и останется в нашей памяти — как образец ученого и человека, учителя и друга.

Космические исследования

Биоспутник «Космос-1667»

10 июля 1985 г. в Советском Союзе осуществлен запуск очередного специализированного биоспутника — «Космос-1667», выведенного на околоземную орбиту с высотой в перигее 222 км, высотой в апогее 297 км, наклонением 82,3° и периодом обращения 89 мин. На борту биоспутника, предназначенного для продолжения исследований влияния факторов космического полета на живые организмы, установлены научно-экспериментальные системы с различными биологическими объектами, а также аппаратура для радиационно-физических исследований.

Основным объектом исследований на «Космосе-1667», как и на предыдущем биоспутнике, были две обезьяны макаки-резусы. Это позволило значительно дополнить и расширить полученные ранее результаты по изучению адаптационных реакций организма в начальный период пребывания в невесомости. Находившиеся на борту биоспутника 10 крыс-самцов предназначались для последующей оценки влияния острого периода адаптации к невесомости на репродуктивную функцию животных.

Программа исследований по биологии предусматривала также осуществление следующих экспериментов:

«Энергообмен-2», ставившей целью получить данные о динамике энергозатрат плодовой мушки в процессе ее развития

¹ До этого начиная с 1973 г. в Советском Союзе было запущено шесть специализированных биоспутников: «Космос-605» (1973), «Космос-690» (1974), «Космос-782» (1975), «Космос-936» (1977), «Космос-1129» (1979), «Космос-1514» (1983).

в невесомости от ранней личиночной стадии;

«Крокус-2», в котором прослеживались все стадии цветения растений в невесомости;

«Вес растений», в котором определялось содержание воды в клетках и тканях высших растений, пребывающих в невесомости, а также содержание в них белка, углеводов и минеральных веществ;

«Гуппи-2», в котором изучалось влияние факторов космического полета на развитие рыб с последующим их морфологическим и гистологическим исследованием;

«Регенерация», в котором на десяти тритонах исследовались процессы регенерации тканей и органов в невесомости.

В создании приборов для биоспутника, в дополетном и послеполетном обследовании биологических объектов участвовали, наряду с советскими, ученые и специалисты НРБ, ВНР, ГДР, ПНР, СРР, ЧССР, а также Франции и США.

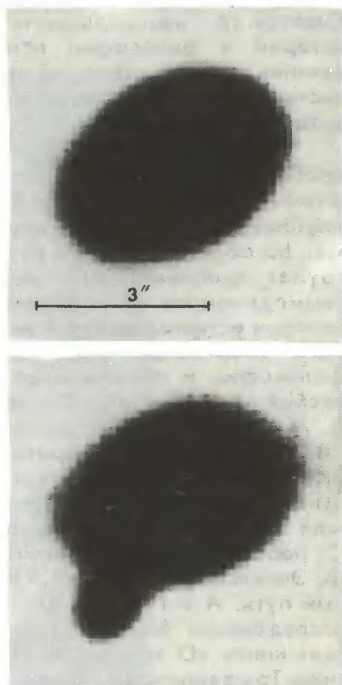
17 июля 1985 г. спускаемый аппарат биоспутника с научной аппаратурой и биологическими объектами вернулся на Землю.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Взрыв сверхновой вблизи квазара

С тех пор как в 1963 г. М. Шмидт открыл квазизвездные источники излучения (квазары) со смещенными в красную сторону спектральными линиями, среди астрономов не прекращается дискуссия о природе этих, как теперь ясно, самых удаленных объектов Вселенной. Наиболее обоснована гипотеза, согласно которой квазары — это активные ядра галактик, удаленные на космологические расстояния, и красное



Квазар QSO 1059+730 в июле 1984 г. (вверху); тот же квазар и вспыхнувшая рядом сверхновая в мае 1983 г. (внизу). Звездная величина сверхновой +19,6. Небольшое различие в очертаниях квазара на верхнем и нижнем снимках вызвано ошибкой ведения телескопа.

смещение их спектров обусловлено расширением Вселенной. Однако эта гипотеза нуждается в экспериментальных подтверждениях.

Весьма важный аргумент в пользу «ядерно-галактической» модели квазаров получили канадские астрономы Б. Кемпбелл, К. Кристиан, Х. Притчет, П. Хиксон (B. Campbell, C. Christian, C. Pritchett, P. Hickson). В мае 1983 г. они наблюдали объект, который вспыхнул на расстоянии около 2'' от квазара QSO 1059+730. Наблюдения велись в рамках многолетней

программы изучения туманностей вокруг квазаров на 2,2-метровом телескопе Гавайского университета (Гавайские о-ва, США). Построенное в каскадном фокусе телескопа изображение было обработано на ЭВМ VAX 11/750, оснащенной для этой цели специальным матричным процессором. Тщательный фотометрический анализ яркой детали на результирующем изображении привел авторов к заключению, что наблюдался взрыв сверхновой. Если предположить, что сверхновая принадлежит галактике, окружающей квазар QSO 1059+730, то абсолютная звездная величина этой сверхновой должна равняться —17,6. Подобная оценка хорошо согласуется с нашими представлениями о светимости сверхновых II типа вблизи максимума блеска или сверхновых I типа через 20—40 дней после максимума.

Из проведенных наблюдений можно сделать следующие выводы. Удалось получить изображение самой далекой из известных сверхновых. Подтверждается гипотеза о том, что квазары «погружены» в галактики, в которых идет эволюция звезд, приводящая к взрывам сверхновых. Хорошее согласие оценки светимости обнаруженного объекта с энергетикой взрывов сверхновых подтверждает космологическую шкалу расстояний до квазаров.

Согласно оценке авторов работы, частота вспышек сверхновых в галактиках, окружающих близкие квазары, равна примерно одному случаю в день. Такой темп — хорошее основание для оптимизма наблюдателей, планирующих проведение специальных обзоров с целью поисков сверхновых вблизи квазаров.

Astrophysical Journal Letters, 1985, v. 291, № 2, part 2, p. L37—L39 (США).

Астрофизика

Изучение магнитосферы Земли и солнечного ветра

С осени 1984 г. в США с участием ФРГ и Великобритании выполняется международ-

ный проект AMPTE («Active Magnetospheric Particle Tracer Explorer» — «Активные магнитосферные исследования с помощью зондирующих частиц, запускаемых со спутников «Эксплорер»). Одной ракетой-носителем запущены три космических зонда, которые, выбросив за борт большое количество лития, создали вне магнитосферы Земли обширное искусственное облако ионизованных частиц.

Наблюдения за облаком позволяют установить, в какой степени солнечный ветер проникает сквозь границу магнитосферы и участвует в образовании радиационных поясов Земли. Помимо литиевых, создаются также и бариевые облака, причем не только в пределах солнечного ветра, но и в пограничном районе геомагнитного поля планеты (где они имитируют искусственную комету), а затем — и в геомагнитном хвосте Земли.

Спутник ФРГ «Ion Release Module» («Отсек для запуска ионов») имеет на борту крупные контейнеры с литием и барием. Английский спутник «Subsatellite», несущий на борту оборудование для слежения за образованием и эволюцией искусственных облаков, выведен на орбиту высотой около 150 км. Американский спутник «Charge Composition Explorer» («Спутник для наблюдения за распределением зарядов») изучает влияние искусственных облаков на внутренние области Земли.

Science News, 1984, v. 126, № 8, p. 117 (США).

Астрономия

Кентерберийский рой

По мнению К. Брехера (K. Brecher; Годдардский центр космических полетов НАСА), в состав Солнечной системы входит неизвестное до сих пор скопление мелких небесных тел, которое он назвал Кентерберийским роєм. Такое название предложено потому, что на средневековой карте из Байе (Франция) изображен архие-

пископ Кентерберийский, наблюдающий появление кометы Галлея в XI в., и, кроме того, в память о кентерберийском монахе Гервазии, который в 1178 г. занес в летопись свидетельство того, как «верхний рог молодого месяца раскололся надвое и оттуда вылетело пламя».

Как считает К. Брехер, Кентерберийский рой состоит из множества тел диаметром каждое около 1 км, а его общая масса достигает 100 млрд т. Рой может занимать в пространстве область протяженностью 15 млн км. Его орбита почти совпадает с орбитой кометы Энке, период обращения вокруг Солнца составляет 3,349 лет, причем время сближения роя с орбитой Земли обычно приходится на июнь. Именно этим месяцем датированы такие события, как «раскол Луны», зафиксированный Гервазием, Тунгусская катастрофа 1908 г., необычайно обильное падение небесных тел на поверхность Луны в 1975 г. и др.

Согласно гипотезе К. Брехера, Кентерберийский рой, комета Энке, астероиды № 2212 и 1982 TA, а также метеорный поток Северных Таурид, приходящих со стороны созвездия Тельца, происходят от одного крупного небесного тела, претерпевшего дробление на части. Это событие могло произойти до 1178 г., т. е. до записи Гервазия, а возможно, за несколько тысяч лет до него. Подсчеты показывают, что подобный рой может сохранять стабильность орбиты не более нескольких тысячелетий.

Лунный кратер Дж. Бруно, обнаруженный в 1976 г., находится близко к месту, где зафиксировано «явление Гервазия». Падение подобного тела (или тел) должно было вызвать либрацию — длительное «покачивание» Луны, и свидетельства его ныне наблюдаются. «Вылетевший с Луны огонь» мог быть обломками лунной породы, выброшенными с ее поверхности при столкновении.

Загадочность Тунгусской катастрофы, связанная с отсутствием кратера, неизбежного при падении, например, астероида, часто объясняют тем, что она была вызвана столкновением Земли с кометой, обычно

состоящей из льда, который мог испариться в атмосфере. Однако такое испарение должно было случиться на большой высоте, и наблюдаемых на поверхности земли последствий — повала леса, пожаров и т. п. — не должно было произойти. Гипотеза К. Брехера находит этому объяснение. Так как Кентерберийский рой происходит от единого объекта, породившего также комету Энке, два астероида и метеорный поток, этот объект должен состоять из смеси кометного льда и каменистого материала, свойственного астероидам и метеорам. Такого рода «смесь» может вызвать повреждения, причиненные во время Тунгусской катастрофы; кроме того, становится понятной ее недостаточная сила для образования на поверхности Земли кратера.

А сообщения о том, что по всей Европе вскоре после Тунгусской катастрофы наблюдались белые ночи, могут также быть объяснены прохождением Земли вблизи хвоста кометы.

Science News, 1984, v. 125, № 26, p. 405 (США).

Астрономия

Существование Харона подтверждено

В 1978 г. Дж. Кристи (J. Christy; Морская обсерватория США, Вашингтон), выполнив анализ фотоизображений планеты Плутон, имевших несколько вытянутые очертания, предположил, что у планеты существует спутник. Гипотетическое небесное тело называли Хароном. Однако наблюдать его до последнего времени не удавалось из-за гигантского расстояния, отделяющего Плутон от Земли (4 млрд км), и относительно близкого расположения спутника около планеты.

Астрономы рассчитали орбиту Харона и установили моменты, когда для земного наблюдателя он должен находиться непосредственно «перед» Плутоном (так называемое покрытие планеты) и «сзади» него. Оказалось, что покрытия

может возникать раз в 124 года и продолжаться примерно пять лет. Ближайшее покрытие должно было наступить в 1982 г. или вскоре после него.

В связи с этим три года назад астрономы Макдональдской и Маунт-Паломарской обсерваторий совместно с сотрудниками обсерватории Мауна-Кеа приступили к координированным наблюдениям с целью обнаружить Харон. 17 февраля 1984 г. Р. Бинцел (R. Binzel; Макдональдская обсерватория, США) установил, что общее излучение Плутона и Харона внезапно уменьшилось на 4%. Тремя сутками позже Д. Толен (D. Tholen; обсерватория Мауна-Кеа) зарегистрировал 2-процентное снижение светимости объекта.

Теперь, когда существование Харона можно считать доказанным, специалисты собираются определить точные размеры Харона и Плутона. Этому будет способствовать предстоящее в течение ближайших трех — пяти лет «углубление» покрытий Плутона Хароном. New Scientist, 1985, v. 105, № 1447, p. 18 (Великобритания).

Физика

Нитрид молибдена — высокотемпературный сверхпроводник!

С недавнего времени нитрид молибдена (MoN) привлекает внимание тех, кто занимается поиском новых сверхпроводящих материалов. Дело в том, что теоретические расчеты электронной структуры этого соединения и некоторые эмпирические соображения показывают, что если бы MoN кристаллизовался с образованием кубической решетки, то температура сверхпроводящего перехода в нем составляла бы около 30 К, т. е. была бы больше, чем температура перехода в самом высокотемпературном сверхпроводнике, известном на сегодня (это Nb_3Ge ; температура его сверхпроводящего перехода примерно равна 23 К).

К сожалению, в стабильном состоянии MoN кристалли-

зуется с образованием гексагональной решетки и его критическая температура, как и следовало ожидать, невелика. Тем не менее недавно удалось, преодолев немалые экспериментальные трудности, синтезировать кубический нитрид молибдена. Но, увы, температура перехода оказалась весьма умеренной, около 12 К. Отсюда можно было сделать вывод, что теоретики ошиблись и никакой высокотемпературной сверхпроводимости в MoN нет.

Тем больший интерес вызывает сообщение японских исследователей из Электротехнической лаборатории (Ихараки). Оказывается, экспериментально измеренная электронная структура кубического MoN не имеет ничего общего с теоретически рассчитанной. Вот если вводить избыточный азот, то при составе примерно $MoN_{1.3}$, т. е. при 30 %-ном избытке атомов азота, электронная структура такого соединения становится очень похожей на теоретическую электронную структуру кубического MoN. А это означает, что вещество с составом MoN, которое исследуется в эксперименте, на самом деле обладает большим количеством (~30 %) «блуждающих» по кристаллу атомов азота, в то время как соответствующее количество мест в решетке остается пустым. Ясно, что сверхпроводимость в таком материале подавлена, во-первых, из-за другой электронной структуры и, во-вторых, из-за большого числа дефектов кристаллической решетки.

Итак, кубический нитрид молибдена по своей температуре сверхпроводящего перехода остается кандидатом в рекордсмены. К сожалению, теперь задача усложняется. Надо не только получить метастабильный кубический нитрид молибдена, но и добиться правильной, бездефектной структуры, т. е. «посадить» все атомы азота на положенные им места. Тогда только можно ожидать предсказанной высокой температуры сверхпроводящего перехода.

Пока задача синтеза такого «правильного» MoN не решена, вопрос остается открытым. Может оказаться, что те же причины, которые определяют столь высокую температу-

ру сверхпроводящего перехода в кубическом MoN, не дают атомам азота занимать положенные им места в кристаллической решетке (ведь известны многочисленные примеры того, что повышение критической температуры является «сигналом» назревающей неустойчивости решетки).

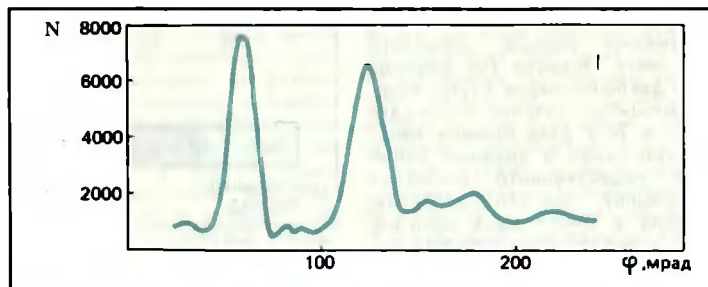
Physical Review Letters, 1985, v. 31, № 5, p. 3177—3178 (США).

Физика

Параметрическое рентгеновское излучение

Как известно, равномерно движущаяся заряженная частица излучает фотоны, если ее скорость больше фазовой скорости света в среде (эффект Вавилова — Черенкова). Фазовая скорость света $v_{\phi} = c/n$ (с — скорость света в вакууме) существенно зависит от показателя преломления n . В рентгеновском диапазоне частот показатель преломления $n < 1$, поэтому фазовая скорость $v_{\phi} > c$ и излучение Вавилова — Черенкова невозможно. Однако в кристаллах ситуация резко меняется: вследствие эффекта динамической дифракции электромагнитного излучения показатель преломления даже в рентгеновском диапазоне может стать больше единицы¹. При этом равномерно движущаяся заряженная частица может излучать в рентгеновском диапазоне частот. Явление получило название параметрического рентгеновского излучения Вавилова — Черенкова.

Этот новый тип излучения релятивистских заряженных частиц был экспериментально обнаружен в совместной работе сотрудников Белорусского государственного университета им. В. И. Ленина и Томского научно-исследовательского института ядерной физики, электроники и автоматики. Экспе-



Зависимость интенсивности параметрического рентгеновского излучения в монокристалле алмаза от угла поворота кристалла ϕ ; N — количество отсчетов в канале.

римент с кристаллами алмаза проводился на внутреннем электронном пучке синхротрона «Сириус»; энергия электронов составляла 600 и 900 МэВ.

Оказалось, что одно из специфических свойств параметрического излучения — испускание гамма-квантов под большими углами к направлению движения релятивистской заряженной частицы. В эксперименте детектирующая аппаратура была расположена под углом 90° к направлению скорости частицы. Спектральные характеристики излучения измерялись сцинтилляционным спектрометром NaI(Tl) с тонким кристаллом и пропорциональным счетчиком, заполненным ксеноном. При движении электрона вдоль оси $\langle 100 \rangle$ в плоскости (100) кристалла алмаза было обнаружено рентгеновское излучение, положение пиков которого хорошо согласуется с теорией. Максимум излучения соответствовал движению электронов вдоль кристаллографической оси. При повороте кристалла параметрическое излучение исчезало.

Письма в ЖЭТФ, 1985, т. 41, вып. 1, с. 3—6; т. 41, вып. 7, с. 295—297.

Физика

«Белый» лазер

Уже сообщалось о разработке трехцветного гелий-кадмиевого лазера, цвета линий

которого соответствуют трем основным компонентам белого цвета¹. Однако такие лазеры обладают существенным недостатком — малой интенсивностью красной линии (в описанном случае — 5 мВт против 8 и 18 мВт зеленой и синей линий; кроме того, мощность зеленой линии уступает мощности синей). Стремление повысить мощность красного излучения приводит к созданию неоптимальных условий разряда для синей и зеленой линий, резкому падению мощности в них и к увеличению длины лазера. Попытки использовать пары селена в качестве источника зеленой линии тоже не привели к успеху из-за сильного химического взаимодействия паров селена и кадмия. Раздельное же их возбуждение приводит к удлинению конструкции.

В. В. Вайнер, И. Г. Иванов, В. С. Михалевский, М. Ф. Сэм (Научно-исследовательский институт физики Ростовского государственного университета) разработали «лазер белого света» на смеси гелия с парами кадмия и ртути. В разрядной трубке с полым катодом генерируются линии с длинами волн 441,6, 533,7 и 537,8 нм (Cd II) и 615,0 нм (Hg II). Мощность линий зависит от давления паров ртути в смеси (для синей и зеленой линий мощность падает с ростом давления, для красной — растет) и от тока разряда (для синей — оптимум в районе 3 А, для зеленой — 2 А, мощность красной линии монотонно растет при изменении тока разряда от 1 до 10 А). При давлении паров ртути 0,04 мм рт. ст. и токе

¹ Подробнее об этом см., напр.: Барышевский В. Г. Канализация, излучение и реакции в кристаллах при высоких энергиях. Минск, Изд-во БГУ, 1982.

¹ Трехцветный гелий-кадмиевый лазер. — Природа, 1983, № 11, с. 106.

разряда 2—3 А линии имеют примерно равные мощности (10 мВт). Повысив ток разряда или давление паров ртути, можно мощность красной линии сделать в 2—3 раза больше мощностей синей и зеленой линий без существенного снижения последних. При этом габариты лазера в 2—2,5 раза меньше, чем в аналогичных зарубежных конструкциях.

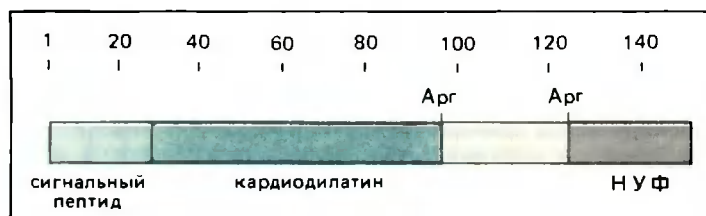
Автометрия, 1984, № 1, с. 58—62.

Молекулярная биология

Новые данные о натрийуретическом факторе

В результате исследований, проводившихся сразу в нескольких лабораториях США и Японии, в предсердии млекопитающих обнаружено несколько пептидов, обладающих выраженным действием на некоторые функции почек, а также на свойства сосудистой стенки. Эти пептиды, в частности, стимулируют выделение натрия через почки, вследствие чего они получили название натрийуретических факторов (НУФ)¹. Из других видов физиологической активности следует отметить стимулирующий эффект этих пептидов на мочеотделение (диурез), расслабление в их присутствии гладкой мускулатуры и их влияние на гемодинамику почек. Интересно отметить, что физиологическими эффектами обладает лишь экстракт из предсердия, но не из желудочка сердца.

Недавно были клонированы гены натрийуретического фактора крысы и человека, определена полная нуклеотидная последовательность гена самого фактора, а также его предшественника и прилегающих к нему участков ДНК². Установлено, что фактор синтезируется в



Схематическое изображение структуры пре-про-кардиодилатина-НУФ человека. Сигнальный пептид содержит 25 аминокислотных остатков, а вся молекула предшественника построена из 151 аминокислотного остатка. Аргининовый остаток, локализованный непосредственно перед фактором НУФ, является сигналом распознавания ферментом процессинга, а аргининовый остаток в конце молекулы необходим, видимо, для протооптического отщепления физиологически активного пептида.

виде длинного предшественника (см. рис.), состоящего из 151 аминокислотного остатка у человека или 152 остатков у крысы. В состав предшественника входит, в частности, сигнальный пептид — последовательность аминокислот, необходимая для транспорта через мембрану. Нуклеотидные последовательности гена крысы и человека чрезвычайно сходны, однако механизм их процессинга, т. е. расщепления предшественника с образованием «зрелых» молекулярных форм, значительно различается. В ходе процессинга в ткани предсердия образуется несколько пептидов разной длины, которые и обнаруживаются в экстракте из предсердия. Помимо натрийуретического фактора и сигнальной последовательности в состав предшественника входит и другой физиологически активный пептид, образующийся в сердце, — так называемый кардиодилатин, который вызывает расслабление мышц сосудов, но не обладает натрийуретической и диуретической активностью. Предшественник, включающий в свой состав НУФ, кардиодилатин и сигнальный пептид, получил название пре-про-кардиодилатин-НУФ.

А. П. Сургучев,
доктор биологических наук
Москва

Молекулярная биология

Генетическая система эвкарриот, подобная оперону бактерий

В результате многолетних исследований ученых многих стран выяснено сложное строение генетической системы MAL в геноме дрожжей-сахаромикетов, сходное с опероном бактерий. Оперон — это последовательность структурных генов, предваряемая регуляторным геном, который управляет их считыванием.

Еще в 1948 г. в Карлсбергской лаборатории О. Винге и К. Робертс обнаружили три из семи генов MAL1-7, контролирующих сбраживание мальтозы в клетках дрожжей *Saccharomyces cerevisiae*¹. Было отмечено, что гены располагаются в разных хромосомах. В 1972 г. на кафедре молекулярной биологии (биохимии растений) биологического факультета МГУ и во Всесоюзном научно-исследовательском институте генетики и селекции промышленных микроорганизмов было установлено, что это не семь единичных генов, а семь групп (MAL1—MAL7), причем каждая группа состоит из двух тесно сцепленных генов — MAL_g и MAL_p².

С 1972 по 1984 г. совместная работа по изучению мальтозных генов проводилась в лабораториях США, Дании, Западного Берлина, Японии, Нидерландов, Китая и СССР. В 1984 г.

¹ Misono K. S. et al. — Biochem. Biophys. Res. Commun., 1984, v. 123, No 2, p. 444.

² Nakayama K. et al. — Nature, 1984, v. 310, p. 699; Kangawa K. et al. — Ibid., v. 312, p. 152.

¹ Wingē O., Robert C. — Compt. Rend. Lab. Carlsberg. Ser. physiol., 1948, v. 24, No 22, p. 263.

² Наумов Г. И. — Вестник Моск. ун-та, сер. биол., 1972, № 3, с. 34; Он же. — Генетика, 1976, т. 12, № 11, с. 87.

американским исследователям Р. Б. Нидлману и Д. Мармюру с сотрудниками удалось с помощью клонирования и мутационного анализа определить, что каждая из семи групп MAL включает еще один ген, и таким образом сбраживание мальтозы контролируется тремя сцепленными генами: это регуляторный ген MAL_p, ген мальтозной пермеазы (белка, который переносит субстрат, в данном случае мальтозу, из среды в клетку) и ген мальтазы MAL_g³.

Такие группы из нескольких сцепленных генов, включающие ген-регулятор и гены, контролируемые им, ранее не были известны у эвкарйот. Обнаруженная структура сходна с бактериальным опероном, но отличается от него тем, что каждый ген считывается в нуклеотидную последовательность мРНК отдельно. Интересно и другое отличие: регуляторный ген одной из групп MAL1—MAL7 может управлять работой контролируемых генов в любой другой группе.

Успеху исследования генов MAL способствовали тесные научные контакты ученых разных стран: свободная передача штаммов, своевременный обмен предварительной информацией.

Г. И. Наумов,
доктор биологических наук
Москва

Генетика

Ответственность отца за рождение близнецов

Передача по наследству факторов, вызывающих многоплодие у человека, — хорошо установленный факт. Уже в 20-е годы было обнаружено и подкреплено статистически, что многоплодие передается не только по материнской, но и по отцовской линии. Кроме того,

описаны случаи, когда в браке определенного мужчины с разными женщинами регулярно рождались близнецы, и наоборот, женщина в браке с одним мужчиной рождает повторно близнецов, а в другом браке все роды одиночные. Непосредственное влияние мужского генотипа на многоплодие описывалось как для человека, так и для других млекопитающих, однако механизмы такого влияния пока окончательно не ясны.

М. Д. Голубовский и И. Н. Голубовская (Институт цитологии и генетики СО АН СССР), допуская возможность прямого отцовского влияния на близнецовость, считают, что причины его следует искать на уровне гамет, иначе говоря, нужно выяснить, в чем именно состоят генетические особенности мужских гамет, приводящие к появлению более чем одной оплодотворенной яйцеклетки. Предложенная ими гипотеза допускает либо существование генов, продукты которых активируются в спермиях и приводят к диспермии (т. е. к проникновению двух сперматозоидов в цитоплазму яйцеклетки), либо действие мутаций, которые нарушают мейоз и приводят к появлению двух мужских пронуклеусов в ооплазме. Следствием обоих этих событий будет оплодотворение двух мейотических продуктов оогенеза, при этом рождение близнецов следует рассматривать как удачный исход возникающих при двойном оплодотворении цитогенетических аномалий.

Эта гипотеза основана на двух предпосылках: во-первых, на особенности оогенеза большинства млекопитающих, в том числе человека, которая состоит в том, что женская половая клетка в момент оплодотворения представляет собой по существу двуклеточное образование, так как мейоз блокирован на стадии второго деления и завершается лишь после оплодотворения; во-вторых, на доказанной за последние 10—15 лет возможности образования у млекопитающих химер — организмов, состоящих из генетически различных тканей.

У млекопитающих в 95 % случаев в плазму яйца проника-

ет только один спермий. Однако возможна спонтанная ди- и полиспермия. По мнению авторов, конкретными причинами, ведущими к появлению двух мужских гаплоидных наборов в яйце, служат мутации, повышающие активность акросомных ферментов сперматозоидов. Это усиливает растворение оболочки яйцеклетки при оплодотворении и повышает вероятность проникновения более чем одного спермия. Можно допустить также существование мутаций, вызывающих асинхронизацию делений мейоза в мужских половых клетках. В результате ускоренного протекания делений к моменту слияния мужского и женского пронуклеусов имеется два отцовских хромосомных набора. Подобные нарушения могут привести как к триплоидии (тройному вместо нормального двойного набора хромосом), так и к химеризму. Триплоидные зародыши гибнут на 5-6-й неделе развития. Химеры могут иметь диплоидный, триплоидный или смешанный набор хромосом в зависимости от того, какие мейотические продукты оогенеза были оплодотворены. Если зиготы, участвовавшие в образовании химеры, развиваются самостоятельно, — появляются близнецы.

Генетика, 1984, т. XX, № 6, с. 1043—1051.

Биохимия

Новая природная форма гормона

Гормон передней доли гипофиза пролактин (или лактогенный гормон) стимулирует развитие молочных желез, а также образование и секрецию молока у млекопитающих. Молекулярная масса этого гормона, состоящего из 199 аминокислотных остатков, равна $2,3 \cdot 10^4$ Д. Первичная структура пролактина значительно различается у разных видов животных (крысы, свиньи, овцы, быка и человека).

Известно, что по химическим, физико-химическим и биологическим свойствам пролактин довольно близок другому белковому гормону гипофиза — соматотропину (или гормону рос-

³ Needleman R. B. et al.— Proc. Natl. Acad. USA, 1984, v. 81, p. 2811; Cohen J. D., Marmur J. et al.— Mol. Gen. Genet., 1984, v. 196, No 2, p. 208.

та)¹. Предполагается даже, что в процессе эволюции их гены произошли от одного гена-предшественника. В настоящее время установлено, что в гипофизе присутствует не одна, а несколько природных форм соматотропина, различающихся по молекулярной массе, электрофоретической подвижности и биологической активности². Поэтому принято говорить не об одном соматотропине, а о целом «семействе» гормона роста.

Полагая, что и пролактин может иметь несколько природных форм, В. Ю. Бутнев и Ю. А. Панков (Институт экспериментальной эндокринологии и химии гормонов АМН СССР) методом геле-фильтрации получили из препарата пролактина свиньи четыре гомогенные фракции, отличающиеся одна от другой по молекулярной массе и электрофоретической подвижности. Авторы установили, что фракция пролактина с молекулярной массой $2,5 \cdot 10^4$ Д, обладающая повышенной в сравнении с другими тремя фракциями биологической активностью, содержит углеводный компонент, т. е. является гликозилированной формой пролактина. Каких-либо различий в аминокислотном составе между гликозилированной и другими формами гормона не обнаружено.

Биохимия, 1984, т. 49, № 11, с. 1828—1839.

Биохимия

На пути к противомаларийной вакцине

За время борьбы человечества с малярией накоплен целый арсенал средств, направленных против переносчика малярии — комара рода *Anopheles* и инфекционного агента — ма-

лярийного плазмодия. Но и у переносчика, и у возбудителя заболевания возникли формы, резистентные к применяемым долгое время препаратам; в итоге угроза малярии не уменьшилась. Успешный опыт борьбы с оспой путем широкой вакцинации, позволившей ликвидировать оспу практически на всем земном шаре, заставляет специалистов настойчиво работать над созданием противомаларийной вакцины. Для ее получения необходимо иметь в большом количестве антигены возбудителя, причем лучше всего использовать для этой цели поверхностные белки спорозонта — той формы малярного плазмодия, в которой он попадает в организм человека после укуса комара: пресекая цикл развития плазмодия, можно предотвратить заболевание¹. Однако единственным доступным источником спорозонтов были до сих пор слюнные железы комара. Большого количества антигенов для вакцинации миллионов людей таким путем не получить. Решить эту задачу позволяет генная инженерия: необходимо выделить ген плазмодия, кодирующий синтез поверхностного белка спорозонта, и получить нужное количество его копий, а затем, встраивая копии гена в геном бактериальных клеток, заставить их синтезировать нужный белок в соответствующих количествах. Однако от классических методов клонирования гена пришлось отказаться, поскольку источником мРНК, используемой в качестве матрицы для получения копий гена, также служат спорозонты слюнных желез комара.

Новый подход к решению проблемы предложила группа американских исследователей из Национального института аллергологии и инфекционных заболеваний. Для получения гена, кодирующего синтез белка оболочки спорозонта, они использовали ДНК эритроцитарной формы плазмодия, которую можно культивировать *in vitro*.

ДНК расщепляли с помощью нуклеазы и выделяли нужный ген в достаточных количествах. Последовательность нуклеотидов данного гена показывает, что он кодирует белок, состоящий из 41 последовательно соединенных тетрапептидов, причем 37 из них идентичны. Обнаружено, что эффективное образование антител идет не только ко всему белку в целом, но и к короткой последовательности, состоящей из 12 аминокислот. Это открывает возможность получения вакцины не обязательно на основе всего белка, а лишь на основе его короткой синтетической полипептидной цепи.

Основной вопрос, на который еще остается ответить: насколько эффективной окажется противомаларийная вакцина, сможет ли она предотвратить превращение спорозонта в зрелую, способную к размножению форму.

Science, 1984, v. 225, No 4662, p. 607—608 (США).

Биотехнология

Дрожжи синтезируют чужеродные белки

В последние годы все большее значение для получения белков методами генной инженерии приобретают одноклеточные эукариотические организмы — дрожжи. Достоинством этого микроорганизма в сравнении с прокариотическими производителями белка — бактериями — является его безвредность для человека. До недавнего времени использование дрожжей в производстве белковых продуктов методами рекомбинантных ДНК сдерживалось из-за того, что не удавалось найти эффективного способа заставить клетки выбрасывать синтезируемый продукт во внеклеточную среду. Если такой продукт не экскретируется, а накапливается в клетках, возникают значительные сложности в его выделении и очистке: ведь в самой дрожжевой клетке содержится несколько сотен собственных белков и полипептидов.

В недавней работе Г. Биттера с соавторами (G. Bitter; Ис-

¹ См. напр.: Первичная структура гормона роста. — Природа, 1983, № 3, с. 112; Синтезированный гормон роста человека. — Природа, 1985, № 4, с. 108.

² Lewis U. J. et al. — Rec. Progr. Horm. Res., 1980, v. 36, p. 477.

¹ Подробнее о цикле развития малярного плазмодия в организме человека см.: Культивирование возбудителя малярии вне организма. — Природа, 1985, № 4, с. 109.

следовательская лаборатория при фирме «Амген», Калифорния, США) предлагается метод, с помощью которого можно обеспечить не только продуцирование, но и экскретирование нужного белка клетками дрожжей, отделяя его тем самым от множества внутриклеточных балластных белков.

В качестве чужеродных для клеток полипептидных продуктов авторы выбрали относительно короткий полипептид — β -эндорфин (31 аминокислотный остаток) и белок значительных размеров — α -интерферон (166 аминокислотных остатков). Структурные гены β -эндорфина и α -интерферона соединили со структурным геном α -фактора (точнее, предшественника α -фактора). α -Фактор — пептид, состоящий из 13 аминокислотных остатков, который выделяется в среду, регулируя половой процесс у дрожжей. Этот пептид синтезируется в виде предшественника, состоящего из 165 аминокислотных остатков, в состав которого входят 4 копии α -фактора. Важным структурным свойством предшественника является то, что в его состав входят также фрагмент из 22 аминокислотных остатков, который инициирует перенос предшественника через мембрану, и так называемый про-сегмент, способствующий его секреции во внешнюю среду.

Предшественник α -фактора, снабженный необходимыми структурными элементами для проникновения через клеточную оболочку дрожжей, как бы «протаскивает» присоединенный к нему белок или полипептид, будь то β -эндорфин, α -интерферон или что-либо иное. Другим достоинством использования α -фактора в качестве такой векторной молекулы является то, что его ген обладает эффективным промотором, что обеспечивает образование продукта гена в больших количествах. Следовательно, структурный ген белка, присоединенный к гену α -фактора, также будет направлять синтез большого количества полипептидного продукта. Таким образом, возникает принципиальная возможность получать в больших количествах синтезированные в дрожевой клетке чужеродные бел-

ки, которые будут «выбрасываться» в культурную среду и могут быть легко получены в чистом виде.

Proceedings of the National Academy of Sciences, 1984, v. 81, p. 5330—5334 (США).

Иммунология

Макрофаги и опухоли

Активностью системы макрофагов, включающей моноциты крови и тканевые макрофаги, во многом определяется исход сражения организма с вирусами или опухолевыми клетками. Способность макрофагов убивать опухолевые клетки, пораженные вирусами, можно стимулировать, вводя в организм (или пробирку) лимфокины (вещества, вырабатываемые лимфоцитами под воздействием различных антигенов) или, например, мурамилдипептид (МДП) — активный компонент микробактерий, ответственный за иммуностимуляторную активность адьюванта Фрейнда¹. Среди лимфокинов особое внимание исследователей привлекает фактор активации макрофагов (МФФ). Если к культуре макрофагов, полученных от здоровых доноров, добавить МФФ, то через некоторое время макрофаги приобретают способность разрушать опухолевые клетки; при этом они не поражают здоровые клетки, чем выгодно отличаются от химиотерапевтических препаратов, используемых для лечения новообразований. Получены данные, что макрофаги и моноциты играют важную роль в борьбе с распространением опухолей.

Группа американских исследователей во главе с И. Дж. Фидлером (I. J. Fidler; Отделение клеточной биологии Техасского университета, Андерсоновский госпиталь и Институт исследования опухолей, Хьюстон, Техас) попыталась лечить с помощью МФФ и МДП меланомы мышей. Вначале эти попытки не

имели большого успеха, так как оказалось, что МФФ и МДП очень быстро выводятся из организма. Тогда эти препараты стали вводить с помощью липосом, которые не только доставляли МФФ и МДП к макрофагам и моноцитам, но и защищали их от биодegradации и тем самым продляли время их действия на эти клетки. (In vitro для противоопухолевой активации макрофагов требуется контакт с МФФ или МДП не менее 24 часов. При этом приходится применять сравнительно большие количества препаратов.) Заключение препаратов внутрь липосом позволяет снизить их концентрацию в десятки и даже сотни раз без уменьшения их эффективности.

Было замечено также, что препараты усиливают действие друг друга. Эффект усиления наблюдали при введении мышам, имевшим меланомы, смеси «подпороговых» доз МФФ и МДП, заключенных в липосомы. Каждая из доз в отдельности не влияла на развитие метастазов. Введение смеси из половин «подпороговых» доз каждого вещества удлиняло жизнь у 50 % животных (в среднем более 250 дней, по сравнению с 40—50 днями в контрольной группе). Если же эти вещества вводили вместе в оптимальных дозах, то удавалось добиться полной регрессии метастазов у 30 % животных.

По мнению авторов, весьма перспективно лечить различные виды опухолей комбинацией обычных химиотерапевтических средств с активаторами макрофагов.

Journal of Immunology, 1984, v. 132, № 4, p. 2105—2110; v. 133, № 1, p. 515—518 (США).

Медицина

Моделирование рассеянного склероза

Большую помощь в поиске новых препаратов для лечения рассеянного склероза оказывает моделирование заболевания на животных. Лучшей моделью рассеянного склероза в ряде исследований признана хроническая рецидивирующая форма экспериментального ал-

¹ Адьювант Фрейнда — вещество, повышающее иммуногенные свойства антигена.

лергического энцефаломиелимита (ЭАЭ), аутоиммунного заболевания центральной нервной системы.

Подопытным животным вводят гомогенаты тканей головного и спинного мозга или миелина (вещества, входящего в состав оболочек нервных волокон и состоящего из липидов и белков) вместе с иммуностимулятором. Спустя 2—3 недели у животных возникает острый ЭАЭ. В случае выздоровления, приблизительно через 8 недель, начинается хроническая стадия болезни, характеризующаяся определенными клиническими и гистологическими проявлениями (рецидивами, демиелинизацией головного и спинного мозга, присутствием в крови антител и пр.).

В 1981 г. группа исследователей во главе с Дж. Х. Стрэнжамом (G. H. Stréjan; Отделение микробиологии и иммунологии и Отделение патологии университета Западного Онтарио, Канада) показала, что препараты основного белка миелина, введенные в составе липосом морским свинкам до провокации ЭАЭ, подавляют развитие болезни. В 1984 г. эти же авторы получили еще более интересные результаты, касающиеся возможности лечения хронического ЭАЭ. Они вводили морским свинкам на хронической стадии ЭАЭ препарат основного белка из миелина морской свинки, заключенный в липосомы из фосфатидилсерина, что резко снижало клинические и гистологические проявления болезни. Однако механизм подавления ЭАЭ таким препаратом еще не выяснен.

Т. Осанаи и Й. Нагаи из отделения биохимии медицинского факультета Токийского университета пришли к заключению, что возможным средством, подавляющим развитие болезни, могут быть ингибиторы протеаз (ферментов, катализирующих расщепление белков). Так, весьма эффективными оказались лекопептин, состоящий из двух остатков лейцина и одного остатка аргинина, а также ингибитор серинотрипсина микробного происхождения, включенные в липосомы с сульфатидом.

Недавно было установлено, что протеазы принимают активное участие в деградации миелина при ЭАЭ и рассеянном склерозе, что вполне объясняет терапевтическое действие их ингибиторов. Липосомы в данном случае служат необходимым транспортом, доставляющим лекарство в мозг. *Journal of Neuroimmunology*, 1984, v. 7, № 1, p. 27—41 (Нидерланды); *Neurochemical Research*, 1984, v. 9, № 10, p. 1407—1416 (США).

Медицина

Получение противоопухолевых токсинов

В 1975 г. группа английских исследователей во главе с Б. Вильямсоном (B. Williamson) показала, что влияние бактериальных препаратов на раковые клетки основано не на прямом воздействии, а на стимуляции макрофагов — клеток иммунной системы, которые под влиянием препарата начинают синтезировать вещество, вызывающее разрушение опухолевых клеток и получившее название фактора некроза опухолей (по-англ. TNF). Несколько ранее, в 1968 г., Г. Грейнджер и В. П. Колб (G. Granger; W. P. Kolb) обнаружили другое вещество аналогичного действия. Это вещество выделяется лимфоцитами при воздействии на них опухолевых клеток. Оно было названо лимфотоксином (ЛТ).

Изучение свойств этих веществ показало, что оба они обладают выраженной способностью разрушать только опухолевые клетки, не воздействуя на здоровые. Было также выяснено, что оба вещества являются белками. Дальнейшему исследованию и испытанию в клинике препятствовала невозможность получения противоопухолевых токсинов в достаточных количествах без посторонних примесей. Недавно эта проблема решена сотрудниками отделения молекулярной биологии, биохимии белков и фармакологии Университета Сан-Франциско (США).

Вначале удалось расшиф-

ровать состав обоих белков. Оказалось, что ЛТ состоит из 170 остатков аминокислот, а TNF — из 157. Обнаружены сходные участки из 44 аминокислот, которые, возможно, служат основой для селективного распознавания опухолевых клеток или их уничтожения. В состав молекул входят также боковые цепи, состоящие из сахаров.

На следующем этапе работы последовательности нуклеотидов, кодирующие токсины, были введены в состав генома *E. coli*, после чего оба вещества начали вырабатываться этими бактериями. Проверка свойств токсинов, полученных методом генной инженерии, показала их способность разрушать различные типы раковых клеток *in vitro*. При введении веществ мышам, которым была пересажена опухоль мышинной саркомы, наблюдалось разрушение клеток опухоли. Важно отметить, что эффект был получен при использовании обоих противоопухолевых токсинов в микрограммовых количествах.

Nature, 1984, v. 312, № 5996, p. 721—729 (Великобритания).

Медицина

Новый способ прививок против бешенства

Сотрудники общества Трансген (Страсбург) совместно с исследователями из Страсбургского университета (Франция) и Вистаровского института в Филадельфии (США) предложили использовать для вакцинации против бешенства рекомбинантный вирус вакцины. Подобный метод уже использовался для создания вакцин против герпеса и гепатита путем встраивания в геном вируса вакцины последовательностей нуклеотидов, кодирующих белки вирусов простого герпеса и гепатита В¹.

¹ Рекомбинантный вирус — гибридный вирус, в геном которого встроены гены других вирусов. См.: Конструирование вакцин методом генной инженерии. — Природа, 1984, № 11, с. 108.

Один из пяти белков вируса бешенства — гликопротеин — представляет собой единственный его компонент, способный вызывать образование антител, нейтрализующих вирус. Авторам удалось получить рекомбинантный вирус вакцины, в состав генома которого был встроены участки ДНК, кодирующий гликопротеин вируса бешенства. В отличие от используемой для прививок вакцины против бешенства, полученный вирус вводился в организм животных с помощью простой однократной скарификации (нанесения насечек на кожной поверхности), как это практикуется при вакцинации для предупреждения оспы. Такой простой метод позволил, тем не менее, создать у лабораторных животных — мышей и кроликов — иммунитет к заражению большими дозами вируса бешенства.

Результаты намеченных исследований позволяют, возможно, рекомендовать использование рекомбинантного вируса в медицинской практике в качестве метода предупреждения бешенства, такого же простого и надежного как прививка против оспы, и значительно более дешевого, чем применяемая сейчас антирабическая вакцина.

Nature, 1984, v. 212, № 5990, p. 163—166 (Великобритания).

Медицина

Лазер против атеросклеротических бляшек

Для лечения атеросклероза коронарных сосудов сердца уже относительно давно применяются такие эффективные методы, как операция аортокоронарного шунтирования и внутрисосудистая ангиопластика. В последние годы интенсивно изучалась возможность применения лазерного излучения для разрушения атеросклеротических бляшек. В опытах на животных и патологоанатомическом материале энергия лазера вводилась к месту сужения сосуда через гибкие кварцевые световоды. Однако эта процедура

чревата такими осложнениями, как повреждение сосуда и даже его перфорация. Учитывая это, группа исследователей под руководством Г. Ли (G. Lee; Медицинский центр в Сан-Франциско) модифицировала операцию.

На конец световода надевается металлический наконечник, который нагревается аргонным лазером. В эксперименте наконечник направлялся на атеросклеротические бляшки аорты, вызывая моментальное испарение контактировавших с ним участков, а глубина разрушения их определялась временем соприкосновения и типом бляшки.

Авторы считают, что их метод будет эффективнее и безопаснее применявшегося ранее прямого воздействия лазерным лучом, так как уменьшается риск повреждения коронарных сосудов пациента. Подобным методом можно в некоторых случаях разрушать и злокачественные опухоли, например закрывающие просвет бронха. American Heart Journal, 1984, v. 107, № 4, p. 777—779 (США).

Микробиология

Ингибиторы ферментов синтезируются микроскопическими грибами

В медицинской практике достаточно широко применяются ингибиторы протеолитических ферментов (протеиназ), причем выделяют их в основном из внутренних органов крупного рогатого скота. К настоящему времени найдено и описано около 50 ингибиторов различных протеиназ, которые секретируются в культуральную среду клетками микроорганизмов в процессе жизнедеятельности. Тем не менее поиски новых продуцентов ингибиторов протеиназ продолжают, поскольку нужен дешевый источник получения эффективных лекарственных средств.

Группой исследователей из Института биохимии и физиологии микроорганизмов АН СССР (Пушино Московской области), Института биохимии име-

ни А. Н. Баха АН СССР (Москва) и Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова проведены такие поиски среди 300 культур актиномицетов, которые были выделены из почв различных районов СССР. В семи штаммах актиномицетов обнаружен ингибитор трипсина (одного из основных пищеварительных ферментов). Количество ингибитора, выделяемого этими штаммами, было различным; его синтез начинался уже в первые часы роста актиномицетов, максимальная концентрация накапливалась к 24—36 часам. Интересно, что актиномицет одного из штаммов синтезировал сразу два ингибитора — трипсина и химотрипсина (фермента, который вместе с трипсином расщепляет пищевые белки в тонком кишечнике), причем динамика образования того и другого была идентичной. Микробиология, 1985, т. 54, вып. 2, с. 308—313.

Биология

Дельфины постигают грамматику

Специалисты по психологии животных Л. М. Херман (L. M. Herman, директор дельфинария Кеваля при Лаборатории по исследованию морских млекопитающих в Гонолулу, штат Гавайи, США) и Д. Дж. Ричардс (D. G. Richards; Смитсоновский институт в Вашингтоне) изучают «языковые» способности дельфинов.

Две отловленные в Мексиканском заливе самки бутылконоса по имени Феникс и Акеамаи в течение первых 7 месяцев пребывания в океариуме обучались связывать: одна — звуки, а вторая — жесты экспериментатора с вещественными объектами. Например, 5 различных свистков могли означать слова «поверхность», «обруч», «неси», «дно» и «корзина»; услышав соответствующие свистки, Феникс немедленно поднимается на поверхность, хватая клювом плавающий обруч, уносит его на дно

и заталкивает в стоящую там корзину; при этом она минует другой обруч, находящийся на дне, и другую корзину, плавающую на воде. Акеаками поступает аналогичным образом, увидев ассоциативно закрепленные жесты одного из многочисленных экспериментаторов.

На первом этапе обучения дельфины довели свой «словарь» до 20 слов; затем из них экспериментаторы складывали фразы, в которых слово, обозначающее объект, предшествует слову-действию, а определение стоит перед объектом. Животные быстро воспринимали значение фраз. Феникс правильно реагировала на 85 % из 368 звуковых предложений, а Акеаками — на 83 % из 308 жестовых.

Бутылконосы оказались в известной мере способными к обобщению: слово «обруч», например, для них стало обозначать любой подобный обручу предмет, который экспериментатор бросал на воду. В поисках предмета они явно использовали его атрибуты, а не местонахождение. Они правильно представляли предмет, описываемый экспериментатором, о чем свидетельствуют такие опыты: звуком или жестом им приказывали выполнить известное действие с предметом, которого в бассейне нет; не менее чем через 30 секунд этот объект бросали вместе с другими, служившими для отвлечения, — реакция животного почти всегда была безошибочной; почти всегда верна была и реакция на вопросы типа: «Есть ли мяч в бассейне?», в ответ на который дельфины должны были нажимать одну из двух педалей.

Были приняты меры, чтобы дельфины не получали словесных подсказок: называемые предметы обычно плавали на поверхности бассейна случайным образом; отдававшие указания лаборанты часто смеялись; на лицо им надевали очки, скрывавшие движение зрачка, и т. п. Поведение дельфинов регистрировалось на видео пленку.

Итак, дельфины научились связывать звук или жест с объектом, действием или его грамматическим определением

и понимать грамматические правила, которые позволяют связывать слова в предложения. Дельфины правильно реагируют на эти предложения, даже если они содержат новые комбинации слов, и воспринимают указания на объекты, которых в данный момент видеть не могут. Теперь можно считать доказанным, что бутылконосам доступны грамматическое строение фразы и ее семантика. Science News, 1984, v. 126, № 22, p. 346—347 (США).

Биология

Новая форма мимикрии у рыб

У рыб различают три основных формы мимикрии: бейтсовскую (по имени описавшего ее Г. Бейтса), когда безобидные съедобные рыбы-имитаторы принимают окраску и форму несъедобных моделей; мюллеровскую (по имени описавшего ее Ф. Мюллера), когда ядовитые или несъедобные виды принимают сходную окраску, которая усиливает отпугивающий эффект; агрессивную мимикрию, когда хищные рыбы заимствуют цвет, форму и поведение безобидных видов, облегчая себе ловлю добычи. Первые две формы мимикрии служат средством защиты животных. Еще одним средством защиты является образование ими стаи, в которой животному легче скрыться от преследований хищника. Недавно Дж. Дафни и А. Дьямант (J. Dafni, A. Diamant; Лаборатория морской биологии Иерусалимского университета) описали новую форму мимикрии — «мимикрию, ориентированную на стаю».

Изучая рыб коралловых рифов в северной части Красного моря, они обнаружили, что морская собачка *Meiacanthus nigrolineatus* из семейства *Bleniidae* на ранних стадиях развития выглядит как молодая рыба-кардиналов из семейства *Arogonidae*, единственным способом защиты которых являются стаи.

Морская собачка *M. nig-*

rolineatus — эндемик Красного моря. Это небольшая питающаяся планктоном рыба. Ее укус, однако, ядовит: она снабжена длинными, напоминающими клыки зубами и ядовитыми слюнными железами. Окраска молоди — темные полосы на светлом фоне по бокам тела и темное пятно с яркой окантовкой у основания хвостового плавника (отвлекающий «глаз») — резко отличается от почти однотонной серо-голубой окраски взрослых особей и замечательно похожа на окраску рыб-кардиналов. Молодь ядовитых собачек держится поодиночке или по 2—3 рыбки в стаях, состоящих из десятков или сотен рыб-кардиналов (одного, двух или трех видов), от которых их отличить нелегко даже специалисту.

Почему же молодая ядовитых собачек подражает в окраске «безвредным» рыбам-кардиналам? Просто она менее ядовита, чем взрослые особи, и более подвержена нападению хищных рыб, по крайней мере при первых столкновениях с ними. В стае же рыб-кардиналов легче укрыться от опасности¹. По мере роста собачки постепенно приобретают окраску взрослых особей, отделяются от рыб-кардиналов, образуя собственные стайки, а затем переходят к одиночному образу жизни. Таким образом, мимикрия, ориентированная на стаю, — это средство повышения выживаемости вида.

Описанную форму мимикрии можно классифицировать и как «мимикрию приглашения к содружеству» (*synergic inviting mimicry*): подражатель способен вызвать живую модель — и своему собственному — благодаря увеличению числа особей в стае с одинаковой окраской.

Marine Ecology. Progress Series, 1984, v. 20, № 1/2, p. 45—50 (ФРГ).

¹ Заметим, что в окраске взрослых ядовитых особей подражают два других вида морских собачек: мирная *Ecsenius gravieri* (пример бейтсовской мимикрии) и хищная саблезубая *Plagiotremus townsendi* (пример мюллеровской и агрессивной мимикрии).

Биология

Экологические типы ориентации членистоногих

Поисковое поведение и ориентация животных определяются их образом жизни. Это хорошо прослеживается на примере некоторых видов членистоногих, изученных В. Б. Купрессовой¹.

Например, комары рода *Aedes* при поиске жертвы ведут себя достаточно пассивно. Их распределение на местности происходит только в соответствии с особенностями микроландшафта. Выбрав комфортные для себя условия, комар поджидает жертву, которую может обнаружить лишь с расстояния не более 5 м. Очевидно, высокая численность этих кровососов достигается не столько сложными формами поведения, сколько благодаря длительности жизни и высокой плодовитости.

Похожий тип поведения демонстрируют и жуки-полифаги *Carabus aegypios* и *C. regalis*. В экспериментах эти жуки не стремились к ловушкам с пищевой приманкой, а выбирали участки с оптимальными для них микроклиматическими условиями. Таким образом, передвигаясь по местности, они руководствуются притягательностью микроландшафта, при этом на пищу натываются случайно.

Иначе ведут себя те виды членистоногих, которые способны по одиночным сигналам или их комплексу (зрительным, химическим и др.) издали находить пищу. Например, пустынно-иксодовому клещу *Nyalomma asiaticus*, хотя он и может существовать без пищи около года, не приходится надеяться, что жертва сама появится в непосредственной близости от него; в условиях пустыни клещ вынужден вести себя более ак-



Жукелица из рода *Carabus* в укрывающемся.



Самка клеща *Ixodes persulcatus* чувствует жертву с расстояния в несколько десятков метров.

тивно. Зрительно обнаружить хозяина этот паразит может уже с расстояния до 10 м и устремляется за ним в погоню. При этом скорость передвижения клеща сравнима со скоростью некоторых муравьев. Влекомые целью, клещи заходят даже в зону с температурой менее 18 °С, что явно ниже минимума их активности.

Другой иксодовый клещ, *Ixodes persulcatus* (печально из-

вестный переносчик энцефалита), чувствует жертву с еще большего расстояния — с нескольких десятков метров. Однако он обитает в тайге, где видимость ограничена. Соответственно этому, клещ ориентируется уже по запаху и тепловому излучению жертвы. По данным В. Н. Романенко, на человека, находящегося с наветренной стороны, он реагирует с расстояния в 15 м (с подветренной — всего 40 см)². Но возникает вопрос: какой смысл реагировать на жертву с большого расстояния, если преследование ее в тайге невозможно? Очевидно, дальняя ориентация важна для поиска троп, по которым регулярно проходят человек и животные; у этих троп, как известно, и концентрируются клещи, месяцами поджидая своего прокормителя. Изучая особенности ориентации клещей, В. Н. Романенко выпускал меченых особей и обнаружил, что они перемещаются в сторону тропы, по которой с интервалом 20—40 мин в течение дня проходил человек, с рекордными скоростями — 1,5 м за двое суток и 3 м за пять суток. Многие клещи, однако, в тече-

¹ Купрессова В. Б. Способность к ориентации насекомых и клещей, отличающихся образом жизни. — В сб.: Ориентация насекомых и клещей. Томск, 1984, с. 16.

² Романенко В. Н. Роль химического и вибрационного стимулов в привлечении клещей *Ixodes persulcatus* P. Sch. к тропам. — Там же, с. 124.

ние недели так и не покинули точек выпуска: возможно, со свойственной своему виду нетерпеливостью они ожидали, пока вернется выпускавший их экспериментатор, которого клещи, надо полагать, расценивали как жертву.

В. М. Карцев
Москва

Этология

Смена функций у черного садового муравья в течение жизни

А. А. Захаров и Т. А. Орлова (Институт эволюционной морфологии и экологии животных им. А. Н. Северцова АН СССР) проследили, как происходит смена функций у рабочих особей черного садового муравья в рамках клана — мелкой организационной структуры в семье.

В лабораторных условиях муравьи были помечены индивидуальными метками. Первые дни имагинальной (уже взрослой, а не личиночной) жизни рабочий муравей малоактивен и малоподвижен. Затем он начинает заботиться о яйцекладущих самках или о расплоде и в этой роли может оставаться от нескольких дней до нескольких месяцев. Более 95 % времени молодого муравья занимают чистка и отдых: сначала он сам является объектом чистки, а затем чистит и других. Первое время муравей проводит в двух-трех гнездовых камерах, потом начинает осваивать все гнездо и лишь после ознакомления с ним выходит на кормовую арену. Здесь функции рабочих тоже разделяются: одни муравьи выступают в качестве сборщиков пади (интенсивно посещают кормушку с сиропом и передают сироп муравьям в гнезде), другие — охотятся на насекомых и транспортируют добычу, но кормушку не посещают. На этом этапе жизни резко возрастает время активной деятельности муравья. За 2—3 дня до смерти муравьи избегают контактов с другими особями, перестают чиститься, ук-

лоняются от обмена пищей. Почти все время они двигаются, перемещаясь по арене, и уже не возвращаются в гнездо.

В клане находятся муравьи разных возрастов, выполняющие задачи соответственно своему возрасту. Их совместная деятельность и обеспечивает устойчивость клана, а это является обязательным условием существования более крупных организационных структур в семьях муравьев.

Поведение животных. Сборник. М., 1984, с. 43—63.



Охрана природы

Гренландский кит: надежды на восстановление вида

Из трех популяций гренландского кита, занесенного в списки редких и находящихся под угрозой исчезновения видов отечественной и мировой фауны, шпицбергенская находится в наиболее угрожаемом состоянии (ее ареал — северная часть Атлантического океана и Баренцево море). После второй мировой войны гренландские киты были замечены всего 9 раз — главным образом в районе Шпицбергена и у западных берегов Новой Земли; еще в нескольких случаях были найдены их остатки¹. В последние годы появляются, однако, обнадеживающие сведения.

15 апреля 1981 г. автор и другие участники экспедиции по учету белых медведей, организованной ВНИИ природы Министерства сельского хозяйства СССР, наблюдали с воздуха 11 гренландских китов в полыньях с южной стороны Земли Франца-Иосифа: трижды они встречались поодиночке, дважды — по две особи (самка с детенышем) и в одном случае — группой из четырех китов. В это время года кромка льдов располагалась на сотни миль южнее архипелага Земля Франца-Иоси-

фа. Возможно, киты проникли сюда, используя многочисленные разводья во льду, характерные для ледяного покрова Баренцева моря, однако не исключено, что киты провели здесь всю зиму.

В том же 1981 г., как сообщалось в докладах на 32-м совещании Международной китобойной комиссии², 13 гренландских китов были встречены к северо-западу от Земли Франца-Иосифа.

Имеются и другие данные о наблюдениях усатых китов в районе этого архипелага: в 1971 г. — одна особь и в 1978 г. — две особи крупных размеров были отмечены у западного побережья о. Земля Александры во время ледовой авиаразведки; 21 апреля 1980 г. двух китов длиной по 15—17 м наблюдали участники экспедиции ВНИИ природы к северо-западу от архипелага в разводьях среди серо-белого льда, окаймлявшего северную кромку полыньи; двух крупных китов наблюдали 25 апреля 1985 г. с вертолета у юго-западной оконечности о. Земля Александры, в 300 м от мыса Мэри Хармсуорт (интересно, что у этих китов был не двух-, а одноствурный фонтан); 10 мая 1984 г. двенадцать крупных китов были отмечены в разводьях к востоку от о. Грэм-Белл (к сожалению, корреспондент больше никаких сведений, которые помогли бы точно установить вид животных, не сообщает). Представляется чрезвычайно интересным наблюдение двух китов сравнительно крупных размеров в 70—80 милях западнее архипелага Седова (Северная Земля).

Все перечисленные выше встречи с китами, видовая принадлежность которых не была точно установлена, относятся к тому периоду, когда в высокоширотные районы проникают только гренландские киты. Да и по внешнему облику, судя по описаниям наблюдателей, они более всего походили на гренландских китов.

¹ См.: Васильчук Ю. К., Яблоков А. В. Гренландский кит в Обской губе. — Природа, 1981, № 3, с. 116.

² Braham H. W. — The 32-nd Report of the International Whaling Commission. Cambridge, 1982.

Приведенные данные убедительно свидетельствуют о существовании, а возможно, и некотором росте численности гринландских китов в Восточной Атлантике.

С. Е. Беликов,
кандидат биологических наук
Москва



Экология

Полихлорированные дибензофураны в окружающей среде

Очередной выпуск публикаций Объединенного комитета по разработке научных критериев качества окружающей среды при Национальном научно-исследовательском совете Канады посвящен вопросам воздействия на человека и природную среду полихлорированных дибензофуранов (ПХДФ). Эти соединения относятся к большой группе липофильных галогенизированных углеводородов, близких по строению к хорошо известным полихлорированным дибензо-пара-диоксинам (ПДД) и полихлорированным бифенилам (ПХБ). Загрязнение природной среды ПХДФ постоянно возрастает, поскольку в виде примесей они входят в состав широко используемых пестицидов и фунгицидов. Хотя относительное их количество в выпускаемых препаратах мало, высокая токсичность и устойчивость этих соединений создают большую опасность для людей и состояния природной среды. В препарате арохлор, например, выпускаемом в США, содержится ПХДФ около 15 мг/кг, при этом 20 % составляет высокотоксичный 2,3,7,8-тетрахлордибензофуран; в коммерческих препаратах ПХБ, выпускаемых в Японии и Западной Европе, содержание ПХДФ может достигать 33 мг/кг.

Проникая в организм с водой, пищей, воздухом, ПХДФ способны накапливаться, причем особенно интенсивно — в тканях, богатых липидами (т. е. в печени, головном мозге, коже, жи-

ровой ткани, легких). Выведение ПХДФ осуществляется в основном через кишечник и частично (5—30 % общего количества) — с мочой; удаление из организма происходит очень медленно (так, после однократного внутривенного введения обезьяне меченого 2,3,7,8-ПХДФ в дозе 1 мг/кг через 3 недели выводится лишь 10 % общего количества попавшего вещества).

При отравлении ПХДФ у лабораторных животных наблюдаются поражения кожи, желудочно-кишечного тракта, глаз, причем развиваются они не сразу, а после некоторого инкубационного периода. Так, после однократного подкожного или внутривенного введения ПХДФ в дозе более 10 мг/кг у крыс в течение недели признаки поражения не проявляются, а затем постепенно снижается масса тела и через 4 недели развиваются конъюнктивит и дерматит, выпадает шерсть. У обезьян после введения ПХДФ угнетается кроветворение, снижается уровень гемоглобина и лейкоцитов в крови, поражается печень, почки и тимус. Степень токсичности ПХДФ для различных видов животных различна: из лабораторных животных наиболее чувствительными оказались морские свинки; крысы, мыши и обезьяны к действию ПХДФ в 10—100 раз менее чувствительны. У многих животных ПХДФ подавляют иммунную систему. Например, введение мышам 1,2,3,4-ПХДФ в дозе 30 мг/кг вызывает трехкратное снижение числа стволовых клеток в селезенке и пятикратное подавление синтеза антител в ответ на введение антигена. Канцерогенных свойств у ПХДФ не обнаружено, но на репродуктивную функцию они оказывают отрицательное действие; у многих соединений этой группы выявлен *in vitro* мутагенный эффект.

Длительное воздействие ПХДФ на людей вызывает у них заболевание, названное болезнью Юшо. В Японии в 1972 г. ею страдало около 1000 человек. Она развивалась в результате использования в пищу растительного масла, содержавшего ПХБ и ПХДФ в концентрации 5—2500 мг/л. Симптомами болезни Юшо являются поражения век и глаз, воспаление сальных

желез, пигментация кожи, расстройство пищеварения, деформация конечностей, утрата кожной чувствительности, а также другие неврологические расстройства. В 1979 г. аналогичное заболевание было зарегистрировано у 200 жителей Тайваня; в растительном масле, которое они употребляли в пищу, тоже были обнаружены ПХБ и ПХДФ в концентрациях 100 и 0,1 мг/л соответственно.

Воздействие ПХДФ, как и ПХБ, на человека может начинаться уже во внутриутробном периоде, поскольку эти вещества способны проникать через плаценту из организма матери в плод. При грудном вскармливании в организм младенца с грудным молоком может проникнуть 10—100 мг/кг ПХБ и до 0,1 мг/кг ПХДФ. Такие дозы способны вызвать развитие болезни Юшо даже у взрослого человека.

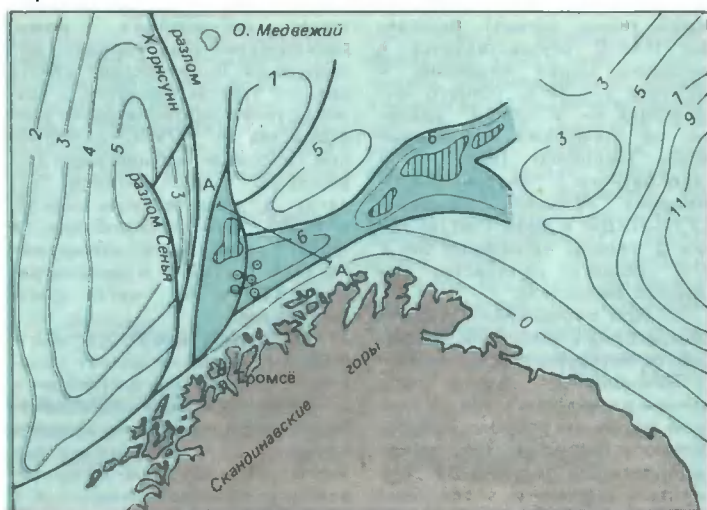
National Research Council Canada, 1984, Publication № 22846 (Канада).

Геология

Первое крупное месторождение газа в Баренцевом море

В 1980 г. норвежские нефтяные фирмы начали в юго-западной части Баренцева моря, в 150 км к северу от полярного города Тромсё, разведочное бурение на нефть и газ¹. Уже летом 1981 г. с глубины 2,5—3,5 км был получен мощный приток газа, в том числе конденсатного. Из пяти скважин три показали хорошие результаты на газ, одна — на нефть и одна оказалась «сухой» (непродуктивной). Когда в 1982—1984 гг. новые скважины дали хорошие показатели, стало очевидным, что обнаружено промышленное месторождение. Низкая температура, длительные волнения, штормы, ветры и частые туманы сильно осложня-

¹ Faleide J. I. et al. — Oil and Gas Journal, 1983, v. 81, № 3, p. 62.



Строение осадочного чехла в западной части Баренцева моря. Буровые работы ведутся на отмели Тромсёфлакет.

- 2 — Изопахиты (линии равных мощностей, км) осадочных комплексов
- Разломы земной коры
- Грабенообразные впадины
- Соляные купола
- Положение геолого-геофизического профиля
- Скважины



Геолого-геофизический профиль. Цифрами обозначено время распространения прямой и отраженной волн, выраженное в секундах.

- Континентальный фундамент
- Известняки
- Песчаники и сланцы
- Темные сланцы

ют работы на буровых платформах и кораблях. Благодаря Гольфстриму юго-западная часть Баренцева моря не замерзает, однако в дальнейшем бурение планируется вести и севернее, где распространены мощные льды и айсберги.

Геолого-геофизические исследования показали, что все месторождения газа и нефти располагаются здесь в мезозойских отложениях осадочного чехла, хотя не исключено их нахождение и в более древних породах. Горизонты и линзы песчаников юрского периода

представляют собой отличные естественные резервуары для аккумуляции газа и нефти — именно в этих горизонтах сосредоточены основные залежи газа. Осадочный чехол западной части Баренцева моря имеет очень сложное строение. Его мощность достигает 8—12 км, а протяженные разломы образуют пучок, сжатый у Лофотенских о-вов и расширяющийся

в северо-восточном и меридиональном направлениях. Между ветвями разломов располагаются поднятия и глубокие впадины. Особый интерес для нефтяников представляет система грабенообразных впадин, протягивающихся на 700 км в северо-восточном и широтном направлениях. Впадины заполнены мощными (до 3—4 км) юрскими и меловыми осадочными толщами. Вдоль бортов впадин располагаются протяженные разломы или флексуры (коленчатые изгибы пластов)². Эти грабенообразные впадины пронизаны мощными соляными штоками, которые образуют крупные купола до 20—30 км в поперечнике³. Такая солянокупольная тектоника создает хорошие ловушки для залежей нефти и газа.

Общая структура западной части Баренцева моря напоминает по своим тектоническим особенностям Северное море, где также развиты грабенообразные впадины, содержащие многочисленные штоки каменной соли.

На западе Баренцево море имеет резкую границу, проходящую по крупным разломам Сенья и Хорнсунн, с глубокой Лофотенской котловиной. Здесь, в зоне разломов, континентальная кора обрывается и сменяется корой океанического типа. Пока неизвестно, что произошло с мощными палеозойско-мезозойскими осадочными комплексами Баренцева моря к западу от разломов Сенья и Хорнсунн. Можно предположить, что в конце мезозоя Гренландия, отделившись от районов Шпицбергена, начала, согласно теории спрединга, дрейф в западном направлении⁴. В результате осадочный чехол на западной окраине Баренцева моря был разорван, и его продолжение с

² Faleide J. I. et. al.— Marine and Petroleum Geology, 1984, v. 1, № 2, p. 123.

³ Hinz K., Schlüter H.-U.— Marine Geology, 1968, v. 26, № 314, p. 199.

⁴ Эльдхольм О. и др.— Доклады 27-го Международного геологического конгресса. Т. 4, «Геология Арктики». М., 1984, с. 37.

месторождения нефти и газа следует искать на шельфе Восточной Гренландии.

К. А. Клитин,
кандидат геолого-минералогических наук
Москва

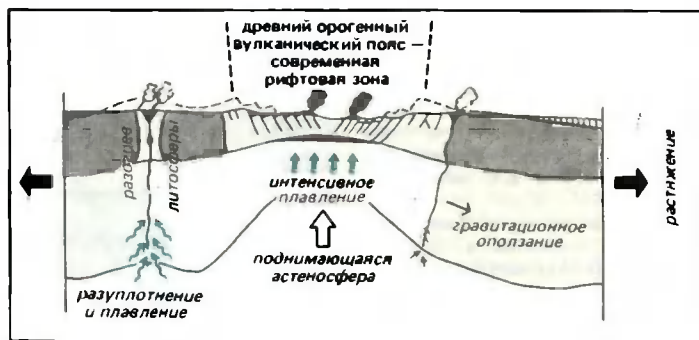
Геология

Зарождение океана

Механизм образования и развития континентального рифта и раскаливания континентальной коры, особенно на самой начальной стадии этого процесса, остается предметом дискуссий на страницах зарубежной и отечественной геологической литературы. Одна группа исследователей отдаст предпочтение такой модели возникновения рифта и раскрытия океана, которая на первом этапе включает образование локальных сводовых поднятий, связанных с подъемом разогретого мантийного вещества (мантийной струи). Формирование сводового поднятия сопровождается щелочным магматизмом и образованием рифтовых структур, приводящих к полному разрыву континентальной коры и появлению новой коры океанического типа. Таким образом, в этой модели зарождение океана является следствием подъема расплавленного мантийного вещества.

Альтернативная модель рассматривает образование континентального рифта и раскаливание континентальной коры как результат растяжения вдоль ослабленных зон. По этой модели подъем глубинного вещества является производным этого растяжения.

Ж. Г. Бедар (J. H. Bedard; Монреальский университет, Канада), изучая геологию мезозойской магматической провинции Новая Англия (северо-восток США) и выясняя последовательность происходивших здесь событий, пришел к выводу, что раскрытие Атлантического океана в мезозое совершалось в соответствии со второй моделью. Растягивающие тектонические силы приводили к



Модель образования океанической коры за счет растяжения древних ослабленных зон (описание в тексте).

-  **Кора континентального типа**
-  **Дрифтовый рельеф**
-  **Дрифтовые осадки**
-  **Новообразованная кора океанического типа**
-  **Вулканизм океанического типа**
-  **Внерифтовый континентальный вулканизм**
-  **Магматические камеры**

утоплению континентальной коры и внутрикоровым гравитационным оползням. В верхней части коры, на месте более древних ослабленных зон формировались локальные прогибы, ограниченные нормальными или листрическими (ковшеобразными, постепенно сглаживающимися на глубине) сбросами. Сокращение мощности литосферы компенсировалось поднятием астеносферы, причем на первоначальной фазе это вызывало быстрое опускание и формирование прогибов на окраине рифта, затем скорость прогибания уменьшалась. Погружение рифтовой окраины создавало условия для накопления осадочных пострифтовых толщ, вес которых увеличивал глубину осадочного бассейна, усиливая тектонические движения.

Итак, наиболее ослабленные структуры разрушались первыми, и на их месте возникали океанические спрединговые

хребты. На рифтовых окраинах преобладали тектонические опускания, что связывается с базальтовыми излияниями и выносом к поверхности огромного количества тепла. В рифтах, где скорость раздвижения континентальной коры была небольшой, локализовались щелочные магматические образования (как это обнаружено в рифте Уайт Маунтин на территории Новой Англии). В коре могли существовать долгоживущие магматические камеры, создававшие условия для интенсивной магматической дифференциации и внедрения магмы щелочного состава в молодые орогенные толщи. Эти долгоживущие магматические камеры переносили большое количество тепла в кору, приводя к поднятию периферийных частей рифтовых зон. *Tectonophysics*, 1985, v. 113, № 3—4, p. 209—232 (Нидерланды).

Геология

Древняя гигантская волна на Гавайях

Новую геолого-геоморфологическую историю Гавайских о-вов изложили на конференции Американского геофизического союза вулканолог Дж. Дж. Мур и морской геолог Дж. У. Мур (J. G. Moog, G. W. Moog; Геологическая служба США). До сих пор полагали, что мощные слои гравия на о. Ланаи (один из юго-восточных в Гавайском архипелаге) отлагались в течение нескольких эпизодов в эпоху

плейстоцена, когда уровень Мирового океана поднимался и неоднократно образовывались урезы воды, расположенные выше нынешнего. Кроме того, предполагалось, что и сам остров воздымался под напором вторгавшейся в его основание магмы.

Определив возраст коралловых построек у берегов Ланаи, исследователи пришли к выводу, что на самом деле все юго-восточные острова Гавайского архипелага не поднимаются, а опускаются, и на столько быстро, что любой прежний урез воды должен был бы лежать ниже нынешнего и для наблюдателя, остающегося на суше, недоступен.

Однако характер донных отложений указывает на отсутствие системы древних береговых линий. Вместо них обнаружен целостный слой гравия, занимающий все пространство от береговой линии в глубину острова до высоты 326 м над ур. м. По мере повышения высоты местности гравийный слой становится все тоньше, а обломки пород и кораллов — все мельче. Исключением из этого правила является лишь вулканический кратер Калуакапо. Образцы пород из различных районов Ланаи имеют одинаковый возраст — около 100 тыс. лет. Аналогичные слои гравия обнаружены и на низменных участках о-вов Оаху, Молокаи, Мауи и Гавайи. Все это позволило авторам заключить, что немногим более 100 тыс. лет назад в бассейне Тихого океана образовалась гигантская волна, коренным образом изменившая геолого-геоморфологическую характеристику ряда островов Гавайского архипелага.

Самая крупная из зарегистрированных на Гавайях волн цунами обрушилась на острова в 1946 г.; она имела высоту не более 17 м. Наиболее вероятным из возможных источников древней гигантской волны авторы считают мощный оползень на морском дне, который мог захватить площадь около 25 км² к югу от о. Ланаи, в пределах подводного Гавайского хребта. Примером подобного события может служить оползень в одном из заливов

Аляски, который произошел в 1958 г. и вызвал рекордную по высоте волну — 524 м.

Science, 1984, v. 226, 4680, p. 1312 (США).

Геохимия

«Парниковый» эффект в эоценовое время

Хорошо известна прямая связь между гидротермальной активностью, проявляющейся в пределах срединно-океанических хребтов, и выделением в атмосферу углекислого газа. Суть этого явления в следующем. В рифтовых зонах, т. е. в областях растяжения земной коры, морская вода по трещинам проникает в толщу горячих океанических базальтов и в ходе глубинной циркуляции активно с ними взаимодействует. При этом из морской воды извлекаются и осаждаются в виде различных минеральных фаз Mg и SO₄, а в гидротермальные растворы из базальтов поступают Ca, K, Si, Fe, Mn и другие элементы. Поведение в этом процессе углекислого газа определяется реакцией обмена между Mg и Ca. Извлечение из породы ионов Ca сопровождается выпадением в осадок биогенного CaCO₃ и выделением в атмосферу CO₂. Поглощение одного моля Ca балансируется выделением одного моля CO₂.

Американские исследователи Р. М. Оуэн и Д. К. Рэй (R. M. Owen, D. K. Ray; Мичиганский университет) подсчитали, что вклад в атмосферу углекислого газа в ходе этого процесса в настоящее время составляет от 14 до 22 % общего поступления CO₂.

По мнению авторов, наиболее ярко взаимосвязь тектоники, гидротермальной активности и климата в кайнозое проявилась в период между ранним и средним эоценом — 55—45 млн лет назад. Это время характеризуется генеральной перестройкой положения срединно-океанических хребтов и спрединговых центров, резким возрастанием гидротермальной активности и, как следствие, — интенсивным выделением в атмосферу CO₂. Это привело к

глобальному «парниковому» эффекту и значительному изменению климата планеты. Как известно, временной интервал от раннего до среднего эоцена отличается наиболее теплым и влажным климатом.

Другие периоды глобальной перестройки тектонических структур и связанные с этим изменения климата устанавливаются менее определенно; предположительно один из них относится к позднемеловому времени.

Episodes, 1985, v. 8, № 1, p. 47—48 (Канада).

История науки География

Обнаружены остатки антарктической метеостанции

6 сентября 1883 г. в бухте Ройял-Бей (о. Южная Георгия) была законсервирована немецкая метеорологическая станция, на которой велась наблюдения в период Первого международного полярного года (1882—1883). В этот день на одной из вершин горы высотой 470 м были установлены в деревянном футляре термометры, с помощью которых предполагалось вести продолжительные наблюдения за экстремумами температуры воздуха. Рядом была поставлена мачта с флюгером.

В 1982 г., когда отмечалось 100-летие Первого международного полярного года, английские полярники намеревались посетить метеостанцию и найти приборы, но из-за недостатка времени сделать этого не смогли. 16 апреля 1984 г. трое членов английского научно-исследовательского судна «Эндьюренс» после долгих поисков нашли лишь обломки мачты длиной около 6 м, но ни футляра, ни термометров обнаружить не удалось.

Породы, слагающие гору, сильно расслоены, на склонах хорошо развиты каменные осыпи. Видимо, за прошедшие 100 лет обильные осадки и осыпи погребли или значительно переместили термометры. Вместо пропавших полярники установили на той же вершине футляр с новыми термометрами. Polar Record, 1985, v. 22, № 139, p. 429—430 (Великобритания).

Археология

Раскопки на берегу Тигра

Начиная с 1969 г. советская археологическая экспедиция АН СССР в Ираке ведет под руководством Р. М. Мунчаева широкие систематические исследования в окрестностях Тель-Афара, на плодородной подгорной равнине Синджарского хребта. Основная цель экспедиции — исследовать процессы возникновения и первоначального становления производящих форм хозяйства на Ближнем Востоке¹, от времени сложения земледелия и скотоводства до появления классового общества. Шесть изученных раннеземледельческих поселений позволили построить полную шкалу последовательного развития местных культур с VII по IV тысячелетия до н. э.

Свой 13-й полевой сезон (март—май 1985 г.) экспедиция по предложению Государственной организации древностей и культурного наследия Ирака проводила в районе строящейся гидроэлектростанции на р. Тигр, около г. Эски-Мосула, где приняла участие в международных работах по спасению археологических памятников в зоне затопления. Объектом исследования было избрано древнее поселение Шейх Хомси, расположенное на правом берегу Тигра, в 5 км к западу от г. Зуммар. Высота холма, где ведутся раскопки, достигает 17 м, мощность культурного слоя превышает 12 м, общая площадь поселения — не менее 3,5 га; к концу сезона было исследовано 320 м² этого поселения.

На вершине холма некогда стоял наблюдательный пункт позднеассирийского времени. Здесь расчищены вымостка из плоских обожженных кирпичей, обломки глиняной посуды I тысячелетия до н. э., жернова ручной мельницы, другие орудия труда. В верхней части холма только на исследованной площади зафиксировано около 30 раз-



Двухъярусная круглая печь для обжига керамики. Ее диаметр — 2,75 м; топочная часть заглублена на 2 м; над топкой находилась камера для обжига; под с продухами для горячего воздуха покоился на двух глиняных полубалках, поддерживаемых кирпичными стойками. [Поселение Шейх Хомси, V—IV тысячелетия до н. э.].

новременных погребений — от I тысячелетия до н. э. до средневековья.

Под слоем ассирийского времени лежит почти двухметровая толща раннегородской урукской культуры IV—III тысячелетий до н. э. Судя по большому количеству ям, перекопов, скоплениям битой керамики, вскрыта периферийная часть поселения. Ниже урукского слоя и до основания холма находится более чем восьмиметровая толща отложений убеидской культуры V—IV тысячелетий до н. э. Здесь найдена яркая расписная керамика, обломки глиняных антропоморфных статуэток, бронзовое кольцо, куски медной руды, обломки каменных сосудов, много базальтовых зернотерок, целая коллекция кремневых вкладышей для серпов. Большие прямоугольные многокомнатные дома построены из сырцового кирпича. Особенно интересна двухъярусная круглая печь для обжига керамики. Судя по керамическим шлакам, оплавленным стенам и бракованной (де-

формированной в огне) керамике, температура в печи достигала 1300°. Вокруг печи найдены усеченные конусы из обожженной глины — приспособления для обжига. Большая часть посуды изготовлялась на гончарном круге. Это крупные корчаги, всевозможные горшки, сосуды с носиком и ручками, тонкая расписная столовая посуда. Разнообразны мотивы росписи, их цвет, изящна техника нанесения рисунков. Мощные золистые выбросы и остатки других печей поблизости указывают на солидный размах и ремесленный характер керамического производства.

В основании пробного шурфа, заложенного у южного подножия холма, найдена выразительная керамика халафской культуры V тысячелетия до н. э. Хотя она встречена в убеидском слое, однако типологически, по характеру глиняного теста и росписи четко выделяется из убеидского комплекса. Отражение ли это контактов двух культур или следы более древнего халафского поселения — покажут будущие исследования.

Перенеся работы в новый район, экспедиция полностью сохранила общее научное направление исследований. Расширение их территориальных и хронологических рамок существенно углубляет наши представления о древних земледельцах Северной Месопотамии. Основную часть культурных напластований поселения Шейх Хомси составляют остатки убеидской культуры V—IV тысячелетий до н. э. Это первая общемесопотамская раннеземледельческая культура протогогородского типа, дающая ключ для понимания предпосылок сложения древнейших городов-государств Ближнего Востока.

Н. О. Бадер,

кандидат исторических наук

Москва

¹ См.: Мерперт Н. Я. Древнейшее земледелие на Ближнем Востоке. — Природа, 1981, № 11, с. 49.



Пришло ли время перечис- ловать Б. Л. Личкова?

П. В. Флоренский,
доктор геолого-минералогиче-
ских наук
Москва



Р. К. Баландин. БОРИС ЛЕОНИДОВИЧ ЛИЧКОВ. 1888—1966. Отв. ред. Н. А. Флоренсов. М.: Наука, Науч.-биогр. сер., 1983, 158 с.

Развитие научной мысли, как и всякого творческого процесса, редко оставляет следы своего движения: сохраняется лишь окончательный результат. Неразрешимые в этом смысле загадки пришли к нам не только из далекого прошлого, их оставляет и современная наука. Тем важнее всякое исследование, всякое свидетельство о жизни знания. Один из переворотов

в науке, происшедших на нашей памяти, — формирование планетарной геологии и космического естествознания — связан с делами и трудами профессора Бориса Леонидовича Личкова — палеонтолога и философа, геоморфолога, гидрогеолога и одного из оригинальнейших исследователей истории науки. Его научные заслуги не блекнут даже в сиянии славы его старшего друга — академика В. И. Вернадского.

В. И. Вернадский весьма высоко ценил смелый ум и научную продуктивность Бориса Леонидовича. Это был мыслитель, достойный занять место в созвездии естествоиспытателей, связавших Космос и Землю, рядом с К. Э. Циолковским, В. И. Вернадским, А. Л. Чижевским. Однако труды Личкова все еще недостаточно оценены. Этот пробел в некоторой степени восполняет книга Р. К. Баландина, который известен как автор научных биографий В. И. Вернадского, а теперь и двух его учеников — А. Е. Ферсмана и Б. Л. Личкова. В этой первой обширной публикации о Личкове достаточно полно представлена его сложная биография, раскрыт облик как ученого и гражданина, прослежена эволюция его взглядов.

Биография Личкова — это одновременно и библиография его трудов. Он стал публиковаться в 16 лет, начав с небольших заметок, рецензий и переводов, но уже в 26 лет издал блестящую научно-философскую книгу «Границы познания в естественных науках». За это время он окончил Киевский университет, где был среди учеников палеонтолога и стратиграфа Н. И. Андрусова. Под его руководством Личков изучал на Мангышлаке тригоний, и как специалиста по этой форме моллюсков его приглашали оппо-

нировать диссертации и в 50-е годы.

Великую Октябрьскую социалистическую революцию он принял безоговорочно и сразу окупился в научно-организационную деятельность: в 1919 г. он вместе с Вернадским стал одним из создателей Украинской академии наук. Дружбу с Вернадским Личков сохранил до последних дней великого ученого.

В 20-е годы для работ Личкова характерны поиски общих закономерностей развития: геоморфологического и тектонического, зональности процессов в пространстве и их периодичности во времени. В 1927 г. Личков занял в Ленинграде пост ученого секретаря Комиссии по изучению естественных производительных сил (КЕПС), возглавляемой Вернадским. В 1934—1939 гг. работал в качестве геолога на строительстве канала Москва — Волга.

В середине 1940 г. Личков выехал в Среднюю Азию, где научные исследования сочетал с преподаванием в Самаркандском университете. Разразилась война, и интенсивность работы Личкова возросла еще более: он стал директором Геологического института Таджикского филиала АН СССР, провел серию исследований по геологии, тектонике, литологии и геоморфологии Средней Азии, судьба которых достойна восхищения: до сих пор он один из самых цитируемых авторов в трудах по неотектонике Тянь-Шаня и Памира.

Годы войны — это годы окончательного формирования Вернадским учения о ноосфере как новой форме существования биосферы, преобразованной трудом и мыслью человека. Р. К. Баландин сумел, анализируя переписку Вернадского и Личкова, прочитать малоизвестные страницы из истории станов-

ления этого учения. Вернадский поверял свои мысли Личкову, и именно ему одному из первых он адресовал слова о неизбежности торжества разума на Земле: «Я смотрю в ближайшее будущее — создание «ноосферы» — очень оптимистично, но это не фатализм, а эмпирический вывод» (с. 83). В этой идее Вернадский черпал уверенность в нашей победе над гитлеризмом. Надо сказать, что Личков только позднее осознал всю глубину понятия ноосферы.

В 1945 г. Борис Леонидович был избран заведующим кафедрой гидрогеологии Ленинградского университета и занимал этот пост до конца жизни. В последние годы с особенной яркостью проявилась научная самобытность Личкова, которая порой мешала публикации его работ, и лишь анализ не только печатных трудов, но и рукописей позволяет по-настоящему понять развитие его мысли.

Помимо списка публикаций — их более 200, в книге Р. К. Баландина перечислено около 90 неопубликованных статей и книг Бориса Леонидовича, хранящихся в Ленинградском отделе Архива АН СССР (суммарный их объем составляет несколько тысяч страниц). Пришло ли их время? Или прошло, и к его идеям независимо приблизились другие? Не потеряем ли мы чего-либо, не перечитывая его труды теперь? Или сейчас еще рано? На такие вопросы не всегда просто ответить, но в данном случае уместно сослаться на пример: читаем же мы публикации ранее не издававшихся работ Вернадского и не замечаем отделяющих их от нас десятилетий.

Рукописи трудов Личкова также ждут своих исследователей и издателей; наша задача — задача наследников Бориса Леонидовича — превратить их в достояние науки. Первый шаг в этом направлении уже сделала книга Р. К. Баландина; ее автор сумел отразить основные направления мысли ученого, осветить их эволюцию и, что особенно важно, показать их место (и немалое!) в современном естествознании.

80 лет прошло со времени публикации первой работы Лич-

кова. Многие из его идей прочно вошли в науку и распространились в ней, другие — пересмотрены заново, третьи — ждут осмысления. Так, например, одна из работ Личкова «Движение материков и климаты прошлого Земли» выдержала пять изданий, с 1931 по 1936 г. Посвящена она была развитию гипотезы А. Вегенера о дрейфе континентов, которая теперь широко обсуждается как часть «новой (I) глобальной тектоники плит».

В рецензируемой книге проанализировано развитие в работах Личкова многих направлений, в которых трудился этот чрезвычайно разносторонний натуралист. Но, по моему мнению, в ней недостаточно внимания уделено Личкову-астрогеологу. Как астрогеолог он развил представление о дрейфе континентов, о ведущей роли приливных сил, определяющих ротационный режим планетарной геотектоники, о существовании в теле планет особых критических параллелей и меридианов, об обусловленной внешними факторами периодичности геологических процессов и о решающей роли массы планеты в ее развитии. Идеи эти сформулированы в последней книге Личкова — «К основам современной теории Земли» (Л., Наука, 1965).

Каждая работа Личкова — особенно последние монографии, опубликованные и неопубликованные — построена своеобразно. Я бы сказал, что в них анализируются не только геологические процессы, но и равно — процессы развития мысли о них. Это диалектика естествознания. Так, например, значительная часть книги «Природные воды Земли и литосфера» (Зап. Геогр. об-ва СССР, 1960, т. 19) посвящена развитию внутренних и внешних факторов эволюции планеты. Это раскрывается путем анализа трудов Ф. Энгельса, А. П. Карпинского, В. И. Вернадского и ряда других мыслителей. (Подобные же исследования развития мысли есть и в его рукописных работах.) Личков показал, что поверхность Земли, как и любого космического тела, есть арена столкновения сил внешних и внутренних, и кажущаяся ста-

бильность этих явлений — лишь мгновенный снимок их динамического равновесия. Таким же снимком, но с более «длительной экспозицией», является карта земной поверхности.

Применяя этот принцип Личкова к анализу истории наук о Земле, мы видим, что и сама наука о Земле, развиваясь, постоянно на разных уровнях, в разных вопросах решала это противоречие, но уже в области мысли: какие процессы важнее — внутренние или внешние? Такова дискуссия плутонизма и неплутонизма в XVIII—XIX вв., дискуссия о происхождении нефти, причинах оледенения, горообразования, эволюции видов и многие другие. Кто-то хорошо сказал, что острота этих дискуссий, непримиримость спорящих сторон были подобны непримиримости порождающих их стихий — внутреннего огня Земли и воды.

Нельзя игнорировать трудность глубокого осознания того, что человек — не только житель Земли, но и, по словам Личкова, небожитель. Парадоксальный факт: как писал ученик Вернадского К. П. Флоренский (1915—1982) в монографии «Очерки сравнительной планетологии» (М., Наука, 1981, с. 17), если сравнить химический состав Земли, земной коры, различных природных тел с составом живого вещества (в том числе человека), то по обилию летучих элементов и их соотношению состав живого вещества ничего общего не имеет ни с Землей, ни с Луной. Самым близким аналогом живому организму в космосе оказывается Солнце, а еще ближе — комета.

Не только в естествознании, но и во всем мировоззрении произошла коренная перестройка: мы осознали себя жителями космоса, осознали Землю как целое. И в этом велика заслуга Личкова и созданного им астрогеологического направления. Он действительно «ногами стоял на Земле, а взор его был в звездах»: он обосновал и создал космическое направление в науках о Земле — астрогеологию, объединившую целую школу ученых. Это направление сформировалось и провело в 1957—1965 гг. шесть астрогеологических (планетологических)

совещаний в Ленинграде, в Географическом обществе СССР. Именно в эти годы, когда были запущены первые искусственные спутники Земли, геология начала преобразовываться из науки региональной — «плоскостной» — в науку планетарную — «сферическую».

Я помню, как ошеломили слушателей слова Бориса Леонидовича, сказанные в 1960 г. при обсуждении его книги «Природные воды Земли и литосфера»: «Мы небожители! Мы вместе с Землей находимся на небе, мы неразрывно связаны с Космосом через приливное (гравитационное.— П. Ф.) воздействие Солнца, планет и всей Галактики, через излучение звезд и Солнца». Тогда это казалось фантастикой, а астрогеология подвергалась разного рода критике. Достаточно посмотреть, например, обзор «О IV совещании по астрогеологии» (Вестник АН СССР, 1962, № 1, с. 131—134). Теперь, спустя два десятилетия, ясно, что наука пошла по пути, который наметил Личков, и видно, какие трудности науке пришлось преодолеть.

Есть еще нечто, связанное с Борисом Леонидовичем, что оставит его имя в науке навсегда — до тех пор, пока она сохраняется в современном понимании, независимо от эволюции геологии и изменения оценки тех или иных научных фактов и постулатов. Это документ великой человеческой ценности, свидетельство высокого ума и благородства двух мыслителей. Мы имеем в виду двадцатисемилетнюю (1918—1944) переписку Личкова с Вернадским, изданную в двух томах Академией наук СССР в 1979 и 1980 г. Чтение ее — великолепная школа научной культуры и этики. Моральная ценность переписки непреходяща, и натуралисты (в первую очередь, но не только они) будут возвращаться к этим письмам, вслушиваясь в беседу двух мыслителей: кажущегося неторопливым, спокойного и рассудительного Вернадского и огненно-увлеченного Личкова.

Мы убеждены, что книга Р. К. Баландина при всех ее достоинствах — лишь один из первых шагов к современной оценке роли Личкова в науке.

Действенная любовь к птицам

Л. М. Баскин,
доктор биологических наук
Москва



В. Д. Ильичев. УПРАВЛЕНИЕ ПОВЕДЕНИЕМ ПТИЦ. М.: Наука, 1984, 304 с.

Летчиков гражданской, военной (и особенно военноморской) авиации постоянно подстерегает опасность столкновения с птицей. Подсчитано, например, что в ВВС Швейцарии на каждые 10 тыс. часов полета до недавнего времени произошло 9,7 таких столкновений. Птицы попадают в воздухозаборник двигателя, повреждают крылья, разбивают кабины. Это случается и в крейсирующем полете, но, чаще всего, на взлете или посадке, когда, кстати сказать, особенно трудно что-нибудь предпринять.

Для пилотов, управляющих пассажирскими лайнерами, летающими на очень больших высотах, вероятность такой опасности втрое ниже. Однако летчику гражданской авиации приходится спасать не только себя, но и жизнь пассажиров, что осложняет ситуацию. В. Д. Ильичев указывает, что с 1970 по

1979 г. в СССР столкнулось с птицами 1500 гражданских самолетов.

Аэродромы привлекают птиц, особенно чаек, голубей, чибисов, стрижей. Здесь меньше людей, здесь птицам хорошо отдыхать и кормиться. Вороны находят удобным расклеивать корки хлеба, засунув его в щели в хвостовом оперении самолетов, а в хвостах вертолетов они, случается, специально для этой цели продалбливают дырки. Скворцам и трясогузкам нравится гнездиться в отверстиях тяг элеронов.

Несомненно, что возникшая проблема требует решительных мер. И все же современный природоохранительный дух и ученых, и авиаторов противится широкому применению химических средств, решающих проблему до жути просто и беззастенчиво: в радиусе нескольких километров от аэродрома не остается живых птиц. Эти средства недавно широко применялись в Канаде и США. Но сейчас люди повсеместно пытаются вступить с птицами в контакт, научиться управлять их поведением, образно говоря, объяснить им, где не следует появляться.

Впрочем, успех такого рода методов кажется не столь значительным, когда узнаешь, что хитроумные переплетения деревянных палочек над огородами в Бирме или зеркальные шары, которые устанавливают в ФРГ над курятниками для отпугивания ястребов, тоже дают неплохой эффект. От изучения народного опыта до разработки комплексной научной проблемы «управление поведением птиц» — такой путь прошли орнитологи XX в., и не последнюю роль в этом сыграл прогресс этологии.

Сейчас мы располагаем первой в мировой литературе сводкой средств управления поведением птиц. В. Д. Ильичев, работающий в этой области 25 лет, описал в своей книге, вероятно, сотни различных способов управления. Среди них и такие простые, но надежно действующие, как посадки ягодных кустарников по склонам гор и шаловицы на улицах, чтобы отвлекать птиц от виноградников, и более замысловатые, вроде ра-

диоуправляемой летающей модели сокола.

Конечно, под управлением поведением птиц подразумевается отнюдь не только отпугивание, хотя сведения о пользе птиц, к сожалению, не так остро воспринимаются хозяйственниками, как более зримый вред, наносимый урожаю, рыбозаводным прудам, зернохранилищам. Между тем наукой предложено немало способов, позволяющих интенсивно использовать птиц, например, в борьбе с вредными насекомыми и грызунами.

Эффективное применение могут найти работы этологов и в птицеводстве. Например, можно использовать способность цыплят запечатлевать, находясь в яйце, голос матери, подстраивать под него свое дыхание. Таким образом синхронизируется их активность, и они появляются на свет одновременно. В дальнейшем «голос матери» позволяет созывать цыплят к кормушке, собирать их под обогревательные лампы, переводить из вольеры в вольеру и т. п.

Итак, обзор средств управления поведением птиц интересен не только в познавательном плане для любителей природы, которых в наше время становится все больше и больше, но и в сугубо практическом отношении, для всех, кто в своей работе так или иначе сталкивается с птицами. Скажем, неожиданное переселение колонии цапель в три тысячи пар на рыбозаводный пруд превращается для рыбвода в катастрофу, и книга В. Д. Ильичева ему поможет.

Однако орнитологи не имели бы в своей работе ни ориентиров, ни перспектив, если бы занимались лишь коллекционированием методов воздействия на птиц. Необходима теория управления, и В. Д. Ильичев предлагает свои подходы к ее разработке. В круг вопросов, которые должна охватить эта теория, В. Д. Ильичев включает «направленные поведенческие реакции животных, вызванные действием факторов искусственного и естественного происхождения, управляемых и контролируемых человеком» (с. 77). Создавая принципиаль-

ную схему управления поведением, В. Д. Ильичев исходит из аналогии между управлением и процессами ориентации и сигнализации у животных. Соответственно, схема управления включает у него три основных элемента: источник управляющего стимула — управляющий стимул — управляемый объект, поведение которого меняется под воздействием управляющего стимула.

Создание первой принципиальной схемы управления — это уже большой шаг вперед. На основе схемы можно вести поэтапный анализ управления, находить причины неудач. Это очень важно, потому что многие, поначалу успешные, приемы внезапно теряют свою действенность. В то же время и критика подобных схем, и их дальнейшая разработка — это путь к более глубокому пониманию такого сложного и изменчивого явления, как взаимодействие человека и птиц.

В. Д. Ильичев поясняет свою принципиальную схему иллюстрацией. В ней первое звено схемы (источник управляющего стимула) представлено машиной с звукоусилителями, второе (управляющий стимул) — звуковой демонстрацией и, одновременно, охотником, стреляющим из ружья, третье (управляемый объект) — стаей птиц, которая взлетает при шуме, производимом машиной. Как видим, эта схема в основе своей рефлексорна. Условный сигнал подкрепляется безусловным — выстрелом и гибелью одной из птиц. Повтори мы звуковую демонстрацию несколько раз, не сопроводив ее выстрелом, и птицы перестанут бояться. Произойдет торможение условного рефлекса.

А какова же роль обратной афферентации, т. е. способности животных оценивать изменения в обстановке, корректировать свое поведение? Схема такой возможности не учитывает.

Правда, в дальнейшем, более детально расшифровывая процесс управления, автор книги говорит уже о четырех функциональных комплексах. Первый представляет собой источник управляющего стимула, управление сигналом и его испол-

нение. Второй комплекс составляют ориентиры и маркеры, обеспечивающие передачу информации, ее экологически адекватное подкрепление (создание подходящей ситуации), корректировку в соответствии с этой ситуацией. Третий комплекс касается уже самой птицы, ее восприятия, реакции, сигнализации своим состоянием другим птицам. Четвертый комплекс касается факторов среды, влияющих на управление поведением.

Автор подчеркивает, что второй и особенно третий комплекс корректируют деятельность первого. Но в схеме это пока не отражено.

Наконец, обращает на себя внимание и то, что в схеме не нашел места четвертый комплекс — факторы среды. Его влияние на процесс управления многообразно, но хотелось бы выделить роль среды как настраивающего фактора поведения птиц. Так называемые сигнальные факторы среды — свет, температура, окружающая птицу обстановка — меняют физиологическое состояние птицы, включают ту или иную мотивацию (например, поиск дупла, оканчивающегося гнездованием в крыле самолета). В разных условиях птица будет по-разному реагировать на один и тот же сигнал, что и определит успех управления ее поведением.

Рано или поздно орнитологам придется разработать более сложную схему управления, основанную на модели целостного поведения. Однако вернемся пока к тем прорывам вперед, которые уже обеспечила выдвинутая В. Д. Ильичевым концепция, исходящая из аналогии управления с процессами ориентации и сигнализации.

Важное достижение — представления о «маркере сигнала», «маркере ситуации», т. е. наиболее существенной для птицы части сигнала (например, ружье в руках охотника) или ситуации (вид падающей после выстрела птицы). Так, применение авитрола-200 в сочетании с пушкой при отпугивании дроздов от кукурузы дает эффект на 100 %, тогда как одна лишь пушка отпугивает 57 % птиц, а только авитрол-200 — 84 %. Яркий

пример маркеров дают нам наиболее эффективные подзывы человеком цыплят («тип, тип, тип»), уток («ути, ути, ути»), соколов («ау... ау»), выявленные народным опытом.

Интересно остановиться также на представлении об экологических аналогах управления поведением, развиваемом в книге. Оно основано на сравнительно ограниченном репертуаре реакций, к которым способны птицы. Орнитолог может попытаться составить каталог природных ситуаций, соот-

ветствующих тем, которые требуется разрешить. На практике оказывается, что главные задачи управления поведением связаны с пространственным размещением птиц, их питанием. Среди перспективных поставщиков экологических прототипов управления В. Д. Ильичев называет коллективные поиски птицами пищи, совместные действия против врагов, групповые системы ориентации, раннего обнаружения и слежения за опасностью, обучение и воспитание молодых в группе.

Наконец, хотелось сказать, что это книга о том, как спасти птиц, как сохранить их соседство с человеком. Принцип, по которому не вредит лишь мертвая птица, надо не только отвергнуть, но и опровергнуть, сняв хотя бы наиболее острые конфликты. Если орнитологами становятся любители птиц, то справедливо сказать, что управление поведением птиц — это любовь в действии.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

Г. С. Воронов. ШТУРМ ТЕРМОЯДЕРНОЙ КРЕПОСТИ. (Библиотечка «Квант», вып. 37). М.: Наука, 1985, 192 с., ц. 30 к.

Энергия, которую мы получаем от Солнца, рождается в его недрах при фантастически больших температурах в реакциях термоядерного синтеза. Те же реакции идут при взрыве водородной бомбы, когда за доли секунды высвобождается энергия, на выработку которой все электростанции Земли должны были бы работать целую неделю.

Если заставить термоядерные реакции протекать не в виде взрыва, а медленно, в контролируемых условиях, то человечество обретет практически неисчерпаемый и экологически чистый источник энергии. До практического воплощения этой заманчивой идеи еще далеко, но сейчас, после 30 лет напряженной и дружной работы ученых всего мира, можно с уверенностью сказать, что решение проблемы УТС (управляемого термоядерного синтеза) принципиально осуществимо.

Можно согласиться с автором книги, что эта проблема напоминает крепость с множеством линий укреплений и неожиданных препятствий. Атаки

на нее следуют одна за другой, с самых разных направлений и ведутся самыми разнообразными методами. Придуманы хитроумные способы нагрева плазмы и ее удержания: в закрытых магнитных ловушках (стеллараторах и токамаках); в открытых ловушках с магнитными пробками; разрабатываются системы с так называемым инерционным удержанием; возрождена изящная идея холодного термояда с использованием μ -мезонов в качестве катализаторов реакций синтеза.

Все эти красивые идеи, с помощью которых атакуются термоядерная крепость, нашли отражение в книге Г. С. Воронова, написанной доходчиво и увлекательно. Из последней главы читатель узнает, какой путь еще предстоит пройти ученым и инженерам до того, как заработает первый опытный термоядерный реактор.

Медицина

Н. Н. Барашков. ЛЮМИНЕСЦЕНТНЫЙ АНАЛИЗ НА СЛУЖБЕ ЗДОРОВЬЯ. Отв. ред. Д. Н. Шигорин. М.: Наука, 1985, 94 с., ц. 30 к.

Области применения люминесцентного анализа чрезвычайно разнообразны: аналитическая химия, геология, дефек-

тоскопия, палеонтология, криминалистика и т. д. В медико-биологических исследованиях люминесцентные методы не имеют себе равных по совокупности таких качеств, как доступность аппаратуры, простота манипуляций, воспроизводимость результатов и чувствительность к малым количествам биологического материала. Поток специальной литературы по применению люминесценции в биологии и медицине год от года растет. Однако удельный вес люминесцентных приемов в практической медицине еще заметно ниже, чем в чисто исследовательских работах. Сказанное свидетельствует, что популяризация накопленных в этой области данных весьма актуальна.

В книге просто рассказано о поглощении и испускании света органическими молекулами и возможности использовать это свойство для различных исследовательских целей. Автор обстоятельно знакомит широкий круг читателей с принципами подбора люминесцентных красителей — зондов, применяемых в целях диагностики.

Заметное место в книге отводится применению люминесцентных методов в санитарно-эпидемиологической практике при проверке качества пищевых продуктов. Особое внимание

читателей привлечет глава, рассказывающая, как люминесцентный анализ помогает следить за чистотой окружающей среды. Здесь речь идет о люминесцентной оценке качества питьевой воды, о контроле над кислотностью природных вод, об определении вредных примесей в воздухе.

К недостаткам этой нужной, информативной и легко читаемой книги можно отнести отсутствие данных об исследовании люминесцентным методом цитофизиологических процессов в живых клетках, проводимом в последние годы в Институте молекулярной биологии АН СССР.

С. Н. Давыдов,
кандидат

физико-математических наук
Москва

Экология

Г. А. Заварзин. БАКТЕРИИ И СОСТАВ АТМОСФЕРЫ. Отв. ред. А. А. Имшенецкий. Авт. предисл. М. С. Гиляров. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1984, 199 с., ц. 65 к.

Основная масса газовой оболочки нашей планеты сформировалась около 4 млрд лет назад. Чтобы объяснить ее происхождение, охарактеризовать ранние этапы развития биосферы, понять, как возник ее современный режим, автор книги, член-корреспондент АН СССР Г. А. Заварзин, привлекает данные не только из области своих собственных интересов и специальности — микробиологии, но и сводит воедино представления многих других научных дисциплин.

Еще В. И. Вернадский призвал обратить внимание на то, что «газы биосферы те же, которые создаются при газовом обмене живых организмов». Отмечая плодотворность этой идеи, высказанной более полувека назад, Г. А. Заварзин в своей книге доказывает: атмосферу Земли создали ее первые обитатели — бактерии. Именно сообщество микроорганизмов было ключевым фактором в формировании условий на по-

верхности Земли, причем их воздействие осуществлялось преимущественно через газообразные соединения. Через них бактериальное сообщество и сейчас связано с атмосферой, океаном, осадочными породами, т. е. со всей биогеохимической системой на Земле.

Автор, по его признанию, намеренно избегает истории вопроса, чтобы не рассеивать внимания читателей, а в некоторых случаях позволяет себе быть фрагментарным и даже одностронним, чтобы понятнее объяснить главную мысль. И задуманный план удался. В книге Г. А. Заварзина обобщаются результаты различных естественных наук без того, что мешает узким специалистам понять друг друга: без изложения деталей, без перегрузки специальными терминами и формулами. Книга относится к тому разряду научно-популярной литературы, которая является для ученых одним из способов междисциплинарного общения и стимулирует интерес к проблеме со стороны специалистов смежных областей. Но, как пишет автор во введении, «для достижения взаимопонимания здесь, более чем где бы то ни было, необходимы терпение и терпимость».

Геология

В. А. Осолков. ОБЛИЦОВочные КАМНИ МЕСТОРОЖДЕНИЙ СССР. М.: Недра, 284 с., ц. 1 р. 30 к.

Естественные строительные камни неповторимы по красоте и имеют много других преимуществ по сравнению с искусственными материалами. К числу этих преимуществ относятся исключительная долговечность, стойкость, практически безграничная область применения. И в наше время они продолжают широко использоваться не только в декоративных целях, допустим для облицовки зданий и сооружения памятников, но и для создания отдельных конструктивных элементов зданий, мостов, подпорных стен, набережных и т. п.

В книге, которую можно использовать как справочник

и атлас, охарактеризовано и показано свыше 200 разведанных и разрабатываемых месторождений так называемого облицовочного камня. Описание дано по республикам, с подробной географической привязкой и ссылкой на организацию, добывающие камень. Мы видим, как богаты строительным камнем РСФСР, Украина, Армения, Узбекистан, Грузия, Азербайджан и другие республики.

При характеристике каждого месторождения приводится перечень основных технических показателей камня: физико-механические свойства, степень полируемости, выход блоков из горной массы, конкретное практическое применение. Специальные разделы посвящены особенностям геологии месторождений; требованиям стандартов на блоки и изделия из камня; вопросам переработки и примерам применения камня; состоянию и перспективам развития камнедобывающей промышленности в республиках.

Минералогия

Б. И. Сребродольский. ЖЕМЧУГ. Отв. ред. Н. А. Созинов. М.: Наука, сер. «Человек и окружающая среда», 1985, 136 с., ц. 50 к.

Один из красивейших самоцветов, жемчуг был излюбленным украшением в Древней Руси и широко применялся в шитье вплоть до первой половины XIX в. У разных народов мира с жемчугом связано немало легенд, в которых он отождествлялся с окаменелой слезой, затвердевшей росой, дождевой каплей. В «Изборнике Святослава» (XI в.) говорилось, что перл (жемчуг) способствует благоденствию и долголетию.

Рассказав о том, что собой представляет жемчуг как биогенный минерал, как образуется, растет, изменяет свои свойства, с чем связаны его форма и цвет, автор знакомит читателя с историей и современными способами искусственного выращивания жемчуга. Первые попытки искусственно вырастить жемчуг предпринимались еще 2 тыс. лет назад в Китае, а теперь в торговле жемчугом на долю

культивированного приходится 90 %.

Зарождение жемчужины и ее рост — сложный биохимический процесс, сильно зависящий от условий жизнедеятельности моллюска. Интерес к образованию жемчуга и других биогенных минералов привел к тому, что началось формирование нового направления в минералогии — биологической минералогии. Для успехов на этом пути необходимы, как пишет автор, более тесные контакты между минералогами и биологами, которые должны привести в новую область современные методы биологических исследований.

Книговедение

Е. С. Кашутина, Н. Г. Сапрыкина. ЭКСЛИБРИС В СОБРАНИИ НАУЧНОЙ БИБЛИОТЕКИ МГУ. Альбом-каталог. Отв. ред. А. К. Авеличев. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1985, 224 с., ц. 2 р. 80 к.

Научная библиотека Московского университета — одна из старейших и богатейших

в нашей стране — формировалась в значительной степени за счет книжных коллекций, которые приносились ей в дар преподавателями университета и его бывшими студентами — выдающимися учеными, политическими и общественными деятелями разных эпох. Многие книги имеют экслибрисы их владельцев. Сотрудники Отдела редких книг и рукописей Е. С. Кашутина и Н. Г. Сапрыкина собрали, идентифицировали и тщательно описали эти экслибрисы и одну из их разновидностей — суперэкслибрисы (как правило, это тисненые на коже золотом гербы и монограммы).

Всего в книге описано свыше 200 русских, советских и западноевропейских книжных знаков XVI—XX вв. Среди них книжные знаки, принадлежавшие сподвижнику Петра I, ученому и государственному деятелю Я. В. Брюсу, герою войны 1812 г. генералу А. П. Ермолову, другу Пушкина С. А. Соболевскому, отцу декабриста Никиты Муравьева М. Н. Муравьеву, И. С. Тургеневу, издателю и книготорговцу А. Ф. Смирдину, историку С. М. Соловьеву, основателю Московского Музея

изящных искусств И. В. Цветаеву, археологу и искусствоведу В. Д. Блаватскому.

Представлены также книжные знаки учебных и научных учреждений, в том числе Московского университета, Университетского благородного пансиона, Пулковской Главной обсерватории, Библиотеки Вольного экономического общества. Много места уделено западноевропейским экслибрисам. Старейший из них — книжный знак Э. Фенда из Баварии — датирован 1567 г.

Интересны экслибрисы и в графическом отношении. Читатель, например, получит замечательную возможность увидеть, как в этом жанре работали М. А. Врубель, М. В. Добужинский, Л. О. Пастернак, Ф. А. Фаворский, Ф. О. Шехтель.

Авторы рассматривают экслибрис как уникальное произведение графики малых форм и как своеобразный источник, позволяющий воссоздать интересные страницы истории.

В номере использованы фотографии БАСАРУКИНА А. М., БЫКОВСКОГО А. Ф., ДОБРОВОЛЬСКОГО В. В., КАРЦЕВА В. М., ЛЮБИНСКОГО Е. Г., ОРЛОВА Н. Л.

Художник П. Г. АБЕЛИН
Художественные редакторы:
Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Корректоры:
Э. А. ГЕОРГАДЗЕ, Т. Д. МИРЛИС

Ордена Трудового Красного Знамени издательство «Наука».

Адрес редакции:
117049, Москва, ГСП-1,
Мароховский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.08.85
Подписано к печати 10.10.85
Т—19925

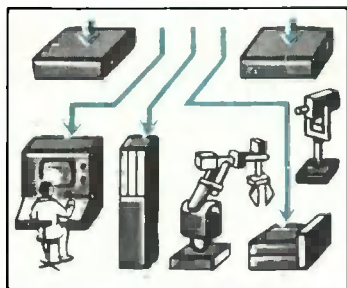
Формат 70×100 1/16
Офсет
Усл.-печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 1426,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,0
Бум. л. 4
Тираж 53 260 экз. Зак. 2430

Ордена Трудового
Красного Знамени
Чеховский полиграфический
комбинат ВО «Союзполиграфпром»
Государственного комитета СССР
по делам издательств, полиграфии
и книжной торговли.
142300, г. Чехов Московской области.



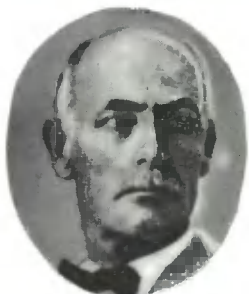
— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.

В следующем номере



Роботы, оснащенные современными средствами сбора и обработки информации, позволяют многократно повысить эффективность производства и качество продукции.

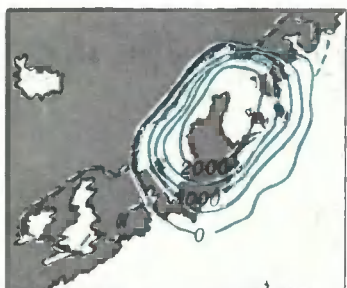
Полов Е. П. Роботы и информатика.



При изучении прошлого историки, как правило, более всего доверяют прямым свидетельствам — описаниям очевидцев, архитектурным памятникам, археологическим находкам. Однако часто такие свидетельства представляют собой лишь эпизоды в историческом процессе. Восстановить явления в целом помогает сравнительный анализ разных культур, подчас далеко отстоящих друг от друга.

Иванов Вяч. Вс. Артур Хокарт и сравнительный метод в этнографии.

Хокарт А. М. Критерии оценки свидетельств.



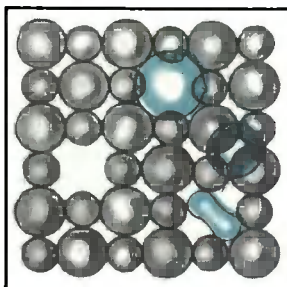
Изучение изотопного состава материкового льда и древних морских организмов позволяет восстанавливать ход температуры за последние тысячи и даже миллионы лет.

Пунинг Я.-М. К. Динамика материковых оледенений.



Прошло немногим более полувека, как в Ленинграде на небольшой установке были зарегистрированы отраженные от самолета радиоволны. С этого дня начались интенсивные исследования, направленные на решение задачи обнаружения самолетов и точного определения их местоположения.

Кобзарев Ю. Б. Первые шаги советской радиолокации.



Под действием различных видов излучений значительно изменяются свойства твердых тел — они становятся хрупкими, прозрачные кристаллы мутнеют или приобретают окраску, полупроводниковые приборы перестают работать и т. д. «Виновики» этого — дефекты кристаллической решетки, образующиеся, в частности, в результате возбуждений электронной подсистемы кристалла.

Витовский Н. А., Эланго М. А. Электронные возбуждения и дефекты в кристаллах.

Цена 80 к.
Индекс 70707

