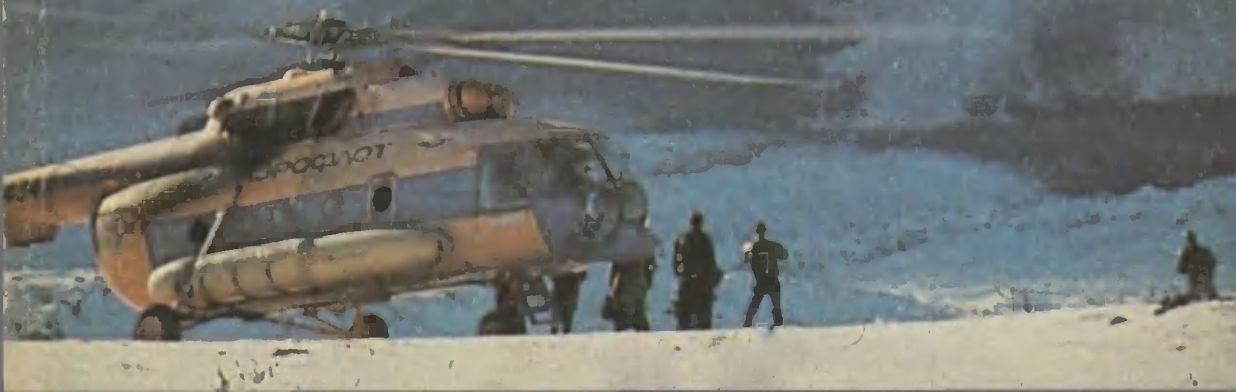


ПРИРОДА

3-95



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

А.А.ГУРШТЕЙН (история естествознания),

А.А.КОМАР (физика),

А.К.СКВОРЦОВ (биология),

А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

И.Н.АРУТЮНЯН (редактор отдела физико-математических наук), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (ответственный секретарь), член-корреспондент РАН Н.А.БОГДАНОВ (геология), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), член-корреспондент РАН А.Л.БЫЗОВ (физиология), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (палеогеография), академик АМН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор географических наук Н.Ф.ГЛАЗОВСКИЙ (география), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик В.А.ЖАРИКОВ (геология), член-корреспондент РАН Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология, экология), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (общая и техническая химия), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), Л.Д.МАЙОРОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), доктор биологических наук Б.М.МЕДНИКОВ (биология), Н.Д.МОРОЗОВА (научная информация), доктор геолого-минералогических наук Л.Л.ПЕРЧУК (геология), доктор технических наук Д.А.ПОСПЕЛОВ (информатика), член-корреспондент РАН В.А.СИДОРЕНКО (энергетика), академик В.Е.СОКОЛОВ (зоология), академик В.С.СТЕПИН (философия естествознания), академик В.Н.СТРАХОВ (геофизика), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела философии, истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), доктор биологических наук М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биология, биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела экологии и химии), доктор физико-математических наук А.М.ЧЕРЕПАШУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Кульминационный этап активности. См. в номере: Озеров А.Ю. Новое извержение Ключевского вулкана.

Фото автора

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Частица лунного габбро. См. в номере: Корина М.И. Лунные породы.



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук
журнал «Природа» 1995

В НОМЕРЕ

3 Агафонов А. В. ПРИНЦИП АВТОФАЗИРОВКИ И ИСТОРИЯ РАЗВИТИЯ УСКОРИТЕЛЕЙ

Современный этап развития ускорителей, начало которому было положено открытием принципа автофазировки, характеризуется переходом к международному сотрудничеству в создании крупных физических установок. Их стоимость слишком велика даже для очень высокоразвитых стран.

ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ

17 Озеров А. Ю. Новое извержение Ключевского вулкана

Кульминационная стадия извержения 1994 г. — одна из наиболее ярких страниц активности этого знаменитого вулкана Камчатки в XX столетии.

22 ХРОНИЧЕСКИЙ ГАСТРИТ И ЯЗВЕННАЯ БОЛЕЗНЬ — ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ

С позиций традиционного врачебного опыта хронический гастрит и язва двенадцатиперстной кишки всегда считались неинфекционными. Но открытие нового спиралевидного организма — *Helicobacter pylori* — и тщательное исследование процессов, вызываемых им в организме человека, изменили подходы к профилактике и лечению этих заболеваний.

Аруни Л. И. НЕМНОГО ИСТОРИИ И НЕКОТОРЫЕ МЕХАНИЗМЫ (22)

Жуховицкий В. Г. «ЗЛОКОЗНЕННЫЙ БАЦИЛЛ» (30)

Григорьев П. Я. ДИАГНОСТИКА И ЛЕЧЕНИЕ ХЕЛИКОБАКТЕРИОЗА (38)

46 Заварзин Г. А. АНТИ-РЫНОК В ПРИРОДЕ

Сопоставление конкурентных («рыночных») и кооперативных («антирыночных») взаимоотношений в природе показывает, что биоразнообразие приводит к формированию кооперативной системы.

61 Агафонов Б. П. РАСТУЩИЙ БАЙКАЛ

Несмотря на древность, Байкал сохраняет удивительно «молодой» облик. Зеркало озера явно разрастается. На многих прибрежных участках оседают блоки пород; размываются рыхлые и даже скальные берега.

66 Корина М. И. ЛУННЫЕ ГОРНЫЕ ПОРОДЫ

Лунное вещество в главных чертах сходно с базальтами Земли, но химически лунные породы обладают характерными отличиями. Внешне они имеют мало общего со своими петрохимическими земными аналогами, и дело тут не только в химии, но и в структурах.

76 Каганов М. И. ШКОЛА ЛАНДАУ. ЧТО Я О НЕЙ ДУМАЮ

Физиков, которые считали себя причастными к школе Ландау, связывало ощущение единства, они чувствовали себя как бы принадлежащими одной вере. Существует ли в этом или ином смысле школа Ландау сегодня?

90 Л. Д. ЛАНДАУ О ПЬЕРЕ КЮРИ

94 Аблеева В. А., Литкенс Е. С. КИСЛОТНЫЕ ДОЖДИ В ЦЕНТРАЛЬНОЙ РОССИИ

ДРЕВНИЕ ПЛЕМЕНА И НАРОДНОСТИ

96 Рябинин Е. А. МЕЩЕРА

Этническая история этой средневековой финно-угорской народности, заселявшей в первой половине II тысячелетия н. э. южную часть Волго-Окского бассейна, не освещена в письменных документах; по особенностям культуры, в том числе чертам погребального обряда, прослеживается процесс включения мещеры в состав русского народа.

105 Зайцев А. Л. ИЗ АМЕРИКИ В РОССИЮ ЗА 30 СЕКУНД

108 НОВОСТИ НАУКИ

КОРОТКО (65, 75)

• РЕЗОНАНС

124 Серебряный А. И. «КРИК БЕОТИЙЦЕВ» — ШУТКА ИЛИ РЕАЛЬНОСТЬ?

127 ОБЪЯВЛЕНИЯ

IN THIS ISSUE

3 Agafonov A. V. PHASE-STABILITY PRINCIPLE AND THE HISTORY OF ACCELERATORS

The current stage of accelerator development made a good start from the discovery of the phase-stability principle. Since the cost of these physical facilities is too high even for well-developed countries their construction nowadays goes through international cooperation.

NEWS FROM EXPEDITIONS

17 Ozerov A. Yu. NEW ERUPTION OF VOLCANO KLYUCHEVSKOY

The culmination stage of the 1994 eruption of this famous Kamchatka volcano became one of the highlights of its activity in the 20th century.

22 CHRONIC GASTRITIS AND STOMACH ULCER: ARE THEY INFECTIOUS?

From the positions of traditional medicine chronic gastritis and duodenum ulcer were always treated as noninfectious diseases. However, after the discovery of Helicobacter Pylori — a new form of spiral bacterium — the investigation of processes caused by it in human body changed the approach to the prophylaxis and treatment of these diseases.

Aruln L. I. SOME HISTORY AND SOME MECHANISMS (22)

Zhukhovitsky V. G. «THE CRAFTY BACILLUS» (30)

Grigoryev P. Ya. HELICOBACTERIOSIS DIAGNOSTICS AND TREATMENT (38)

46 Zavarzin G. A. ANTI-MARKET IN NATURE

The comparison of competition (market) and cooperative (anti-market) interactions in nature shows us that biodiversity leads to the formation of a cooperative system.

61 Agafonov B. P. THE GROWING BAIKAL

In spite of its ancient origin Baikal keeps its surprisingly young image. The lake's surface evidently increases, not only mellow but also rock coast is eroding.

66 Korina M. I. THE MOON ROCKS

The Moon rocks are generally similar to the Earth basalts but there exist also some characteristic chemical differences. Externally they have little in common with their earth analogues, and the point is not in chemistry but in their structure.

76 Kaganov M. I. THE LANDAU SCHOOL, WHAT I THINK ABOUT IT.

Physicists, who considered themselves belonging to the Landau school, were connected by the feeling of unity or even common faith. The question is whether the Landau school still exists today either in that or some other sense.

90 LEV LANDAU ABOUT PIERRE CURIE

94 Ableeva V. A. and Litkens E. S. ACID RAINS IN CENTRAL RUSSIA

ANCIENT TRIBES AND PEOPLES

96 Ryablinin E. A. MESCHERA

This medieval Finno-Ugric entity was settled in the first half of the 2nd mil. A. D. in the southern part of Volga—Oka basins. The ethnical history of Meschera isn't based on written sources, but peculiarities of their culture and burial custom help us to follow the process of inclusion of this ethnical group in the Russian nation.

105 Zaitsev A. L. FROM AMERICA TO RUSSIA IN 30 SECONDS

108 SCIENCE NEWS

NEWS IN BRIEF (65, 75)

RESONANCE

124 Serebryany A. I. «THE CRY OF BEOTIANS» — IS IT A JOKE OR REALITY?

127 ANNOUNCEMENTS

Принцип автофазировки и история развития ускорителей

А. В. Агафонов

В 1994 г. произошло два события в истории ускорителей. Во-первых, исполнилось 50 лет открытию принципа автофазировки, с которого начался современный этап в развитии ускорительной техники. Этому событию был посвящен специальный Международный симпозиум, прошедший в Объединенном институте ядерных исследований (Дубна) и Физическом институте им. П. Н. Лебедева РАН (Москва). Второе событие связано с отказом США от реализации уже осуществлявшегося проекта создания самого грандиозного в мире ускорителя — сверхпроводящего суперколлайдера SSC. Это решение вызвало полемический шквал во всем мире, поскольку затрагивало не только фундаментальные исследования, но и ассоциировалось чуть ли не с концом эры ускорителей или, по крайней мере, ускорителей на высокие энергии.

Основная причина, имеющая внешне финансовый характер, заключается в том, что создание таких установок становится не под силу отдельным, даже самым высокоразвитым, странам из-за необходимости соблюдать некоторую пропорциональность в развитии различных областей науки. Лидерство в области физики высоких энергий, утраченное США, перешло к международной организации в декабре 1994 г. Совет Европейской организации ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) принял решение о строительстве европейского адронного суперколлайдера LHC, в которое будет вовлечено много стран, не входящих в ЦЕРН, в том числе и Россия. Путь международного создания крупномасштабных физических установок обеспечит каждой из них место на переднем крае фундаментальных исследований.



Алексей Вениаминович Агафонов, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем новых ускорителей Физического института им. П. Н. Лебедева РАН. Специалист в области физики сильноточных пучков, физики плазмы и физики ускорителей.

УСКОРИТЕЛИ ЗАРЯЖЕННЫХ ЧАСТИЦ: ФОКУС НОВЕЙШИХ ТЕХНОЛОГИЙ

ПОНЯТИЕ большой или малой энергии частиц за последние десятилетия все время менялось, смещаясь в сторону больших значений. Если проследить процесс развития ускорителей за этот срок, то можно убедиться, что примерно каждые семь лет максимальная достигнутая энергия частиц возрастала на порядок. Основной единицей измерения энергии частиц служит электронвольт (эВ) — энергия, приобретаемая единичным зарядом при прохождении ускоряющего напряжения 1В. Однако в применении к ускорителям используются обычно более крупные единицы: килоэлектрон-, мегаэлек-

трон-, гигаэлектрон- и тераэлектрон-вольт (10^3 , 10^6 , 10^9 , 10^{12} эВ соответственно). Деление ускорителей по энергиям условно: на низкую энергию — до нескольких десятков МэВ; на среднюю — до 1 ГэВ.

Первые ускорители имели четкое назначение, связанное, в первую очередь, с потребностями физики атомного ядра, и с самого начала рассматривались как инструмент физического эксперимента. Поскольку эволюция представлений о фундаментальных свойствах материи всегда была сопряжена с проникновением в круг явлений, наблюдающихся на все меньших и меньших расстояниях, аппетиты теоретиков, формировавших такие взаимосвязанные направления, как физика высоких энергий и физика элементарных частиц, в стремлении построить единую теорию поля требовали частиц все больших и больших энергий. Необходимо было создание «зондирующего инструмента», роль которого не могли играть частицы малых энергий. Это легко понять, учитывая, что длина волны де Бройля зондирующей частицы $\hbar/p$, (где $\hbar$ — постоянная Планка, p — импульс частицы) непосредственно характеризует ее «разрешающую способность»¹, так что передаваемый в процессе взаимодействия импульс $p \sim \hbar/l$ должен быть тем больше, чем меньше исследуемый масштаб длины l .

Таким образом, эти «микроскопы» современной физики создавались как инструмент физического эксперимента для исследований фундаментальных свойств материи. По своей сути, но не с точки зрения «пользователей», ускорительная физика — наука прикладная, к которой «приложены» все самые что ни на есть фундаментальные экспериментальные исследования структуры материи.

Однако под какое определение подходит ускорительная физика — фундаментальная или прикладная это

наука, не суть важно. Важно другое: современный ускорительный комплекс — это работающая выставка достижений человеческой мысли и инженерного искусства, аккумулировавшая в себе новейшие технологии, часть из которых появилась в результате развития ускорительной техники. С этой точки зрения ее состояние однозначно отражает степень и уровень развития наукоемких технологий в обществе.

НЕМНОГО ТЕРМИНОЛОГИИ И ИСТОРИИ

По форме траектории ускоряемых частиц ускорители бывают двух основных типов: циклические (траектория близка к круговой) и линейные (траектория близка к прямолинейной); по принципу ускорения — электростатические, индукционные, резонансные. Наиболее разнообразно семейство циклических ускорителей: циклотрон, фазотрон (синхроциклотрон), протонный (ионный) синхротрон (синхрофазотрон), бетатрон, микротрон, электронный синхротрон, накопительные кольца. Линейные ускорители различают в основном по типу ускоряемых частиц (электроны или ионы) и по типу структур, в которых осуществляется ускорение частиц.

В истории развития ускорителей нетрудно проследить три основные линии развития, отличающиеся принципом ускорения.

Наиболее очевидной является идея ускорения электростатическим полем в пространстве между двумя электродами, к которым приложено постоянное во времени напряжение. Именно на пучке такого ускорителя, созданного Д. Кокрофтом и Э. Уолтоном, в 1932 г. была осуществлена первая искусственная ядерная реакция — расщепление лития протонами с энергией 400 кэВ. Ограничения этого метода ясны, однако разнообразные варианты электростатических ускорителей прочно завоевали свое место как в научных исследованиях, так и в промышленности.

¹ Подробнее см.: Арутюнян И. Н. Ускорители нового поколения // Природа. 1981. № 12. С. 36—48.

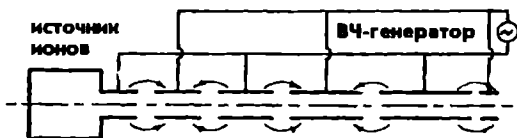
Вторая линия развития связана с отказом от условия потенциальности и основана на использовании вихревого электрического поля, порождаемого изменяющимся во времени магнитным полем. Такой ускоритель представляет собой, по сути, трансформатор, в котором вторичной обмоткой является ускоряемый пучок, а первичной — обмотка, создающая магнитное поле. Первый ускоритель такого типа — бетатрон — был запущен в 1940 г. Д. Керстом. Энергия электронов в нем составляла 2.3 МэВ. Нерезонансный характер ускорения, малое ускоряющее поле и резкое увеличение потерь энергии электронов на магнитотормозное излучение с ростом энергии электронов определили максимальную энергию на уровне, не превышающем сотен МэВ. Бетатрон стал надежным и простым источником тормозного излучения, применяемого для дефектоскопии крупногабаритных деталей различных установок (лопатки турбин, кожухи атомных реакторов и др.). Интересно отметить, что принцип работы бетатрона был сформулирован в рабочей тетради норвежского студента Р. Видерое еще в 1923 г. Однако построенная им в 1927 г. модель бетатрона не заработала, и обескураженный этой неудачей Видерое направил свои усилия в другую область и стал родоначальником семейства линейных резонансных ускорителей.

Основную линию развития — резонансное ускорение — предложил Г. Изинг в 1924 г. В 1928 г. Р. Видерое построил на этом принципе линейный резонансный ускоритель, на котором были ускорены ионы Na до энергии 50 кэВ. В 1928 г. Э. Лоуренс предложил циклический резонансный ускоритель — циклотрон, и в 1931 г. М. Ливингстон продемонстрировал его работоспособность, получив ускоренные протоны с энергией 80 кэВ. В 1932 г. всего несколькими неделями позже Д. Кокрофта и Э. Уолтона, на созданном Лоуренсом циклотроне было также осуществлено расщепление ядра пучком протонов с энергией 1.25 МэВ.

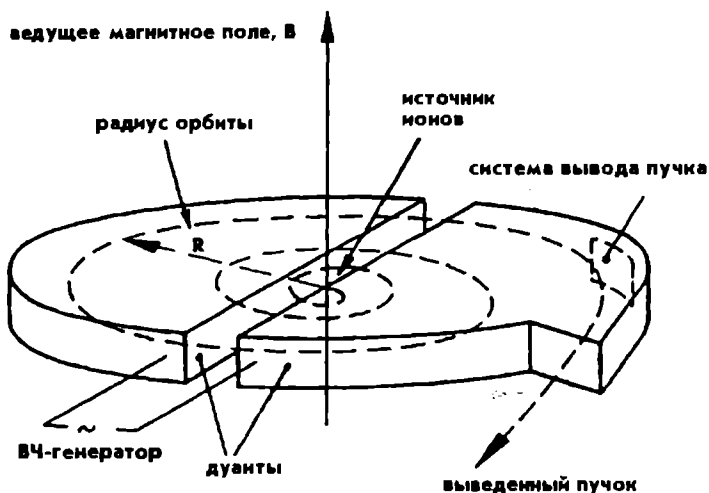
ОСНОВНАЯ ЛИНИЯ РАЗВИТИЯ: ЛИНЕЙНЫЕ И ЦИКЛИЧЕСКИЕ РЕЗОНАНСНЫЕ УСКОРИТЕЛИ

Основная идея резонансного ускорения состоит в том, что частицу пропускают через последовательность ускоряющих зазоров (или последовательно через один), в которых ускоряющее поле переменного во времени. При каждом прохождении частицы поле должно принимать нужное значение, и она получает относительно небольшое приращение энергии. Синхронность изменения поля и движения частицы и составляют суть резонансного метода ускорения.

Хотя схемы резонансных ускорителей весьма разнообразны, в их основе лежат общие принципы. Если ускоряющие зазоры расположены последовательно друг за другом на прямой линии и частота ускоряющего



Схематическое изображение линейного резонансного ускорителя ионов с дрейфовыми трубками. Стрелками показано направление электрического поля в некоторый момент времени. Через полпериода колебаний эти направления меняются на обратные, и частица, прошедшая через какой-то из ускоряющих зазоров, попадает в следующий в тот момент, когда поле в нем становится ускоряющим. Из распределения электрического поля видно, что в схеме резонансного ускорения область ускоряющего поля как бы перемещается от зазора к зазору синхронно с ускоряемой частицей. То, что в данной довольно простой схеме поле имеет характер стоячей волны, не противоречит такой интерпретации: стоячую волну можно представить в виде суммы двух бегущих, одна из которых движется синхронно с частицей, а другая — распространяется с той же фазовой скоростью в противоположном направлении и не меняет в среднем энергию частицы. Принцип выделения резонансной (синхронной) волны ускоряющего поля лежит в основе действия всех резонансных ускорителей. В данной схеме поле «бегит» синхронно с ускоряемой частицей за счет изменения длины дрейфовых трубок.



Схематическое изображение резонансного циклического ускорителя — циклотрона. Два ускоряющих зазора образованы «дрейфовыми трубками» (по форме отличающимися от тех, которые используются в линейном ускорителе), которые называются дуантами. Как и в случае линейного резонансного ускорителя, систематическое увеличение энергии частиц в циклотроне происходит в результате взаимодействия с синхронным бегущим ускоряющим полем. Только в случае циклического ускорителя эта составляющая «бежит» по азимуту с угловой фазовой скоростью, равной угловой скорости обращения частицы.

поля в них одинакова, то для обеспечения резонансного ускорения расстояние между соседними ускоряющими зазорами должно возрастать, поскольку скорость частиц v_n , расстояние между зазорами l_n и период изменения поля T_0 должны быть связаны соотношением $l_n/v_n = T_0/2$ или $l_n = \lambda_n v_n / 2c$, где $l_n = cT_0$ — длина волны ускоряющего поля в свободном пространстве, c — скорость света.

Вместо однократного прохождения последовательности ускоряющих зазоров можно использовать многократное прохождение одного или нескольких ускоряющих зазоров, периодически возвращая частицу с помощью магнитного поля, что и составляет основную схему циклотрона. Особое изящество схеме классического циклотрона придает то, что частица, движущаяся с линейной скоростью v в плоскости, перпендикулярной однородному магнитному полю B , обращается по окружности радиуса R с угловой скоростью $\omega = eB/m_0$, где m_0 — масса покоя частицы, которая не зависит от энергии (для нерелятивистских частиц). Это условие с очевидностью следует из равенства центростремительной силы инерции и силы Лоренца $mv^2/R = evB/c$. Таким образом, для соблюдения синхронизма должно выполняться равенство частоты обращения частицы ω и частоты

изменения ускоряющего электрического поля ω_0 .

Принципиальное ограничение максимальной энергии частиц в циклотроне связано с релятивистскими поправками, поскольку с ростом скорости частица становится более тяжелой: $m = m_0 \gamma$, где $\gamma = 1/\sqrt{1-v^2/c^2}$ — так называемый релятивистский фактор. В результате, частота ее обращения ω падает, и через некоторое число оборотов частица попадает в ускоряющий зазор в то время, когда поле в нем становится тормозящим.

Для релятивистской частицы постоянной энергии $E = mc^2$ условие движения ее по окружности можно переписать как $R = mv/ecB = Ev/ecB$. Комбинируя его с выражением для периода обращения частицы $T = 2\pi R/v$ и учитывая, что частота ускоряющего поля ω_0 может быть кратна частоте обращения $\omega = q\omega_0$, т. е. частица может проходить ускоряющий зазор через целое число периодов изменения ускоряющего поля, получаем следующее простое выражение: $E = ceBq/\omega_0$, которое позволяет классифицировать типы резонансных ускорителей, различающиеся зависимостью B и ω_0 от времени.

При увеличении энергии частицы надо либо уменьшать ω_0 (синхроциклотрон или фазотрон), либо увеличивать B (синхротрон), либо менять одновре-

менно и то и другое (синхрофазотрон или ионный синхротрон), либо увеличивать кратность q частоты (микротрон). Заметим сразу, что идею ускорения частиц с изменением кратности частоты, которая реализована в микротроне или, как его еще называют, электронном циклотроне, также предложил В. И. Векслер.

«ЗА АВТОФАЗИРОВКУ, ПУЧКА ФОКУСИРОВКУ...»

Таким образом, к началу 40-х годов были открыты и продемонстрированы три метода ускорения: высоковольтный, бетатронный и резонансный. На этом идейная сторона исчерпала себя, но в середине 60-х годов были предложены методы коллективного ускорения, а затем их разновидности, а в начале 80-х годов уровень развития технологий позволил не только строить умозрительно механизмы ускорения, основанные на возбуждении ускоряющих полей высокой амплитуды в средах, но и осуществлять проверку принципа их работы. Впрочем, последние методы вполне укладываются под определение резонансных.

Сам по себе механизм ускорения не может работать реально, если для него не созданы дополнительные условия. Первое из них — это фокусировка пучка в плоскости, поперечной направлению движения частиц. В циклотроне этого добивались, обеспечивая слабый спад магнитного поля по радиусу путем профилирования полюсов магнита так, чтобы силовые линии магнитного поля приобретали бочкообразный характер. Чтобы обеспечить устойчивость движения ускоряемой частицы сразу по двум поперечным направлениям, изменение магнитного поля по радиусу не должно быть резким. Поэтому такой метод получил название мягкой или слабой фокусировки.

На первый взгляд кажется, что радикальное решение вопроса об увеличении энергии связано «просто» с изменением частоты ускоряющего поля. В связи с этим, однако, возникает вопрос, с какой из частиц

нужно поддерживать резонанс ускоряющего поля. Поскольку в пучке должно одновременно ускоряться большое количество частиц, которые невозможно сгруппировать в точечный сгусток (кроме того, частицы неизбежно имеют некоторый начальный разброс по энергии), разные частицы будут проходить ускоряющий зазор в различные моменты времени, т. е. в разных фазах, и получать различные приращения энергии, в том числе и отрицательные. В идеальном (нерелятивистском) циклотроне этот эффект несуществен, поскольку все частицы наберут заданную энергию, хотя и за разное число оборотов. В случае же, когда частота обращения зависит от энергии, обеспечение резонансных условий ускорения для частиц с различными начальными фазами быстро становится невозможным.

Аналогичные рассуждения можно привести и для линейного резонансного ускорителя. Увеличение длины дрейфовых трубок должно быть заранее рассчитано под заданное приращение энергии частиц в предыдущем ускоряющем зазоре, т. е. под определенную фазу поля в нем. Поскольку частицы приходят в зазор в разное время, они сдвинутся по фазе ускоряющего поля в следующих зазорах относительно единственной «равновесной» частицы, прошедшей зазор точно в правильной фазе.

Таким образом, необходимо еще обеспечить устойчивость процесса ускорения в продольном направлении, иначе говоря, частицы, отклонившиеся по фазе или энергии от равновесной, должны тем не менее, хотя бы в среднем, ускоряться. Механизм такой продольной фокусировки был предложен В. И. Векслером и получил название принципа автофазировки, что и позволило изобрести синхротрон.

Фазовые колебания. Обратим внимание, что при анализе механизма резонансного ускорения частиц в циклотроне мы остановились на полпути и ограничились только той частью полного цикла динамики частиц, в которой

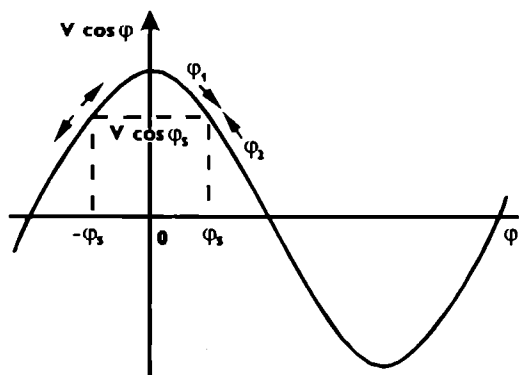


Иллюстрация принципа автофазировки. Частицы с фазами φ_1 и φ_2 , находящиеся на спадающем участке ускоряющего поля $V \cos \varphi$ вблизи синхронной частицы, будут совершать устойчивые колебания относительно равновесной фазы φ_s . Частицы, попавшие на нарастающий участок ускоряющего поля, при отклонении их фазы от $-\varphi_s$ будут проскальзывать по всем фазам.

их энергия возрастает во времени. В общем случае изменение энергии частицы в циклотроне отнюдь не соответствует ее монотонному увеличению, а более точно отображается поведением маятника.

Рассмотрим полный цикл движения частиц, не обращая внимания на конечную цель — получение частиц высокой энергии и их вывод из

Зависимость равновесной (прямая линия) и неравновесной (волнистая линия) энергии частиц от числа оборотов. В первом случае частицы всегда ускоряются, во втором — чередуется ускорение и замедление неравновесной частицы при ее среднем ускорении.

ускорителя. Вначале, по мере увеличения энергии, скорость частицы все время возрастает, но в силу релятивистского эффекта растет и масса частицы. Это сопровождается увеличением среднего радиуса орбиты, который растет несколько быстрее, чем скорость, и время, затрачиваемое на один оборот, постепенно увеличивается.

Возрастание периода обращения приводит к тому, что получаемый частицей прирост энергии становится все меньше и меньше. Частица «съезжает» по фазе ускоряющего поля, как неопытный всадник съезжает к хвосту лошади под действием тряски. Наконец, на каком-то из оборотов частица попадает в зазор в момент, когда электрическое поле в нем отсутствует. На этом цикл ускорения закончился — частица набрала максимально возможную энергию. При следующих оборотах электрическое поле будет уже не ускорять, а тормозить частицу. В результате, частица затормозится до той же начальной энергии, с которой она начала свое движение в ускоряющем цикле. После этого весь процесс полностью повторяется. Таким образом, движение частицы в циклотроне будет периодическим: она попеременно будет оказываться то на гребне ускоряющего поля, то в нулевой фазе, то на гребне тормозящего поля, т. е. совершать фазовые колебания (после создания синхротрона их стали называть синхротронными). Следовательно, в циклотроне для получения максимальной энергии частицы должны совершить



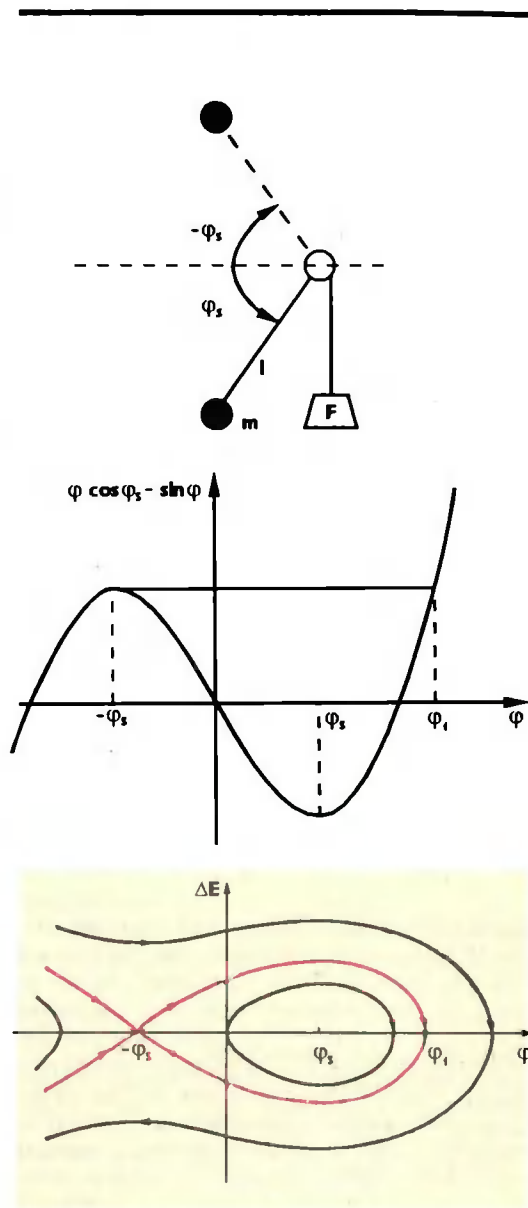
Механическая аналогия процесса автофазировки. Маятник с внешним моментом силы F (вверху) совершает устойчивые колебания в яме с потенциалом $\varphi \cos \varphi$, — $\sin \varphi$ относительно равновесного состояния φ_0 (в середине) от φ_1 до $-\varphi_1$. Фазовые траектории устойчивых колебаний представляют собой замкнутые кривые (внизу), которые отделены от разомкнутых траекторий (вращение маятника) сепаратрисой (показана цветом). Аналогичные зависимости описывают и фазовые колебания частиц в процессе автофазировки. (Фазовые траектории представлены в обозначениях, принятых в ускорительной физике. Для маятника с внешним моментом силы лишь по-другому определяются значения, откладываемые по оси ординат.) Частицы с начальными значениями параметров, попадающими внутрь сепаратрисы, захватываются в режим резонансного ускорения, ускоряясь в среднем при увеличении равновесной энергии. Все остальные частицы, находящиеся за пределами площади, охватываемой сепаратрисой, совершают колебания, в среднем не приобретая энергию.

половину фазового колебания, после чего их необходимо вывести из ускорителя.

Принцип автофазировки. Представим себе, что после каждого полного цикла фазовых колебаний у частицы оказывается некоторый выигрыш в энергии. Если такой режим поддерживать достаточно долго, то можно ожидать, что частица сможет набрать сколь угодно большую энергию.

Оказалось, что организовать такой режим достаточно просто, если считать, что какой-либо из параметров (например, частота ускоряющего поля или магнитное поле, или оба эти параметра вместе) меняется во времени медленно по сравнению с периодом обращения, т. е. обеспечивается длительное резонансное взаимодействие частицы с волной.

Назовем «равновесной» частицу с частотой обращения ω_1 , всегда точно равной частоте ускоряющего поля ω_0 , и рассмотрим основную идею принципа автофазировки на примере циклического ускорителя, в котором ω уменьшается с ростом энергии равновесной частицы $E_1(\partial \omega_1 / \partial E_1 < 0)$, и, соответствен-



но, для поддержания резонансного характера ускорения ω_0 медленно уменьшается во времени.

Пусть равновесная частица попадает в ускоряющий зазор в тот момент, когда напряжение на нем перевалило через максимум и уменьшается, оставаясь еще положительным, причем значение ускоряющего напряжения $V \cos \varphi$ соответствует резонансному характеру ее ускорения. Рассмотрим две



В. И. Векслер и Э. Мак-Миллан — авторы принципа автофазировки.

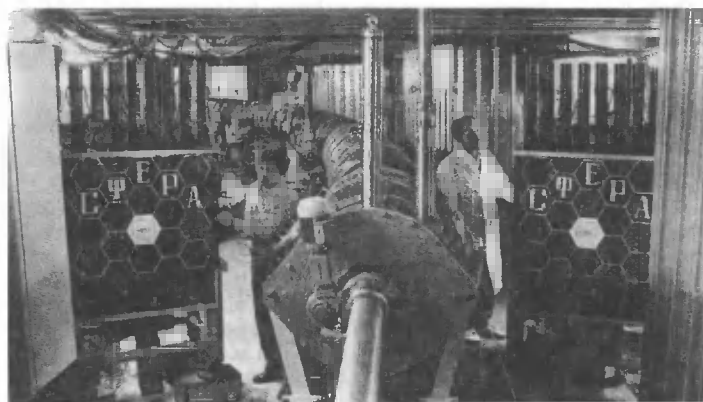
другие частицы: первая из них проходит ускоряющий промежуток несколько позже, а вторая — несколько раньше равновесной. Первая получит меньшее приращение энергии и, хотя частота ее обращения упадет, но все же будет больше, чем у равновесной частицы. При следующих прохождении ускоряющего зазора запаздывание первой частицы относительно равновесной уменьшается, и за счет накопления эффекта она в конце концов придет в ускоряющий промежуток в той же фазе, что и равновесная, и получит тот же прирост энергии. Однако за счет длительного отставания набранная ею энергия все еще меньше, чем у равновесной частицы, а частота обращения все еще выше, и на последующих оборотах она будет продолжать сдвигаться по фазе, опережая равновесную частицу, и получать на каждом

проходе большее приращение энергии. После того как энергии частиц сравняются, первая частица будет опережать по фазе равновесную, и процесс пойдет в обратную сторону, поскольку больший прирост энергии ведет к уменьшению частоты обращения, запаздыванию по фазе и возвращению в исходное состояние. Ясно, что такая же ситуация складывается и со второй частицей, первоначально опережавшей равновесную по фазе. Однако за период этого фазового колебания энергия равновесной частицы уже увеличилась, поскольку она все время находилась в резонансе с ускоряющим полем, следовательно, будет в среднем возрастать и энергия неравновесных частиц. Из этих простых качественных рассуждений ясно, что не любые частицы могут быть, как говорят, «захвачены» в режим ускорения.

Если в качестве равновесной фазы выбрать $-\varphi_0$, соответствующую нарастанию напряжения в ускоряющем зазоре, то нетрудно провести аналогичные рассуждения и прийти к выводу, что любые отклонения частиц от этой фазы будут со временем только возрастать.

В циклических ускорителях возможен и обратный случай, когда частота обращения увеличивается с ростом энергии, а в линейных ускорителях скорость частицы $v(E)$, представляющая собой аналог частоты обращения, всегда является растущей функцией энергии. Поэтому в линейном и циклическом ускорителях с $d\omega_0/dE > 0$ равновесная фаза должна выбираться на нарастающем участке, когда напряжение положительно, но еще не достигло своего максимума. Дальнейшие рассуждения очевидны: частица с избыточной скоростью обгоняет равновесную и сползает в фазу, соответствующую меньшему полю, получает меньший прирост энергии и т. д.

Таким образом, механизм автофазировки приводит к фокусировке пучка в продольном направлении: первоначально однородный пучок самоорганизуется в структуру, представляющую собой последовательность сгустков частиц.



Сверхпроводящий тяжелоионный ускоритель «Нуклотрон» в ОИЯИ (Дубна). Он размещен под синхрофазотроном в бывшем технологическом туннеле; на переднем плане — электромагнитный калориметр СФЕРА.

САМООРГАНИЗАЦИЯ КОЛЛЕКТИВА ЧАСТИЦ В УСЛОВИЯХ ЖЕСТКОЙ ВЛАСТИ: АВТОФАЗИРОВКА И ЖЕСТКАЯ ФОКУСИРОВКА

Хотя принцип автофазировки открыл возможность неограниченного увеличения энергии частиц, на ее пути возникло «чисто техническое» препятствие. Увеличение энергии частиц неизбежно связано с ростом размеров ускорителей. Если размеры ускорителя растут хотя бы линейно с энергией частиц, то масса магнита должна расти как куб энергии, что становится принципиально непреодолимым препятствием на пути создания ускорителей на высокие энергии. Так, в 1957 г. под руководством В. И. Векслера в Дубне был запущен синхрофазотрон на энер-

гию протонов 10 ГэВ, в котором использовался принцип автофазировки. Масса магнитного кольца ускорителя составила 36 тыс. т, а во избежание нежелательных усадочных явлений и деформаций кольцевой бетонный фундамент массой 15 тыс. т в течение года подвергался специальной выдержке.

Соединение принципа автофазировки и принципа жесткой (или сильной) фокусировки, сформулированного в 1952 г. Д. Керстом, М. Ливингстоном и Х. Снайдером, положило начало качественно новому этапу в истории ускорителей.

Мягкую или слабую фокусировку образно можно описать как движение теннисного шарика по не очень сильно искривленному желобу, стенки которо-



Вакуумная камера диаметром 10 см с одним дуантом. Она была использована М. Ливингстоном в 1931 г. для демонстрации справедливости принципа работы циклотрона.



Э. Лоуренс в 1930 г. со своим 13-сантиметровым циклотроном.

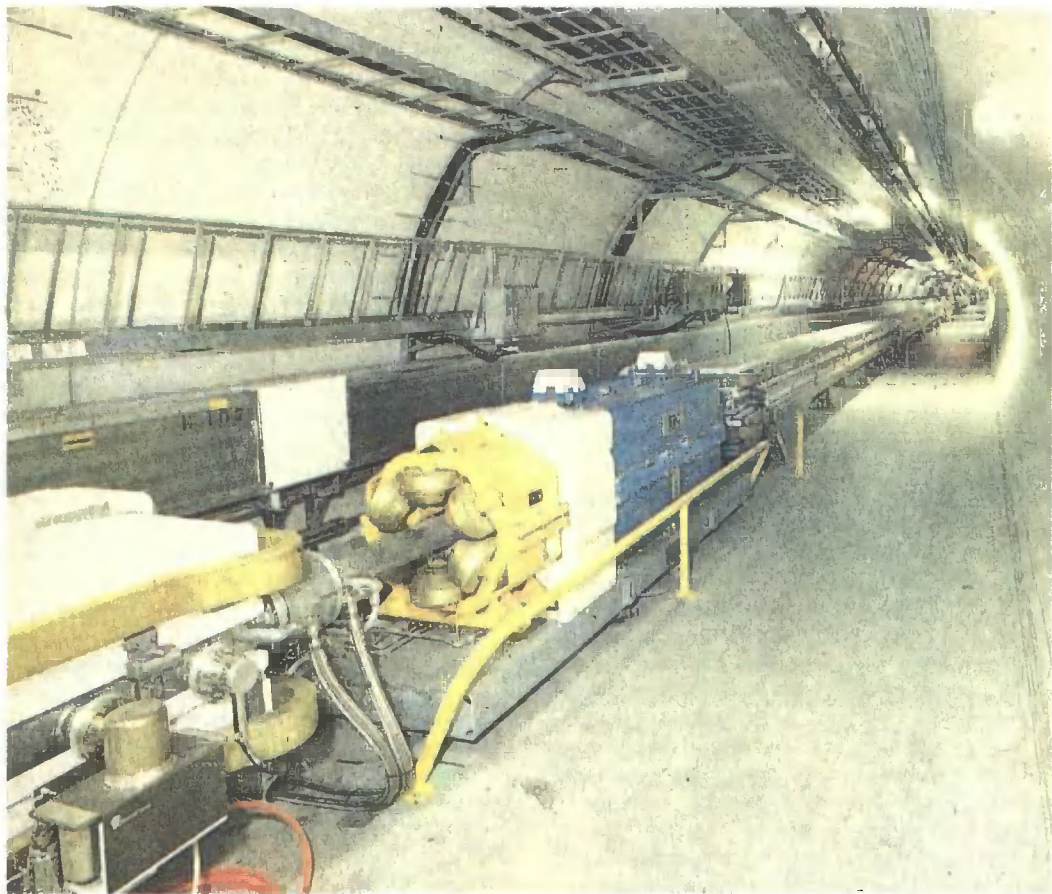


Модель структуры адронного коллайдера LHC. На переднем плане показан разрез двухпертурного сверхпроводящего магнита.

го плавно возвращают отклоненный шарик на равновесную «орбиту». Жесткую фокусировку можно сравнить с ситуацией, когда по этому шарiku лупят последовательно ракетками в двух ортогональных плоскостях с каждой стороны, заставляя его двигаться по выбранной траектории. «Ракетками» — магнитами с большим изменяющимся во времени полем — можно окружить небольшой объем, внутри которого циркулируют частицы, и тем самым на порядки уменьшить вес магнитной системы и габариты ускорителя. Фактически этот принцип следует из геометрической оптики. Фокусная

длина F пары линз, расположенных на расстоянии d , с равными и противоположными по знаку фокусными расстояниями $f_1 = -f_2$ всегда положительна: $F = f^2/d$. В действительности F остается положительной в широком диапазоне независимого изменения значений f_1 и f_2 , лишь бы они имели противоположные знаки. Иными словами, в определенных условиях последовательность попеременно фокусирующих и дефокусирующих линз обеспечивает интегральный фокусирующий эффект.

Адаптация к сильной фокусировке прошла мгновенно. Например, Европейский центр ядерных исследований (ЦЕРН, Женева) сразу же отказался от уже одобренного проекта строительства синхротрона на 10 ГэВ с мягкой фокусировкой в пользу синхротрона на 25 ГэВ с жесткой фокусировкой за ту же стоимость.



Часть структуры коллайдера LEP (ЦЕРН, Женева), который расположен в туннеле на глубине 100 м. В этом же туннеле длиной 27 км будет впоследствии установлен адронный коллайдер LHC.

ЦИКЛИЧЕСКАЯ ДУЭЛЬ НА ПУЧКАХ

Следующим, весьма важным этапом в развитии ускорителей было создание установок со встречными пучками. В физических исследованиях «полезная» энергия, которая может расходоваться на образование новых частиц, определяется энергией в системе центра масс. В случае, если частица с энергией E попадает на неподвижную мишень, только часть энергии оказывается «свободной» в системе центра масс: $W = \sqrt{2}m_0c^2E$. При лобовом столкновении двух частиц с

одинаковой энергией $(E_c)W = 2E_c$. Отсюда нетрудно найти энергию, которую должна иметь частица, попадающая на неподвижную мишень, чтобы обеспечить то же значение W : $E = 2E_c^2/m_0c^2$.

Очевиден и проигрыш такого метода: пучки представляют собой крайне разреженную мишень, плотность которой намного порядков ниже плотности даже газа. Поэтому, необходимо либо увеличивать ток и плотность пучка, либо обеспечить многократное взаимодействие частиц. По техническим причинам первый путь был выбран для так называемых линейных электрон-позитронных коллайдеров, а второй — для циклических электрон-позитронных и адронных коллайдеров. В последнем случае пучки ускоренных частиц циркулируют в постоянном во времени магнитном поле, многократно пересекая друг друга. Такие установки

получили название накопительных колец со встречными пучками, или циклических коллайдеров.

Для характеристики количества полезных событий в установках со встречными пучками используется специально введенное для этого понятие «светимость»: $L = N^2 f / A$, где N — число частиц в сгустке, f — частота следования сгустков, A — поперечное сечение сгустка в точке взаимодействия. Если светимость равна $10^{33} \text{ см}^{-2}\text{с}^{-1}$, это означает, что в среднем за 1 с может регистрироваться одно полезное событие в процессах с поперечным сечением взаимодействия 10^{-33} см^2 .

К ЕДИНОЙ ТЕОРИИ ПОЛЯ ЧЕРЕЗ ВЕЛИКОЕ ОБЪЕДИНЕНИЕ УСКОРИТЕЛЬЩИКОВ

К концу XX в. ситуация, складывающаяся в ускорительной физике, такова, что возможности экстраполяции даже новейших технологий и ухищрений инженерной мысли практически исчерпаны: создание ускорителей на сверхвысокие энергии становится возможным только при участии широкого международного сообщества, и число таких ускорителей вряд ли будет превышать один—два. Масштабы этих «микроскопов микромира» (десятки километров), энергопотребление (масштаба города), оснащенность (тысячи микро-, мини-ЭВМ, выполняющих функции управления ускорительным комплексом, сбора и обработки экспериментальных данных; гигантские по размерам, весу и сложности детекторы частиц), стоимость создания (сравнимая с государственным бюджетом) становятся не под силу даже самым развитым странам мира.

Нельзя не отметить, что погоня за частицами высокой энергии, базирующаяся на применении новых технологических достижений для реализации проверенного принципа, привела практически к полной остановке поисковых работ в других направлениях. В частности, при первых явных неудачах в реализации новых методов коллективного ускорения, исследования в этой

Таблица 1

Действующие ускорители на высокие энергии

Ускоритель, страна	Частицы	Энергия, ГэВ
Протонные и ионные синхротроны и коллайдеры		
PS (Япония)	p	12
У-70 (Россия)	p	76
PS (ЦЕРН)	p	28
	e	3.5
SPS (ЦЕРН)	p	450
	e	20
	pp ⁻	2×450
TEVATRON (США)	pp ⁻	2×900 (2×1000)
AGS (США)	p	33
	тяжелые ионы (Au)	7 ГэВ/нуклон
SIS (Германия)	тяжелые и	1 ГэВ/нуклон
	легкие ионы	2 ГэВ/нуклон
«Нуклотрон» (Россия)	d	3.5
		ГэВ/нуклон
	(ионы)	(6 ГэВ/нуклон)
Циклические адрон-лептонные коллайдеры		
HERA (Германия)	e ⁻ p	30+820
Циклические лептонные коллайдеры		
ВЭПП-2М (Россия)	e ⁺ e ⁻	2×0.7
ВЭПП-4 (Россия)	e ⁺ e ⁻	2×7
CESR (США)	e ⁺ e ⁻	2×9
TRISTAN (Япония)	e ⁺ e ⁻	2×32
LEP (ЦЕРН)	e ⁺ e ⁻	2×55 (2×100)
Линейные лептонные коллайдеры		
SLC (США)	e ⁺ e ⁻	2×50
Фотонные фабрики		
PF (Япония)	e ⁺	2.5
ESRF (Франция)	e ⁻ , e ⁺	6
ALS (США)	e ⁻	1.5
BESSY II (Германия)	e ⁻	1.9

области были полностью остановлены во всех странах. Уровень затрат на поисковые работы и работы по созданию «классических» ускорителей просто несоизмерим. Расплата за это уже очевидна.

Адронный коллайдер XXI в. Все эти причины в совокупности с сильной оппозицией (уменьшение финансирования других направлений) заставили США отказаться от создания адронного сверхпроводящего суперколлайдера SSC (2×20 ТэВ), а запоздалые попытки американских ученых получить международную финансовую поддержку не увенчались успехом. Правительство Канады приняло решение отказаться от создания грандиозной каонной фабрики KAON в лаборатории TRIUMF. Налицо признаки критической ситуации, пока, правда, для чисто национальных, а не международных проектов.

По-видимому, единственной установкой следующего поколения на сверхвысокие энергии будет европей-

ский адронный суперколлайдер LHC (2×8 ТэВ), решение о сооружении которого после длительных обсуждений принято в декабре прошлого года Советом ЦЕРН. В этом крупнейшем международном центре, куда входят теперь 19 стран-участниц, создан уникальный комплекс ускорителей, расположенных в одном месте и связанных друг с другом. Единственный не входящий в цепочку ускорителей фазотрон на 800 МэВ был демонтирован два года назад. Такой «квадратно-гнездовой» метод позволяет использовать существующие ускорители как инжекторы для новых, более мощных установок, что удешевляет их создание, обеспечивает получение различных вторичных частиц и исследование их взаимодействий в широком диапазоне энергий. LHC предполагается разместить в туннеле действующего электрон-позитронного коллайдера LEP, запущенного в 1990 г., что позволит в дальнейшем реализовать встречные пучки лептонов и протонов, а затем и тяжелых ионов. По своим возможностям комплекс LEP + LHC будет существенно превосходить недавно запущенный в Германии электрон-протонный (30 ГэВ + 820 ГэВ) коллайдер HERA².

От лептонных коллайдеров к фотонным. Электрон-позитронный коллайдер LEP, по-видимому, последний лептонный коллайдер циклического типа. Каждый из встречных пучков электронов и позитронов ускоряется в нем до 56 ГэВ, и к 1998 г. их энергия будет увеличена до 100 ГэВ. Основным препятствием на пути дальнейшего роста энергии становятся неизбежные потери на синхротронное излучение, которые растут пропорционально четвертой степени энергии. Если попытаться сделать циклический лептонный

Таблица 2
Проектируемые и находящиеся в стадии создания (*) ускорительные установки

Ускоритель, страна	Частицы	Энергия, ГэВ
Фотонные фабрики		
APS (США)*	e^-, e^+	7
SPring-8 (Япония)*	e^-, e^+	8
Синхротроны		
FMI (США)*	p, p^-	150
Циклические коллайдеры		
RHIC (США)*	p тяжелые ионы (Au+Au)	250 2×100 ГэВ/нуклон
УНК (Россия)	pp^-	2×3000
LHC (ЦЕРН)	pp^-	2×8000
Линейные коллайдеры		
CLIC (ЦЕРН)	e^+e^-	2×500 (2×1000)
ВЛЭПП (Россия)	e^+e^-	2×500 (2×1000)
JLC (Япония)	e^+e^-	2×500
NLC (США)	e^+e^-	2×500 (2×1000)

² Подробнее об ускорительных комплексах ЦЕРНа и лаборатории «Дэзи» см.: Арутюнян И. Н. Физический Вавилон в центре Европы // Природа. 1992. № 6. С. 48—62; Арутюнян И. Н. «Дэзи» на Эльбе // Природа. 1993. № 4. С. 48—61.

коллайдер на энергию 500 ГэВ, даже увеличив его средний радиус по сравнению с LEP в 10 раз (потери энергии обратно пропорциональны радиусу), частица будет терять на каждом обороте треть своей энергии на излучение.

Дальнейшие перспективы в этом направлении связываются с созданием линейных коллайдеров. Их существенный недостаток в том, что после прохождения области взаимодействия частицы уже нельзя многократно использовать. Первый линейный электрон-позитронный коллайдер SLC в Стэнфордском центре линейных ускорителей (SLAC, США) построен на основе одного, до сих пор остающегося уникальным, двухмильного линейного резонансного ускорителя, поскольку при максимальной энергии частиц 50 ГэВ дешевле было применить поворотные дуги для сведения встречных электронных и позитронных сгустков, ускоряемых в одном ускорителе, чем строить второй такой же. В проектах линейных коллайдеров на энергию 1 ТэВ всегда фигурирует ускоритель-близнец. Несколько обнадеживает возможность миниатюризации ускоряющих структур и реализации высокого темпа набора энергии (до 1 ГэВ/м) при переходе на более высокие частоты ускоряющего поля. Очевидна и расплата за это: на расстояниях в километры необходимо обеспечить беспрецедентную точность изготовления и юстировки элементов для сведения плотных встречных пучков. Для достижения высокой светимости средний радиус сгустков в точке взаимодействия должен составлять, например, в коллайдере CLIC, проектируемом в ЦЕРНе, всего 65×10^{-9} м при длине сгустков 5×10^{-4} м.

Пока такие линейные коллайдеры еще разрабатываются и моделируются, а проектная энергия частиц в них неуклонно ползет вниз. Не исключено, что лептонные линейные коллайдеры могут стать лишь промежуточным этапом на пути реализации новой идеи — фотонных коллайдеров. Электронные и позитронные сгустки в них

представляют лишь рабочее тело для преобразования излучения мощных лазеров в γ -излучение, с которым можно манипулировать при помощи «оптических» элементов.

Не только высокие энергии. Следует подчеркнуть, что приведенная выше картина весьма однопланова и отражает лишь одну тенденцию развития ускорителей, связанную с изучением структуры материи. За рамками оказались все остальные применения ускорителей, область которых непрерывно расширяется. Это — фабрики синхротронного излучения, которое применяется в биологических, химических, материаловедческих исследованиях и для промышленного производства интегральных схем; небольшие ускорители (имплантаторы) для модификации поверхностных слоев материалов и создания полупроводниковых материалов с различными свойствами; ускорители для радиационной стерилизации продуктов, отходов, медицинского инструментария; ускорители для радиационной обработки пластиков, древесины и многое другое. Это далеко не полное перечисление приведено не в оправдание тех затрат, которые понесло и, надеюсь, еще понесет человечество на развитие ускорительной техники, а как показатель естественного процесса передачи высоких технологий.

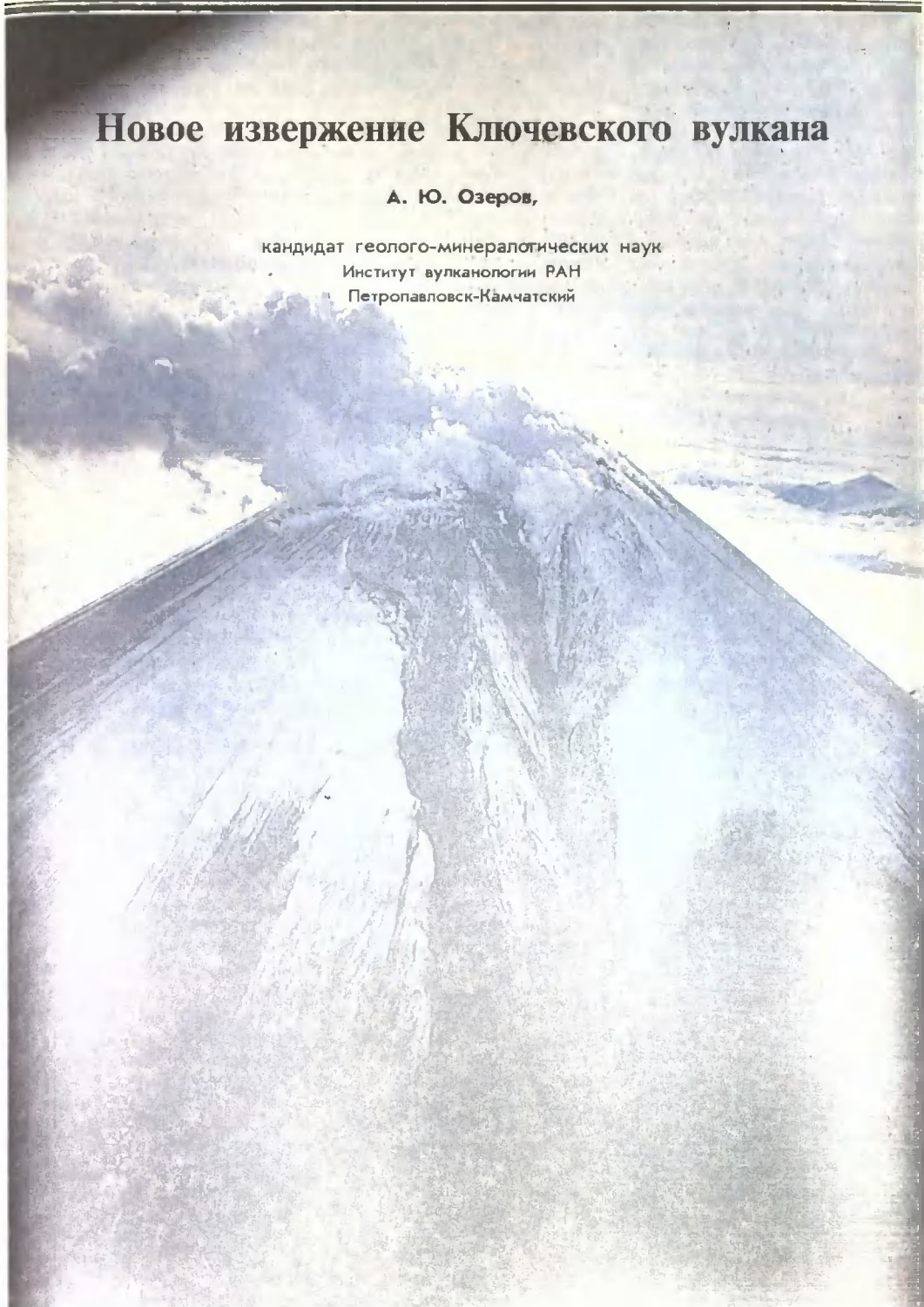
→

*Крестовский желоб, по которому двигались мощные лавовые потоки 6 октября 1994 г.
Здесь и далее фото А. Ю. Озерова.*

Новое извержение Ключевского вулкана

А. Ю. Озеров,

кандидат геолого-минералогических наук
Институт вулканологии РАН
Петропавловск-Камчатский



ПОСЛЕ почти годового перерыва 7 сентября 1994 г. началось извержение Ключевского вулкана. За его деятельностью постоянно наблюдали сотрудники Ключевской вулканогической станции, а 28 сентября наш отряд, в состав которого входили вулканологи, сейсмологи, специалисты по аэрофото-съемке и тепловой съемке, петрологи, журналисты, на вертолете МИ-8 вылетел в г. Ключи для изучения извержения.

Вулкан Ключевской — один из самых активных вулканов мира. На его долю приходится почти половина ювенильного материала, поступающего на поверхность в пределах Курило-Камчатской вулканической области; расход магмы составляет около $6 \cdot 10^7$ т в год.

Вулкан Ключевской входит в одноименную группу, состоящую из 12 вулканов, среди которых — такие известные своей активностью, как Безымянный и Толбачик. Ключевская группа вулканов расположена в пределах Центрально-Камчатской депрессии, на сочленении Курило-Камчатской и Алеутской островных дуг.

Ключевской вулкан образовался в голоценовое время, его возраст — примерно 7 тыс. лет. Он представляет собой стратовулкан центрального типа¹, осложненный многочисленными шлаковыми конусами. Постройка вулкана состоит из лавовых потоков, просло-

ев пирокластического материала и льда.

Его абсолютная высота по состоянию на 3 августа 1993 г. — 4822 м, относительная — 2900 м. Диаметр вершинного кратера, венчающего конус, — около 750 м. С северо-западной кромки кратера берет начало Крестовский желоб, прорезающий склон вулкана в северо-северо-западном направлении до абсолютной высоты 3200 м.

Характерной чертой деятельности Ключевского вулкана являются вершинные и побочные извержения. Предыдущее извержение в марте — сентябре 1993 г. происходило из вершинного кратера и имело эффузивно-эксплозивный характер, т. е. сопровождалось излияниями лавы (эффузивная деятельность) и вулканическими взрывами с выбросами пирокластического материала и газов (эксплозивная деятельность).

Извержения Ключевского вулкана, как правило, предваряются сейсмической подготовкой, которая проявляется в виде слабых вулканических землетрясений. Для слежения за сейсмичностью в районе Ключевской группы вулканов организована сеть из шести сейсмических станций. В исследовании извержения 1994 г. в основном были использованы данные сейсмических станций «Зеленая» и «Подкова», расположенных соответственно в 13 и 12 км от вершинного кратера.

В январе и феврале 1994 г. в районе Ключевского вулкана на этих сейсмостанциях фиксировали только фоновые значения сейсмичности — ежемесячно не более 50 вулканических землетрясений. С марта их число стало постепенно возрастать и составило в июле — августе около 500

в месяц. Эпицентры землетрясений в основном группировались в радиусе до 10 км вокруг подводящего канала вулкана, максимальное их число зафиксировано на глубинах 20—25 км.

По визуальным данным каких-либо событий, предвещающих извержение, отмечено не было. Как и в предшествующие месяцы, здесь были заметны небольшие выделения паров и газов, т. е. вулкан находился в состоянии слабой фумарольной деятельности.

Первые признаки начинающегося извержения были отмечены 7 сентября в 17 час. (здесь и далее время местное), когда над кратером вулкана стали появляться слабые паргазовые выбросы. Начался первый этап активизации вулкана — эксплозивный. С утра 8 сентября был туман, но со стороны вулкана Ключевского на сейсмостанции «Зеленая» уже были слышны звуки взрывов. Позднее над кратером стали видны выбросы раскаленных бомб, поднимающиеся на высоту до 50 м, иногда до 100—200 м. Парогазовая (эруптивная) колонна, в которой крайне редко и в незначительном количестве отмечался пепел, поднималась на километр над кратером вулкана. Наблюдалась как отдельные выбросы газа и пепла, так и продолжительные (до нескольких часов) газопепловые продувки.

12 сентября началось излияние лавы, т. е. эффузивно-эксплозивный этап активизации вулкана. Первый лавовый поток длиной 1,5 км прошел по юго-западному склону вулканической постройки. Он двигался, по видимому, в течение двух-трех дней. 13 сентября у подножья внутрикратерного шлакового конуса образовались две лавовые бокки, из

© Озеров А. Ю. Новое извержение Ключевского вулкана.

¹ Стратовулкан — конусовидная вулканическая постройка, в разрезе которой чередуются слои рыхлого вулканического материала с потоками лавы.

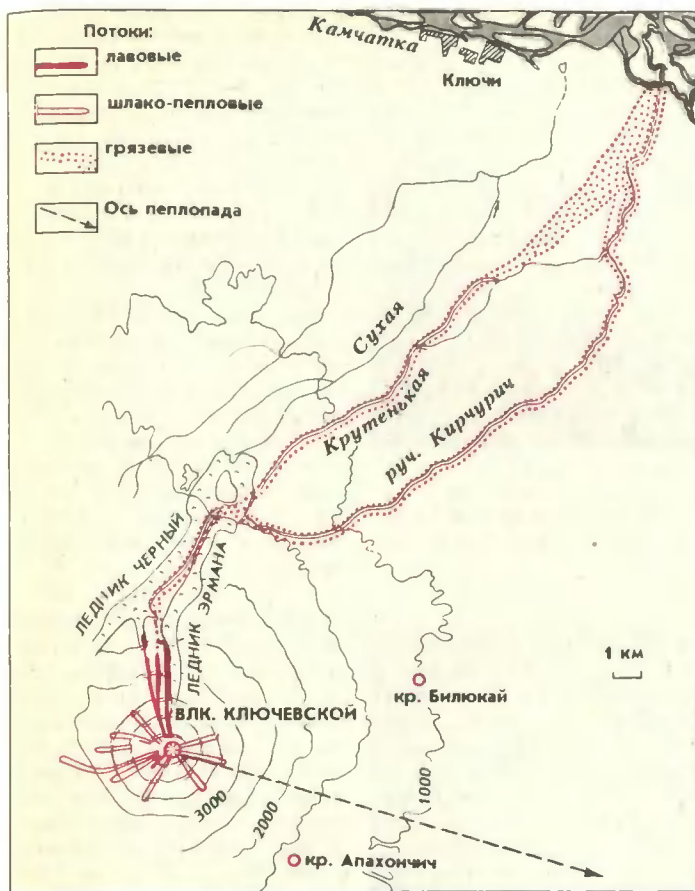


Схема отложений продуктов извержения Ключевского вулкана во время пароксизмального этапа 1 октября 1994 г.

которых потоки изливались в Крестовский желоб. Менее чем за сутки они прошли расстояние в 4 км и спустились до абсолютной отметки 3100 м. Ширина движущейся русловой части лавовых потоков, заключенной между бортовыми валами, составляла 10—30 м. Временами лавовые потоки незначительно меняли русло, формируя лавовое поле, ширина которого на некоторых участках достигла 200 м.

Вдоль лавовых потоков, в основном в их фронтальных частях, происходило взаимодействие лавы со льдом, что приводило к мощным фреатическим взрывам. Образующиеся при этом облака пара, часто нагруженные пеплом, поднимались на высоту 3—4 км. В результате фреатических взрывов формировались грязевые потоки (лахары). Они прошли 20—25 км от места зарождения по руслам рек Крутенькая и Курчурч.

В это время выбросы раскаленных бомб происходили на высоту 300—350, реже 700 м. Звуки сильных взрывов часто были слышны в г. Ключи — на расстоянии

32 км от вулкана. В эруптивной колонне, поднимавшейся на высоту 1 км над кромкой кратера, постоянно отмечалась примесь пепла. Снежные склоны вулкана потемнели от выпавшего пепла — от вершины до абсолютных отметок 2500—3000 м. Иногда пепел выпадал и в г. Ключи.

29—30 сентября в деятельности вулкана отмечены кратковременные — до нескольких часов — периоды ослабления и усиления активности. Во время усиления высота эруптивной колонны достигала 3 км.

1 октября в 5 час утра резко усилилась активность извержения: начался кульминационный — пароксизмальный этап в деятельности Ключевского вулкана, длившийся 9—10 ч. Из вершинного кратера на высоту 7—8 км поднималась мощная, нагруженная пеплом эруптивная колонна. Фонтаны раскаленных бомб взлетали на 2—2.5 км над кратером. Шлейф пепла сначала имел ширину 3—5 км, а затем, постепенно расширяясь, протянулся в восточном направлении в сторону океана на расстояние более 2 тыс. км. Слой выпавшего пепла был незначительным. По оси пеплопада в 12 км от кратера он имел толщину всего лишь 2.5—3 мм при размере частиц не более 1.5 мм; вес пепла с 1 м² составил 3.333 кг.

По Крестовскому желобу продолжали изливаться лавовые потоки, их длина достигла 5 км. По северо-западным, западным, южным и восточным склонам спускались многочисленные шлаково-пепловые потоки длиной 2—6 км, шириной 50—80 м.

Лава интенсивно взаимодействовала со льдом; происходили фреатические



Активность Ключевского вулкана 1 октября 1994 г., 9 час. 30 мин. К этому времени высота эруптивной колонны достигла 12.5 км над ур. м. В нижней правой части фотографии видны фреатические взрывы в Крестовском желобе. Вид со стороны г. Ключи.



1 октября, 20 час. 15 мин.; шлейф от извержения Ключевского вулкана.

взрывы. В свою очередь они приводили к образованию огромных черных густых облаков типа цветной капусты, поднимавшихся на высоту до 7 км, а также формировали мощные грязевые потоки.

Грязевые потоки прошли по уже проработанным руслам путь 25—30 км и

достигли р. Камчатки. Размер обломков пород, переносимых основным руслом лахара, достигал 1.5 м.

Во время этого этапа активности вулкана произошло резкое увеличение мощности извержения — на два-три порядка по сравнению с предыдущим.

Около 14—15 час.

1 октября сила извержения стала заметно ослабевать.

2 октября в вершинном кратере продолжались пепловые выбросы, но уже на меньшую высоту — до 300 м. Пошла на убыль и эффузивная деятельность: длина движущегося потока не превышала 1 км. 3 октября вулкан был закрыт облаками. Этот день можно считать временем окончания извержения, поскольку 4 октября и в последующие дни над кратером отмечалась только умеренная фумарольная деятельность. Высота подъема фумарольных струй не превышала 50 м. Число вулканических землетрясений снизилось до фонового.

При обсуждении материалов исследования извержения 1994 г. необходимо отметить следующее. За 5—6 месяцев до начала извержения на глубинах 20—25 км активизировалась сейсмичность, что, по-видимому, было обусловлено ростом поля напряжений вокруг магматического канала. Такого рода события могут рассматриваться как среднесрочный предвестник готовящегося извержения этого вулкана.

Извержение было кратковременным — длилось менее месяца. Оно началось как эксплозивное, затем стало эксплозивно-эффузивным и закончилось мощным пароксизмальным проявлением вулканической активности 1 октября.

Подъем эруптивной колонны на высоту не выше 12—13 км и распространение шлейфа в восточном направлении в значительной мере зависели от состояния атмосферы. По данным высотного зондирования атмосферы в г. Ключи скорость ветра 1 октября на высотах 12—13 км над уровнем моря составляла



Ключевской вулкан после окончания извержения. На переднем плане вулкан Камень.

38—40 м/с, направление ветра было восточным. Нижняя граница тропопавзы находилась на высоте 10 км, инверсия температуры в атмосфере начиналась на высоте 10.5 км.

Объем пепла, выброшенного во время пароксизмального этапа, оценивается в 0.05 км^3 , объем лавы, излившейся за период с 11 сентября по 2 октября, составляет 0.25 км^3 .

Продукты извержения, поступавшие на поверхность в 1994 г., по составу соответствуют типичным для

Ключевского вулкана известково-щелочным высокоглиноземистым базальтам.

Проявление пароксизма на фоне активного процесса извержения Ключевского вулкана при постоянно действующем магматическом канале свидетельствует о существенных изменениях условий поступления магмы на поверхность. Это может быть обусловлено изменением вещественного состава расплава или его газовой составляющей, увеличением диаметра выводного канала, повышением давления в питающей маг-

матической системе и рядом других причин.

Извержение 1994 г. относится к числу наиболее мощных исторических извержений Ключевского вулкана. Его можно сравнить с извержением 1944—1945 гг., описанным известным вулканологом Б. И. Пийпом (продолжительность пароксизмальной стадии — 15 ч, высота эруптивной колонны — 15 км). Однако в результате извержения 1994 г. каких-либо существенных изменений в морфологии вулканической постройки не произошло, а после извержения 1944—1945 гг. на склоне вулкана образовался глубокий Крестовский желоб, существующий по настоящее время. Извержение 1994 г. не причинило серьезного ущерба населению г. Ключи. Лишь автомобильная дорога восточнее города была размыта грязевыми потоками на протяжении 6 км. Основная часть пепла была унесена в Тихий океан сильным западным ветром.

В заключение следует подчеркнуть, что пароксизмальное извержение 1994 г. — одно из наиболее ярких и мощных проявлений эруптивной активности Ключевского вулкана в историческое время.

ХРОНИЧЕСКИЙ ГАСТРИТ И ЯЗВЕННАЯ БОЛЕЗНЬ — ИНФЕКЦИОННЫЕ ЗАБОЛЕВАНИЯ?

Хотя «эпоха великих микробиологических открытий», начатая Кохом и Пастером и продолженная их учениками и последователями, завершилась в предшествовавший второй мировой войне период, микробиология не перестает время от времени преподносить ошеломляющие сюрпризы. К числу таковых, вне всякого сомнения, может быть отнесено открытие изогнутой палочки — *Helicobacter pylori*. В 1983—1984 гг. два молодых, не отягощенных титулами и учеными званиями австралийца — патоморфолог Дж. Р. Уоррен и гастроэнтеролог Б. Дж. Маршалл — сообщили в «Lancet» о наличии достоверной связи между открытым ими микроорганизмом и хроническим гастритом и язвенной болезнью. С позиций традиционного врачебного опыта и хронический гастрит, и, тем более, язвенная болезнь рассматриваются как заболевания безусловно неинфекционные. Клиническое мышление весьма консервативно: беспрепятственно в его структуру интегрируются лишь не противоречащие той или иной существующей парадигме представления. Большого же противоречия между идеей участия микроорганизмов в возникновении и развитии хронического гастрита и язвенной болезни и идеей возникновения этих заболеваний вследствие «морфо-функциональных нарушений» трудно себе представить. Ничуть не удивителен потому тот скепсис, каким встретила старушка-Европа молодого провинциала, прибывшего учить ее «новой гастроэнтерологии». Взгляды Маршалла показались большинству европейских авторитетов чересчур смелыми. Оскорбленный в лучших чувствах новатор перебрался за океан (в штат Вирджиния), чтобы отсюда наблюдать развитие гастроэнтерологии и здесь же в 1992 г. стать нобелевским — пусть не лауреатом, но — номинантом. Хотя Маршалл и не приобрел поначалу сколько-нибудь значительного числа сторонников, его усилия не пропали даром. Во-первых, среди гастроэнтерологов наметилась такая поляризация мнений *pro et contra* причастности микроорганизмов к хроническому гастриту и язвенной болезни. Во-вторых, хронический гастрит и язвенная болезнь привлекли внимание прежде не интересовавшихся ими всерьез микробиологов, иммунологов, молекулярных биологов, эпидемиологов и, отчасти, инфекционистов и санитарных врачей.

Авторы предлагаемой подборки занимаются изучением этой проблемы с 1985 г., а в прошлом году им была присуждена премия им. С. П. Боткина за цикл работ «новые подходы к лечению язвенной болезни». Не в традициях нашего журнала обсуждать клинику, диагностику и тем более лечение заболеваний, т. е. чисто медицинские вопросы. Однако тут случай особый: выяснилось, что давно докучавшие многим болезням теперь, после обнаружения провоцирующего их микроорганизма, можно вылечить. И нам бы хотелось, чтобы об этом узнали все — и те, кто страдает от гастрита и язвенной болезни, и те, кто их лечит.

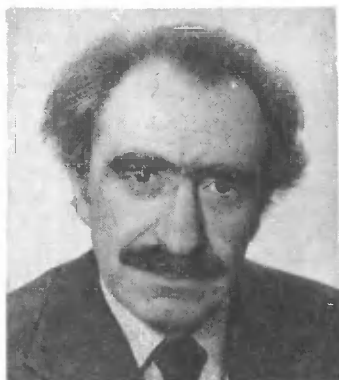
Немного истории и некоторые механизмы

Л. И. Аруин

САМЫЕ распространенные заболевания органов пищеварения, как известно, — хронический гастрит и язвенная болезнь. Изучаются они уже многие десятилетия, но лишь сравнительно недавно появились факты, позволяющие по-новому оценить причину

их возникновения (этиологию) и механизмы становления (патогенез). Речь идет о *Helicobacter pylori* — микроорганизме, участие которого в этиологии и патогенезе уже не вызывает сомнений, и, более того, этот микроорганизм признают сейчас главным фактором риска в развитии этих болезней.

Открытие роли *H. pylori* в патогенезе желудочно-кишечных забо-



Леонид Иосифович Арутин, доктор медицинских наук, профессор, руководитель лаборатории патоморфологии Центрального научно-исследовательского института гастроэнтерологии. Автор шести монографий, за две из них удостоен премии АМН СССР: им. И. В. Давыдовского (1986) и им. С. П. Боткина (1990); за третью — премии мэрии г. Москвы (1994). Лауреат премии им. С. П. Боткина (1994) за цикл работ «новые подходы к лечению язвенной болезни» (в соавторстве с другими исследователями).

леваний связано с именами дотоле никому не известных врачей больницы в г. Перт (западная Австралия) — патологоанатома Дж. Р. Уоррена и гастроэнтеролога Б. Дж. Маршалла.

Еще в 1979 г. Уоррен обнаружил в слизистой оболочке желудка больного с признаками хронического гастрита своеобразные спиралевидные бактерии, но тщетно пытался заинтересовать ими коллег, поэтому даже не опубликовал свои наблюдения. И лишь с 1981 г., после прихода в больницу совсем в ту пору молодого врача Маршалла, началось активное изучение этих бактерий.

Спиралевидные бактерии в желудке находили и неоднократно описывали еще в прошлом веке, так что говорить об Уоррене и Маршалле как об открывателях *H. pylori* нельзя. Их заслуга в том, что они первыми идентифицировали эти микроорганизмы

и первыми же заявили о роли *H. pylori* в этиологии и патогенезе хронического гастрита и язвенной болезни.

Попытки изолировать и получить чистую культуру бактерий, найденных при гистологическом исследовании желудка, делались неоднократно, но вырастала при этом только контаминантная (сопутствующая) флора. И лишь Маршалл обратил внимание на сходство этих бактерий с кампилобактерией (*Campylobacter jejuni*) — возбудителем острой кишечной инфекции — и для получения чистой культуры *H. pylori* применил методику культивирования кампилобактерий. Но удача не сопутствовала эксперименту: за предусмотренную методикой 48-часовую инкубацию ни в одном из 34 биоптатов *H. pylori* не рос. Помог, как это нередко бывает, случай. Один биоптат был помещен в инкубационную среду накануне пасхальных праздников, и, когда через пять дней сотрудники вернулись в лабораторию, они обнаружили рост бактерий.

Первые результаты исследования были опубликованы в старейшем медицинском журнале «Lancet» в виде двух писем редактору¹. Авторы не ограничились описанием полученных результатов, они предположили, что *H. pylori* участвует в развитии хронического гастрита и язвенной болезни. Так, с 1983 г. — года этой публикации — начался отсчет «новой эры» в гастроэнтерологии.

Как и следовало ожидать, поначалу новая концепция была встречена весьма скептически: оппоненты склонялись к тому, что найденный микроорганизм не патоген, а комменсал («сотрапезник») или оппортунист, поселившийся на уже пораженной слизистой оболочке.

Чтобы доказать свою концепцию, Маршалл применил классические посту-

¹ Warren J. R. Autodifferentifical corved bacilli on gastric epithelium in active chronic gastritis [Letter] // Lancet. 1993. P. 1273; Marshall B. J. Autodifferentifical corved bacilli on gastric epithelium in active chronic gastritis [Letter] // Lancet. 1993. P. 1273—1275.



Участники VII сессии (1994 г., Хьюстон, Техас) европейской группы по изучению *Helicobacter pylori* (слева направо): В. Г. Жуховицкий, Л. И. Аруин, Б. Дж. Маршалл, А. Б. Жебрун, П. Я. Григорьев.

латы Р. Коха, разработанные для выявления связи между микробом и болезнью еще в пору становления клинической бактериологии.

Первый постулат Коха гласит: микроорганизм — возбудитель болезни — всегда при ней обнаруживается, но не выделяется из организма здоровых людей (т. е. в норме) или страдающих другими недугами. При активном хроническом гастрите, особенно если он сочетается с дуоденальной язвой, частота выявления *H. pylori* приближается к 100 %, в норме же он встречается в 5—10 % («норма» допускает наличие небольшой воспалительной инфильтрации слизистой оболочки — основного признака гастрита). Если же за норму принимать только слизистую без инфильтрации, показатели обсемененности будут значительно ниже. Надо учитывать также и бактерионосительство — явление, почти обычное для инфекционных заболеваний. Что касается второй части постулата Коха (...не выделяется при других болезнях), то здесь представляются уникальные возможности для ее оценки. Дело в том, что хронический гастрит — не одна, а группа болезней, имеющих свою этиологию. Помимо бактериально обусловленного (ассоциированного с *H. pylori*) гастрита существуют еще и другие типы этой болезни (аутоиммунные, рефлюкс-гастриты и т. д.),

при которых хеликобактер или отсутствует, или встречается крайне редко.

Второй постулат Коха требует получения чистой культуры микроорганизма. Сейчас чистая культура хеликобактера уже выделена.

Наконец, третий постулат: чистая культура микроорганизма должна вызывать в эксперименте заболевание с характерной клинической и морфологической картиной, сходной с болезнью человека. Заметим, что требованиям этого постулата соответствуют далеко не все очевидные возбудители болезней; достаточно вспомнить бледную трепонему, введение которой животным сифилиса не вызывает. В отношении гастрита опубликовано уже много работ, где описано развитие болезни после введения хеликобактера свиньям, собакам, нечеловекообразным обезьянам и грызунам. На VII сессии Европейской группы по изучению хеликобактера, проходившей в конце 1994 г. в Хьюстоне (штат Техас, США), был представлен доклад, в котором говорилось, что через 80 дней после введения поросётам гастропириллы *H. pylori* у четырех из шести животных возникли типичные язвы.

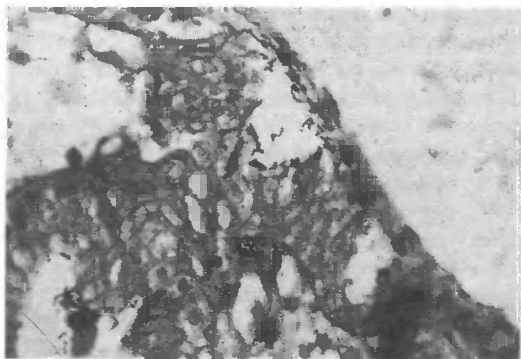
Особенно убедительными доказательствами патогенности хеликобактера служат эксперименты на добровольцах,

первым из которых стал, в лучших традициях XIX в., сам Маршалл. После предварительного тщательного обследования, включавшего гастроскопию и биопсию и показавшего отсутствие каких-либо заболеваний желудка, он выпил культуру, содержащую 10^9 колониеобразующих единиц *H. pylori*. Вскоре у него развилась тяжелая диспепсия (нарушение пищеварения), и в биоптате на десятые сутки был диагностирован активный, связанный с этой бактерией, гастрит. Повторные биопсии выявили значительное улучшение, а затем и полное исчезновение признаков гастрита, а также *H. pylori*.

Через два года эксперимент Маршалла повторил новозеландский гастроэнтеролог Х. Моррис. У него после приема $3 \cdot 10^5$ колониеобразующих единиц культуры хеликобактера развился хронический гастрит, длившийся больше трех лет.

К доказательствам третьего постулата Коха можно отнести и наблюдения так называемого эндемического гастрита с гипохлоргидрией, который впервые был описан в Техасе в 1979 г. Он возник у добровольцев, у которых изучали секрецию соляной кислоты методом pH-метрии и состояние слизистой оболочки желудка с помощью гастроскопии и биопсии. У половины обследуемых вскоре развилась диспепсия и гипохлоргидрия, а в повторных биоптатах выявилась картина тяжелого гастрита (исходно слизистая оболочка была в пределах нормы). У большинства больных клинично-морфологическая картина гастрита сохранялась в течение трех месяцев, а у части больных — больше года. После того, как появились сообщения о связи между *H. pylori* и хроническим гастритом, авторы пересмотрели свой материал, обнаружили в биоптатах хеликобактер и признали, что инфекция была занесена с pH-электродами. Поддерживает концепцию о патогенности хеликобактера и высокая эффективность лечения гастрита антибактериальными препаратами.

Итак, роль хеликобактера в этиологии хронического гастрита можно



*Хеликобактер на слизистой оболочке желудка.
Микрофотография Л. И. Аруина*

считать доказанной. Сложнее обстоит дело с язвенной болезнью. Почему?

Еще с середины прошлого века ведутся дискуссии о ее связи с гастритом. В 30—40-х годах нашего столетия Г. Конечный утверждал, что язвенная болезнь развивается только на почве воспаления слизистой оболочки (гастрита, дуоденита). Эту гипотезу выдающийся патологоанатом академик А. И. Абрикосов определил как «узколокалистическую и не выдерживающую критики»². Таким же было мнение большинства исследователей, и объяснялось оно главным образом тем, что Конечный считал воспаление слизистой оболочки единственным механизмом в патогенезе язвенной болезни, полностью отрицая очевидную роль кислотно-пептического фактора.

Исследования последних лет подтвердили тесную связь между гастритом и язвой. Появилось даже понятие «гастритассоциированная язвенная болезнь»³. И действительно, риск развития дуоденальной язвы при выраженном антральном гастрите, обусловленном *H. pylori*, превышает контрольные

² Абрикосов А. И. Этиология и патогенез болезни. Патологическая анатомия болезней органов пищеварения. Руководство по патологической анатомии. М., 1956. Т. 4. С. 459—464.

³ Borsch G. Campylobacter pylori: new and renewed insight into gastritis-associated ulcer disease // Hepato-Gastroenterol. 1987. V. 92. P. 191—194.

показатели почти в 50 раз. В то же время при нормальной слизистой оболочке он практически равен нулю⁴.

Считается, что воспалительные изменения слизистой оболочки снижают ее защитные свойства, предохраняющие от самопереваривания желудочным соком. Поскольку предшествующий язве гастрит вызывает *H. pylori*, можно говорить и об его участии в возникновении язвенной болезни. Эти микроорганизмы способны сами повреждать слизистую оболочку. Как известно, на ее поверхности расположен слой гидрофобной, содержащей фосфолипиды слизи, предохраняющий эпителий от непосредственного контакта с агрессивными веществами, в частности соляной кислотой и пепсином. Хеликобактер с помощью вырабатываемого им фермента — фосфолипазы — способен разрушать этот слой и открывать путь соляной кислоте и пепсину и, таким образом, участвовать в ульцерогенезе (возникновении язвы). В том же направлении действует другой синтезируемый *H. pylori* фермент — уреазы — и образующийся с ее помощью аммиак.

Кроме того, контакт хеликобактера с эпителием вызывает инфильтрацию в результате хемотаксиса — привлечения нейтрофилов. Они-то и повреждают эпителиальные клетки за счет выработки протеаз и свободных радикалов кислорода, которым сейчас придается важное значение в ульцерогенезе. Способность нейтрофилов активно повреждать эпителий желудка доказана экспериментально⁵.

Таким образом, в настоящее время есть все основания утверждать, что хеликобактер играет важную роль в этиологии и патогенезе язвы желудка. Однако в эту концепцию не вполне укладывается весьма существенное об-

стоятельство. Гастрит, как известно, — процесс диффузный, язва же образуется на сравнительно небольшом участке воспаленной стенки желудка. Впрочем, это несоответствие не объясняется ни одной гипотезой патогенеза язвенной болезни, включая широко распространенную кислотно-пептическую. Надо полагать, что любой общий механизм воздействия может реализоваться только при наличии каких-то местных факторов, действующих на ограниченных участках слизистой оболочки. Видимо, это — сосудистые факторы.

Вторая форма язвенной болезни — язва двенадцатиперстной кишки — почти у 100 % больных сочетается с инфицированием *H. pylori*. Уже одно это позволяет допустить существование причинно-следственных связей. Между дуоденальной язвой и высокой кислотностью желудочного сока такие связи установлены давно, возникла даже классическая формула, предложенная еще в начале столетия: «Нет кислоты — нет язвы». В 1989 г. Д. Грэхэм предложил ее изменить: «Нет хеликобактера — нет язвы»⁶.

Ответу на вопрос: «Если кислота, то почему язва?» — посвящены сотни исследований. В последние годы делаются успешные попытки раскрыть и сущность новой формулы патогенеза дуоденальной язвы: «Если *H. pylori*, то почему язва?»

Прежде всего надо объяснить, каким образом удастся хеликобактеру поселиться на дуоденальной слизистой оболочке, на которой ни в норме, ни при воспалении бактерии размножаться не могут. Этому способствует наличие почти у 70 % больных метаплазии — участков желудочного эпителия в двенадцатиперстной кишке. На таких участках и поселяются *H. pylori*, поступающие сюда со слизью с поверхности инфицированного антрального отдела. Именно этим, а не большей чувстви-

⁴ Sipponen P., Hyvarinen H. // Scand. J. Gastroent. 1993. V. 28. № 196. P. 3—6.

⁵ Kvietis P. R., Twohig B., Danzell J., Specian D. Ethanol-induced injury of the rat gastric mucosa. Role of neutrophils and xanthine oxidase-derived radicals // Gastroenterol. 1990. V. 98. P. 909—920.

⁶ Graham D. Y. Campylobacter pylori and peptic ulcer disease // Gastroenterol. 1989. V. 96. P. 615—625.

тельностью к протеолитическому действию желудочного сока, можно объяснить повреждение слизистой оболочки в зоне метаплазии. В последствии Грэхэм предположил, что дуоденальная язва — это язва желудка, но расположенная на территории двенадцатиперстной кишки.

В пользу патогенетической роли *H. pylori*, помимо чрезвычайно высокой частоты обсеменения, свидетельствует и ряд других фактов. Известно, что язвы заживают при лечении, направленном на уничтожение *H. pylori*, а рецидив всегда сочетается с повторным заражением. К этому можно добавить и наблюдения за изолированной группой австралийских аборигенов, у которых *H. pylori* не обнаруживается, не бывает у них и язвенной болезни. И, наконец, последнее — ее воспроизведение в эксперименте.

Из всего сказанного не следует, что язвенная болезнь — чисто инфекционное заболевание. Одной инфекции для ее развития недостаточно. Известно, что это заболевание возникает лишь у одного из восьми инфицированных, причем заражены чаще пожилые люди, в то время как дуоденальные язвы в основном — удел молодых. Язвенной болезнью страдают преимущественно мужчины, а обсеменение *H. pylori* с полом не связано. Кроме того, язвы заживают, несмотря на персистенцию *H. pylori*, под влиянием антисекреторных препаратов.

Впрочем, также нельзя объяснить и патогенез язвенной болезни, основываясь на кислотно-пептической теории. Действительно, «без кислоты нет язвы», но даже повышенная секреция соляной кислоты почти у половины больных не вызывает ее.

Из всего этого следует, что для развития язвенной болезни необходимо сочетание нескольких факторов, важнейшие из которых — *H. pylori* и соляная кислота.

Для того, чтобы хеликобактерии могли поселиться в двенадцатиперстной кишке и в дальнейшем повредить ее, она предварительно должна подвергнуться желудочной метаплазии, которая

в свою очередь обусловлена действием соляной кислоты. Морфологический субстрат гиперсекреции — гиперплазия (увеличение количества) париетальных клеток, которая считается генетически обусловленной. В последние годы установлено, что хеликобактер имеет непосредственное отношение к гиперсекреции, не исключено также, что и к гиперплазии париетальных клеток.

Вспомним, как регулируется секреция соляной кислоты и какая роль в этом процессе отводится эндокринным клеткам желудка и двенадцатиперстной кишки. Регуляция осуществляется по принципу отрицательной обратной связи. При низкой кислотности желудочного сока, омывающего антральный отдел желудка, стимулируются клетки, синтезирующие гастрин, и тормозится функция клеток, в которых идет синтез соматостатина — ингибитора секреции соляной кислоты. В результате активизируются париетальные клетки, вырабатывающие HCl. При закислении антрального отдела все происходит наоборот.

Хеликобактер, обитающий на поверхности эпителия, с помощью уреазы расщепляет мочевины, что ведет к накоплению аммиака, который стимулирует ответственные за выработку гастрина клетки. В результате этого нарушается механизм отрицательной обратной связи и секретруется гастрин, что, в свою очередь, ведет к постоянному выделению соляной кислоты — неперемennomu условию образования дуоденальных язв. И действительно, у больных хеликобактерным антральным гастритом содержание гастрина в крови выше, чем в контроле, и после устранения *H. pylori* снижается⁷.

Давно известно, что гастрин не только влияет на секрецию соляной кислоты, он также способен стимулировать пролиферацию париетальных клеток, ведущих к их гиперплазии. Можно, правда, с большой осторож-

⁷ Smith J. T., Pounder R. E., Nwokolo C. U. et al. Snappropt hypergastrinemia in asymptomatic healthy subjects infected with *Helicobacter pylori* // Gut. 1990. V. 31. P. 522—525.

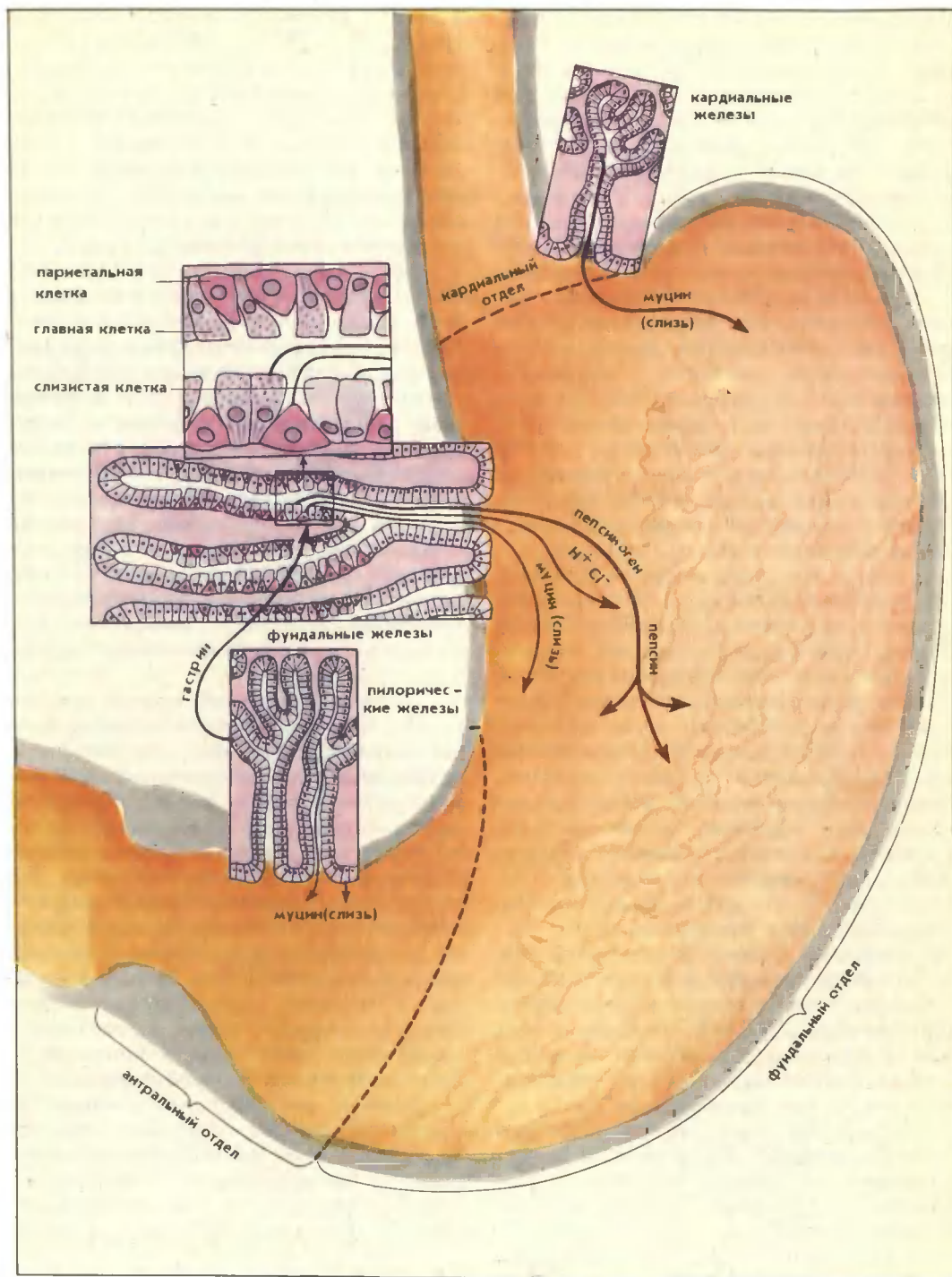
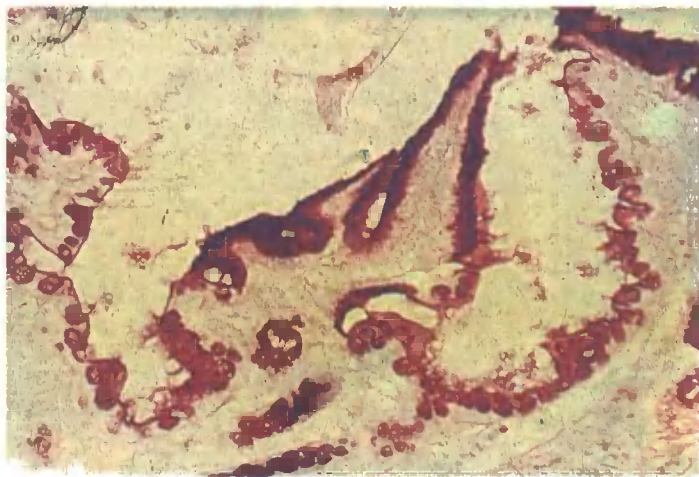


Схема строения желудка.

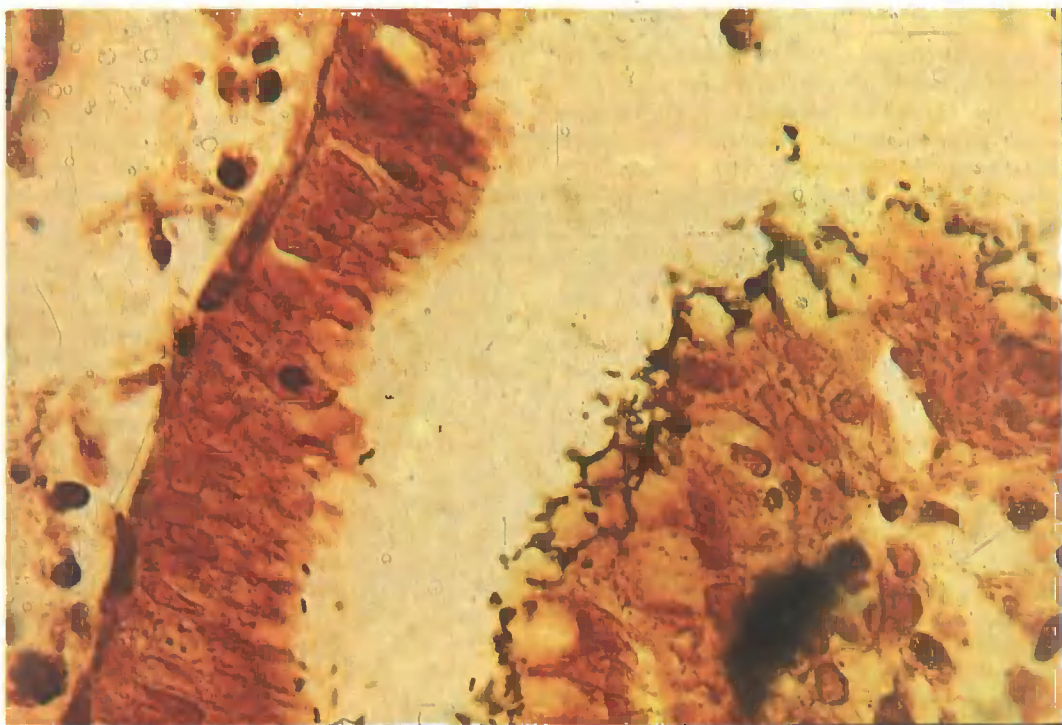


Желудочный эпителий на ворсинках двенадцатиперстной кишки.

*Микрофотография
Л. И. Аруина*

Массовые скопления хеликобактера на метаплазированном эпителии двенадцатиперстной кишки и единичные — на поверхности ворсинок.

*Микрофотография
Л. И. Аруина*



ностью, предположить, что длительное действие гастрина, обусловленное *H. pylori*, может стать причиной увеличения количества таких клеток, которые постоянно обнаруживаются у больных дуоденальной язвой. Правда, это традиционно объясняют генетическими особенностями больного.

Все перечисленные положения достаточно надежно обоснованы, но

остается неясным, почему же у большинства инфицированных язва не образуется. Очевидно, что для ее возникновения необходима генетически обусловленная предрасположенность. Один из наиболее известных маркеров такой предрасположенности — группа крови 0. Антигены этой группы крови (Lewis b) найдены и в эпителии желудка. Оказалось, что прилипание

(адгезия) *H. pylori* к поверхности слизистой оболочки опосредованно связано с генами Lewis^b. Если их нет, адгезии и повреждения эпителия не происходит^b. Теперь становится понятно, как реализуется генетическая предрасположенность и какую роль в язвенном процессе играет хеликобактер.

При обсуждении патогенеза язвенной болезни принято изображать весы, на одной чаше которых — агрессивные

факторы, на другой — защитные. Если равновесие нарушается за счет увеличения агрессии или ослабления защиты слизистой оболочки, возникает язва. Очевидно, что *H. pylori* ослабляет защиту желудка (и двенадцатиперстной кишки), повреждая слизистый барьер и сам эпителиальный покров. Хеликобактер также усиливает агрессивные свойства желудочного сока, стимулируя через гастриновый механизм секрецию соляной кислоты. В этом их ведущая роль в патогенезе язвенной болезни, и потому без воздействия на *H. pylori* уже немыслима современная противоязвенная терапия.

^b Boren T. et al. Attachment of *Helicobacter pylori* to human gastric epithelium mediated by blood group antigens // Science. 1993. V. 262. P. 1892—1895.

«Злокозненный бацилл»

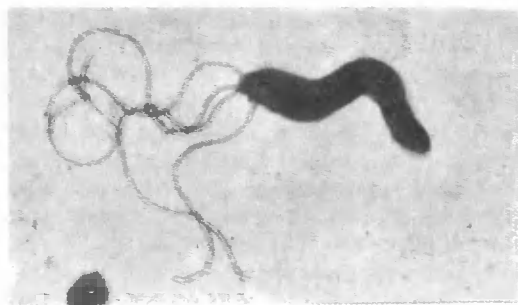
В. Г. Жуховицкий



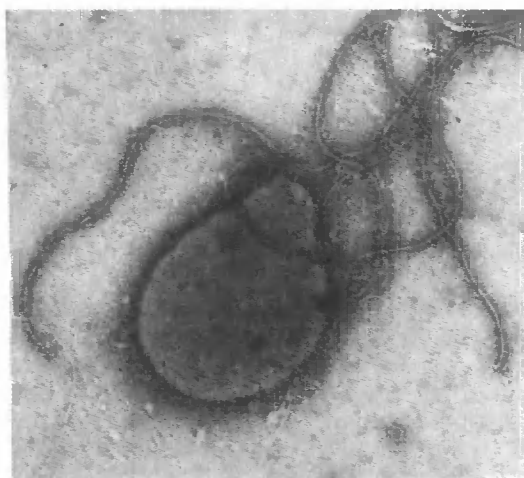
Владимир Григорьевич Жуховицкий, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры микробиологии, иммунологии, вирусологии Московского медицинского стоматологического института им. А. А. Семашко. Основное направление исследований — биология микроаэрофильных бактерий и их место в патологии животных и человека. Лауреат премии им. С. П. Боткина (1994) за цикл работ «новые подходы к лечению язвенной болезни» (в соавторстве с другими исследователями).

ОПИСАННЫЙ Уорреном и Маршаллом микроорганизм, именующийся сегодня хеликобактером (*Helicobacter pylori*), оказался поистине уникальным биологическим объектом, вызывающим удивление всякого истинного бактериолога, — могут же физики любить свои элементарные частицы и вслед за Ферми вслух признаваться в этом! В благоприятных для себя условиях — в

желудке ли при нелеченном гастрите, в молодых ли культурах, культивируемых *in vitro* в комфортном режиме, — микроб существует в виде двух неразозшедшихся после деления и оставшихся соединенными своими полюсами палочковидных клеток, каждая из которых слегка изогнута S-образно. Вследствие этого вся биклеточная структура имеет приближающуюся к штопорообразной, оптимальную для передвижения в толще весьма вязкой



Разные формы хеликобактера: S-образная (слева; по: Rauws E. A. J. et al., *Campylobacter pyloridis-associated chronic active antral gastritis* // *Gastroenterol.* 1988. V. 94), коковая (по: Jones D. M., Currey A. *The ultrastructure of Campylobacter pylori* // *Campylobacter pylori and gastroduodenal disease.* 1989).



желудочной спизи, «гель-динамическую» форму.

На свободном полюсе одной из клеток пары располагается несколько структурно автономных жгутиков. Каждый из них значительно превосходит по длине несущую его бактериальную клетку, снабжен на всем своем протяжении защитным чехлом и увенчан на конце колбовидным утолщением.

Строение каждой клетки *H. pylori* вполне типично для бактерий, истинных представителей царства прокариот — «доядерных» организмов: они, в отличие от «истинноядерных» эукариот, не имеют выраженного ядра, ограниченно ядерной мембраной и содержащего хромосомы: лишены митохондрий, эндоплазматического ретикулума, пластинчатого комплекса, хлоропластов, вакуолей, т. е. всех обладающих мембраной внутриклеточных структур. Единственной мембраной бактерий остается наружная цитоплазматическая, ограничивающая цитоплазму и образующая многочисленные впячивания в нее — так называемые мезосомы, где располагаются цепи ферментов, требующих упорядоченного расположения, в первую очередь, дыхательных. Цитоплазматическая мембрана имеет мозаичное строение: она богата вкрапленными в ее толщу по всей площади молекулами разнообразных белков, зачастую обладающих ферментативной

активностью (например, пермеазами — ферментами, обеспечивающими перенос более или менее крупных молекул внутрь бактериальной клетки в относительно гомогенный гелеобразный цитоплазматический матрикс). В центральной части цитоплазмы располагается нуклеоид: кольцевая молекула ДНК, объединяющая несколько тысяч линейно расположенных генов, кодирующих строение разнообразных структурных и функциональных белков бактериальной клетки. По всему пространству цитоплазмы, не упорядоченно, как у эукариот, а свободно, располагается несколько тысяч рибосом. Над цитоплазматической мембраной располагается клеточная стенка — свойственный лишь прокариотам компонент клеточной оболочки, который встречается в двух эволюционно сложившихся структурных вариантах, существенно различающихся между собой при окрашивании по методике, эмпирически найденной К. Грамом. Объект нашего внимания имеет клеточную стенку так называемого грамотрицательного типа, свойственного многим бактериям, способным к колонизации желудочно-кишечного тракта. Эта стенка трехслойна: внутренний слой состоит из исключительно прочного гетерополимера пептидогликана, за счет которого, в частности, клетка сохраняет S-образную форму; средний — относительно рыхлый липопротеин, обеспечивающий, главным об-

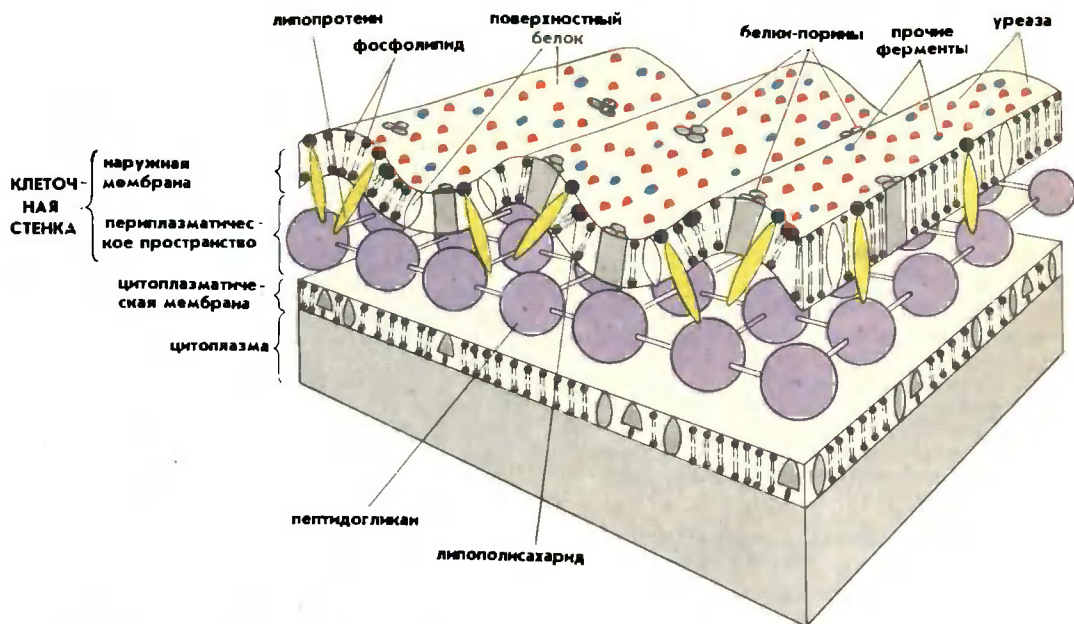


Схема строения клеточной стенки хеликобактера.

разом, связь пептидогликана с чрезвычайно важным в функциональном отношении внешним слоем — наружной мембраной, названной так в силу известного сходства с цитоплазматической (обе состоят из двух слоев фосфолипидов, содержат вкрапления разнообразных белков, полупроницаемы, но в поверхностном слое наружной мембраны часть фосфолипидов замещена липополисахаридом, свободные терминальные полисахаридные звенья которого образуют «молекулярный ворс» на поверхности клетки).

Клеточная стенка отделена от цитоплазматической мембраны периплазматическим пространством. Именно здесь осуществляются синтез и (или) сборка разнообразных белков и белковых комплексов, которые далее встраиваются как в матрикс, так и в не занятую липополисахаридом часть наружной мембраны и придают бактериальной клетке биологическую специфичность. Типичные представители такого рода комплексов — «пончики» (тороидальной формы образования) — прочно связаны с наружной мембраной, но не «утоплены» полностью в ее

матрикс, а несколько выступают за его пределы. «Пончики» обладают адгезивной активностью — способностью высокоспецифично и прочно связываться с клетками поверхностного эпителия желудка.

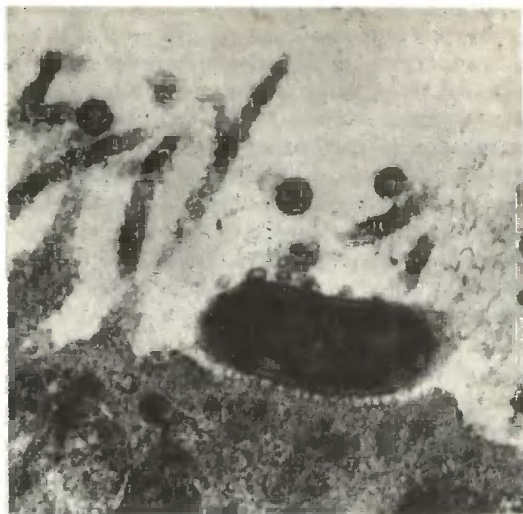
Адгезия — начальная фаза любого инфекционного процесса как бактериальной, так и вирусной, грибковой, паразитарной природы, обеспечивающая развитие всех последующих его стадий. Специфичность адгезии обусловлена взаимным соответствием форм поверхности бактериального (вирусного, грибкового, паразитарного) адгезина и молекулы рецептора клеточной поверхности той или иной ткани организма человека (так соответствуют друг другу форма внутренней поверхности перчатки, «адгезина», и форма поверхности руки, «рецептора»). Степень прочности такого взаимодействия в значительной мере определяется степенью соответствия форм поверхностей: варежка держится на руке, но легко сбрасывается при встряхивании, кожаная перчатка удерживается значительно прочнее, однако, и она не устоит перед энергичным встряхиванием, но попробуйте

стряхнуть с руки резиновую хирургическую перчатку, внутренняя поверхность которой идеально повторяет форму вашей руки! Именно в условиях тесного контакта с чувствительными клетками в полной мере реализуются возможности многочисленных факторов вирулентности бактерий — бактериальная клетка зачастую в ничтожных количествах продуцирует токсины, ферменты и т. п., которые нарушают равновесное состояние организма — его гомеостаз, то, что в обыденном сознании отождествляется с «нормой».

«Пончики» — не единственные адгезины хеликобактера: определенная адгезивная активность свойственна и «молекулярному ворсу», и, видимо, иным, неидентифицированным белкам наружной мембраны, а также белкам концевой колбовидного утолщения жгутика.

Помимо адгезинов различного типа наружная мембрана хеликобактера содержит богатый набор белковых молекул, обладающих агрессивной по отношению к тканям желудка ферментативной активностью: разнообразные протеиназы и фосфолипазы, муциназу, каталазу и, наконец, уреазу — важнейший из факторов вирулентности. Кроме того, некоторые штаммы хеликобактера способны вырабатывать токсины. Грамотрицательные бактерии (кроме холерного вибриона) эволюционно лишены способности к активному выделению из клетки токсинов, адгезинов или ферментов агрессии. Эти факторы вирулентности размещены у них в матриксе наружной мембраны таким образом, что их активные центры выступают наружу и способны к взаимодействию с соответствующими «мишенями». Однако после гибели бактериальной клетки наружная мембрана немедленно деградирует, и факторы вирулентности освобождаются, сохраняя при этом повреждающую ткань активность. Другими словами, погибшая грамотрицательная бактериальная клетка не менее опасна, нежели живая.

О питательных потребностях *H. pylori* в естественных условиях его



Адгезия хеликобактера к клеткам поверхностного эпителия желудка. (По: Jones D. M., Currey A., 1989.)

обитания говорить трудно, однако при культивировании на питательных средах его «рацион» составляют свободные аминокислоты и короткие полипептиды, но никак не углеводы — к их усвоению он не способен. Хотя *H. pylori* — безусловно дышащий кислородом организм (в его мезосомах сосредоточены цепи ферментов окислительного фосфорилирования), тем не менее, он не терпит высокого парциального давления кислорода, поэтому содержание последнего в атмосфере культивирования не должно превышать 7 %. Микроорганизмы такого типа называются микроаэрофилами («любителями малого воздуха» — если перевести буквально этот не слишком точный термин). Как и все способные к жизни в кислородсодержащей атмосфере организмы, они обладают особым ферментом супероксиддисмутазой, нейтрализующим высокоагрессивные радикалы атомарного кислорода, но продуцируют его в весьма малых количествах, способных защитить бактериальную клетку лишь при эквивалентно слабой кислородной нагрузке.

Механизм повреждающего действия хеликобактера, или, используя

медицинскую терминологию, патогенез индуцируемого им инфекционного процесса, весьма нетривиален. При попадании в просвет желудка в составе пищевого комка, со сглатываемой слюной или с поверхности недостаточно тщательно продезинфицированного гастроскопа, хеликобактер оказывается в чрезвычайно агрессивном по отношению к нему окружении — соляная кислота превращает желудочный сок в среду, практически непригодную для обитания банальных микроорганизмов. Нашего героя, однако, банальным микроорганизмом не назовешь: ни один из известных биологических объектов не способен образовывать такое количество уреазы, как хеликобактер — ни бобовые, ни моллюски, ни бактерии. Именно гигантский уровень продукции уреазы придает хеликобактеру биологическую уникальность и позволяет существовать в сильноокислой среде. Мочевину, проникающую в желудок из кровяного русла путем пропотевания через стенки капилляров, уреазы превращает в сильнощелочной аммиак, который нейтрализует соляную кислоту желудочного сока и создает локальное защелачивание вокруг каждой бактериальной клетки — вполне комфортные условия существования. Этот редкий эволюционно сложившийся и отличающийся изяществом приспособительный механизм вызывает восхищение!

Кроме того, хеликобактер, эта «капля уреазы в облаке аммиака», способен к активному передвижению: жгутики его, хотя и не образуют истинного пучка, функционируют как единое целое — спирально переплетаются друг с другом и вращаются вокруг длинной оси бактериальных клеток по часовой стрелке и против нее попеременно. Сами клетки при этом вращаются вокруг той же оси и так же попеременно, но в противоположном жгутиковому пучку направлении. В итоге би клеточная бактериальная система оказывается способной к весьма интенсивному передвижению безжгутиковым концом вперед. Полу жесткий спиральный ротор подобного

типа, очевидно, обладает достаточно сложным молекулярным механизмом и потребляет огромное количество клеточной энергии, но расходует ее чрезвычайно экономно: КПД такого «двигателя» приближается к 100 %. Помимо локального защелачивания, вокруг бактериальных клеток возникает и локальное снижение вязкости желудочной слизи. Муцин — белок, обуславливающий эту вязкость, — эффективно разрушается муциназой, молекулы которой, подобно молекулам уреазы, расположены (хотя и далеко не так густо) в наружной мембране бактерии.

Итак, *H. pylori* достигает стенки желудка, высланной эпителием, клетки которого различаются не только по функциям (клетки, продуцирующие соляную кислоту, желудочную слизь, пищеварительный фермент пепсин, а также эндокринные клетки двух типов: продуценты гормона гастрина, стимулирующего секрецию соляной кислоты, и продуценты гормон соматостатина, ту же секрецию тормозящего), но и по структуре. Лишь на поверхности клеток, продуцирующих слизь, есть молекулярные структуры, которые могут служить рецепторами адгезинам хеликобактера. Эти рецепторы тоже по структуре неоднородны: одни образуют молекулами силовых кислот, другие — липидов, третьи — углеводов. Именно к последней группе относится так называемый Lewis^b-антиген — структура, свойственная не только клеткам поверхностного эпителия желудка, но и эритроцитам группы крови 0(I). Это, хотя бы отчасти, объясняет давно известный из гастроэнтерологической практики факт: обладатели крови группы 0(I) в большой степени подвержены риску язвенной болезни, нежели люди с другой группой крови (возможно, клетки эпителия желудка у них также лишены Lewis^b-антигена).

В результате адгезии между клетками *H. pylori* и поверхностного эпителия формируется достаточно тесный, шириной не более нескольких нанометров, контакт, сам по себе достаточно травмирующий эпителиаль-

ные клетки. В них тотчас же возникают признаки дегенерации, неизбежно сопряженной со снижением функциональной активности клеток. Интенсивное размножение хеликобактера на поверхности эпителиального пласта приводит к практически сплошной колонизации его бактериальной популяцией. Это ведет к повреждению эпителия под действием фосфолипаз, которые обеспечивают образование из желчи токсичных лецитинов; протеиназ, разрушающих всевозможные, в том числе защитные, белковые комплексы; муциназы, разжижающей слизь, которая выполняет функции защитного барьера эпителия. Однако все меркнет перед повреждающим действием аммиака: резкое защелачивание мембран эпителиальных клеток приводит к необратимым изменениям мембранного потенциала, дегенерации, гибели и слущиванию клеток, что в итоге открывает хеликобактеру путь в глубь эпителиального пласта, в направлении подслизистого слоя. Кроме того, аммиак действует на эндокринные клетки обоих типов: с одной стороны, он усиливает секрецию гастрина, с другой — подавляет секрецию соматостатина, но, как уже отмечалось, в обоих случаях это приводит к усилению секреции соляной кислоты и формированию повышенной кислотности желудочного сока — важного и наиболее мучительного для больного симптома хронического гастрита.

Разумеется, защитные системы организма человека не могут остаться безучастными к такого рода воздействиям на желудок и всячески противостоят попыткам хеликобактера нарушить гомеостаз своего хозяина. Защитная реакция носит характер воспаления: в подслизистом слое формируется воспалительный инфильтрат — совокупность биологически активных, взаимодействующих друг с другом клеток, комплексные усилия которых направлены на уничтожение популяции хеликобактера. Клетки различного типа, составляющие воспалительный инфильтрат (лейкоциты, лимфоциты, плазматические и тучные клетки, макрофаги), формируют иммунный ответ организ-

ма — важнейшую, хотя и не всегда, к сожалению, эффективную защитную реакцию на инфекционное поражение, завершающуюся формированием антител. Легко заметить, что бактериальная клетка, по сути, является комплексом огромного количества разнообразных антигенов, каждый из которых потенциально способен индуцировать иммунный ответ на себя и быть нейтрализованным соответствующим антителом.

Клетки воспалительного инфильтрата привлекаются в подслизистый слой так называемыми медиаторами воспаления. Эти вещества продуцирует сам хеликобактер, либо они освобождаются из разрушенных клеток эпителия желудка. Первыми на призыв откликаются макрофаги — клетки, способные к активному поглощению и перевариванию бактерий (фагоцитозу). Они активно мигрируют в слизистую, поглощают клетки *H. pylori* — а тот пытается противостоять перевариванию своей каталазой, которой у него, по счастью, не слишком много, — и возвращаются обратно в подслизистый слой к уже скопившимся здесь остальным участникам воспалительного процесса. Поглощение хеликобактера — не самая важная функция макрофага: во-первых, это способны осуществить и обычные лейкоциты, а во-вторых, простым «пожиранием» с интенсивно растущей популяцией организм справиться не может. Гораздо важнее способность макрофага расчленив внутри своей цитоплазмы огромную бактериальную клетку на отдельные антигены и представить эти антигены В-лимфоцитам, которые готовы откликнуться превращением в плазматические клетки. В них затем интенсивно образуются антитела за счет стимуляции еще и Т-лимфоцитами — хелперами (от английского «help» — помогать). В процессе образования антител выделяется огромное количество цитокинов — группы биологически активных веществ, которые взаимно стимулируют участников воспалительной реакции. Тучные клетки, например, в ответ на стимуляцию их цитокинами выделяют гистамин, повышающий, в частности, проницае-

мость сосудов и облегчающий миграцию в очаг воспаления из кровяного русла все новых и новых составляющих инфильтрат клеток.

Синтезирующиеся в подслизистом слое антитела против хеликобактера поступают как в кровяное русло, так и, преодолев эпителиальный барьер, в слизистую желудка, где эффективно связываются с бактериальными клетками и не только нейтрализуют токсины *H. pylori*, но и способствуют его гибели.

Таким образом, в один прекрасный момент устанавливается динамическое равновесие между популяцией хеликобактера, с одной стороны, и факторами естественной резистентности (устойчивости) к инфекции, с другой. Хронический активный гастрит сформирован и будет протекать в форме сменяющих друг друга обострений — временных успехов хеликобактера, дополнительно стимулирующих систему резистентности, и ремиссий — временных успехов защитной системы, недостаточной сильной для того, чтобы уничтожить популяцию бактерий полностью. Разумеется, человек способен сдвинуть равновесие в благоприятную для себя сторону, принимая, к примеру, противобактериальные лекарственные препараты или стимулируя иммунную систему разнообразными способами. Во власти человека также и сдвиг равновесия в противоположную сторону. Курение, стрессы и т. п. приводят, в частности, к спазму мелких кровеносных сосудов и затрудняют тем самым выход за их пределы клеток, участвующих в формировании воспалительного инфильтрата. А это неизбежно выливается в снижение эффективности иммунного ответа. Хеликобактер отчаянно сопротивляется, используя наиболее эффективный механизм — переходит в атипичную кокковую форму: бактериальные клетки из палочковидных становятся сферическими, утрачивают многие поверхностные антигены, большую часть жгутикового аппарата, но только не уреазу. В такой форме, гораздо менее уязвимой как для антител, так и для лекарственных

средств, бактерии переживают неблагоприятный период, дабы снова «воскреснуть» в полноценной S-образной форме, когда губительное воздействие на популяцию исчезнет, либо существенно ослабнет.

В тех случаях, когда штамм хеликобактера способен образовывать токсин (а такой способностью обладает не менее половины его штаммов), слизистая выходного отдела желудка — привратника — может подвергаться еще более глубоким изменениям: токсин быстро разрушает клетки на относительно малом по площади, округлом (от нескольких миллиметров до нескольких сантиметров в диаметре) участке слизистой оболочки; эти клетки отторгаются, разрушается подслизистая основа и даже мышечный слой желудка. Слизистая оболочка изъязвляется, в ней формируется язва — ограниченный кратероподобный дефект глубиной иногда до двух десятков миллиметров, заполненный некротической массой (смесью распадающихся погибших клеток, фибрина — продукта свертывания крови — и выселяющихся сюда лейкоцитов). Нет в язве только одного из главных ее виновников — *H. pylori*, ведь в ней нет и полноценных клеток поверхностного эпителия, к которым он мог бы «приклеиться». Хотя со дня язвы ограничивает наружная и чрезвычайно прочная оболочка желудка (сероза), иногда, к счастью весьма редко, не выдерживает и она: язва перфорирует — разрывает стенку желудка, содержимое которого изливается в брюшную полость, и судьба больного оказывается в руках бригады скорой помощи и хирургического персонала, имеющих в своем распоряжении не более нескольких часов. Если же перфорации язвы не произошло, начинается процесс ее заживления: на дне язвы образуется плотный рубец из соединительной ткани, поверх которого в направлении просвета желудка разрастается молодая ткань, постепенно заполняя язвенный дефект и трансформируясь в новообразованную слизистую. Однако эта слизистая оболочка так и не приобретет полноценного

строения — составляют ее элементы рубцовой и псевдоэпителиальной, функционально ущербной, ткани.

Если же штамм хеликобактера не способен синтезировать токсин, маловероятно, что слизистая пилорического отдела желудка будет изъязвлена. В этом случае хронический гастрит сохраняет активную форму течения либо пожизненно, либо на протяжении значительного (до полутора десятков и более лет) промежутка времени. По истечении этого срока он преобразуется, как правило, в хронический атрофический гастрит, при котором желудочный эпителий трансформируется в кишечный, лишенный рецепторов к адгезинам хеликобактера и способности к какой-либо секреции, но обладающий выраженной всасывающей активностью, которой нет у эпителия желудка нормального типа.

Многие поверхностные антигены клеток *H. pylori* приобрели молекулярное сходство с поверхностными антигенами клеток желудочного эпителия. Эта маскировка под антигены хозяина (антигенная мимикрия) удалась хеликобактериям столь блестяще, что антитела к его антигенам начинают связываться с антигенами эпителиальных клеток желудка — прямой и весьма печальный путь для организма-хозяина к атрофии. По мере накопления в организме хозяина противохеликобактериальных антител интенсивность связывания их с антигенами эпителиальных клеток закономерно растет. Атрофированный эпителий обладает высокой всасывающей активностью, но не способен выводить эти вещества (в том числе и канцерогенные) за пределы желудка, как это осуществляет истинный кишечный эпителий. В результате они концентрируются здесь до пределов, весьма значительных, во всяком случае, достаточных для того, чтобы привести эпителий желудка к злокачественному перерождению.

Кроме того, патологический процесс описанного здесь типа не всегда ограничивается желудком: в ряде случаев он распространяется на следующий за желудком отдел желудоч-

но-кишечного тракта — двенадцатиперстную кишку, точнее, на начальную ее часть, так называемую луковицу. Ее эпителий построен по классическому кишечному типу, мало напоминающему желудочный, в том числе и тем, что лишен рецепторов к адгезинам хеликобактера. Избыток соляной кислоты, неизбежно возникающий в начальной стадии гастрита, поступает в луковицу и сильно закисляет ее содержимое — в «норме» нейтральной или слабощелочной реакции. Интересно, что поступление соляной кислоты в луковицу не только не носит пассивного характера, но регулируется... самой соляной кислотой: она воздействует на так называемые нейротрансмиттеры слизистой оболочки желудка (нервные окончания особого типа), и те, возбуждаясь, генерируют нервный импульс, благодаря которому мышечная система выходного отдела желудка осуществляет резкий выброс содержимого в нижележащий отдел. Следует учитывать, однако, что человеческая популяция неоднородна по многим независимым признакам, в том числе, по степени насыщенности слизистой оболочки желудка нейротрансмиттерами, а значит, по своей предрасположенности к такого рода выбросам. Другими словами, интенсивность поступления сильнокислого содержимого в двенадцатиперстную кишку определяется не только степенью пораженности слизистой хеликобактером, но и природными особенностями организма-хозяина.

Под действием соляной кислоты клетки эпителия луковицы двенадцатиперстной кишки претерпевают метapлазию — переход к структурному варианту, напоминающему поверхностный эпителий желудка. В результате метapлазии появляются рецепторы для адгезинов хеликобактера, он немедленно пользуется этим и колонизирует новую, ранее ему недоступную, экологическую нишу. Далее события разворачиваются, в общих чертах, по знакомой нам схеме: если штамм хеликобактера не способен образовывать токсин, патогенное действие его ограничится хроническим дуоденитом

— воспалением слизистой оболочки луковицы двенадцатиперстной кишки, или, точнее, гастродуоденитом — воспалением слизистой и желудка, и луковицы. Если же штамм может синтезировать токсин, вероятность изъязвления слизистой оболочки луковицы становится чрезвычайно высокой: видимо, местная система защиты слизистой от повреждающего действия факторов вирулентности хеликобактера уступает по своей эффективности аналогичной системе желудка. Следствие этого — более высокая частота распространенности язвенной болезни луковицы двенадцатиперстной кишки, чем выходного отдела желудка.

Итак, хронический гастрит и язвенную болезнь можно представить как единое заболевание — гастритассоциированную язвенную болезнь. Необходимо отметить, что в человеческой популяции, видимо, встречаются (хотя и чрезвычайно редко) индивидуумы, обладающие функционально нормальной слизистой оболочкой желудка, лишённой рецепторов к адгезинам хеликобактера и потому неуязвимых для него. Попавший в такой желудок хеликобактер, невзирая на наличие уреазы,

минует желудочно-кишечный тракт и выведется из него естественным путем. Столь же, или почти столь же, редко в человеческой популяции встречаются индивидуумы, обреченные на чрезвычайно тяжелое, непрерывно и часто рецидивирующее течение язвенной болезни, если в их организме штамм хеликобактера сумеет исключительно удачно адаптироваться.

Подводя итоги, отметим, что рассмотрение хронического гастрита и язвенной болезни как инфекционных заболеваний, вызываемых хеликобактером, было бы принципиально неверным: хеликобактер вызывает лишь хеликобактериоз — существенную, но не единственную, инфекционную составляющую этих заболеваний, многопричинных по природе и многообразных по проявлениям. Разумеется, в комплексе лечебных мероприятий применению противобактериальных препаратов должно быть отведено подобающее место — подобающее, но не вытесняющее применение лекарственных средств, влияющих на иные звенья комплексного развития этих весьма распространенных и мучительных заболеваний.

Диагностика и лечение хеликобактериоза

П. Я. Григорьев

НЕСОМНЕННО, выбор лечения всегда требует тщательной диагностики. В полной мере это относится и к хроническому гастриту, диагностика которого должна проходить в несколько этапов:

симптоматическая диагностика (на основе жалоб больного, анамнеза и элементарных методов обследования врач предполагает, что у больного хронический гастрит);

эндоскопическая диагностика

(уточняется локализация и характер изменений слизистой оболочки желудка, а также производится отбор ткани больного для последующего гистологического исследования);

морфологическая диагностика (на этом этапе окончательно устанавливается тип хронического гастрита, что в значительной степени определяет прогноз заболевания);

лабораторная диагностика (уточняется характер и выраженность функциональных нарушений, что позволяет оптимизировать лечение).

Присутствие *H. pylori* в организме



Петр Яковлевич Григорьев, доктор медицинских наук, профессор, заслуженный деятель науки России, заведующий кафедрой гастроэнтерологии факультета усовершенствования врачей Российского государственного медицинского университета, руководитель Федерального гастроэнтерологического центра, главный гастроэнтеролог России. Область научных интересов — оптимизация методов диагностики и медикаментозного лечения органов пищеварения. Автор 12 монографий. Пятикратный лауреат премии им. Н. И. Пирогова.

больного можно заподозрить еще на ранних этапах обследования по характерным симптомам (голодные боли в области желудка, тошнота и даже рвота после еды, отрыжка, изжога и т. д.) либо во время эндоскопического исследования, например, по выраженной воспалительной и сосудистой реакции, которая проявляется в виде яркой диффузной или пятнистой гиперемии (покраснения) и отека¹. Тем не менее, разработаны и специальные методы обнаружения этого микроорганизма в биоптатах из слизистой оболочки желудка или двенадцатиперстной кишки.

МИКРОБИОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Поскольку биоптат берется в эндоскопическом отделении, а исследование его должно проводиться в лаборатории, то существует проблема транспортных сред (т. е. сред, в которых бактерии могли бы жить в течение времени, достаточного для переноса исследуемого материала в лабораторию, его обработки и посева на дифференциально-диагностическую среду). Дело осложняется тем, что *H. pylori* — микроаэрофил, поэтому слишком высокая концентрация кислорода в воздухе действует на него губительно.

На ранних этапах изучения *H. pylori* часто использовали физиологический раствор, но его применение возможно лишь в том случае, если биоптат находится в такой среде не более 30 мин, в дальнейшем при комнатной температуре эта бактерия погибает. Позднее выяснилось, что лучших результатов можно добиться, если на биоптате слизистой оболочки сохранить слой слизи; поэтому транспортные среды должны быть как можно меньше по объему. Пожалуй, одна из наилучших транспортных сред — 20 %-й раствор глюкозы (при 4 °С *H. pylori* жизнеспособен в течение 5 ч)². Разные исследователи пытались использовать в качестве транспортных сред питательные бульоны, тиогликолевую среду или создавать сложные среды, содержащие сыворотку лошадиной крови с витаминными добавками и т. д. Однако в сравнительном исследовании статистически достоверного превосходства над простыми транспортными средами они не получили³.

Не менее сложная проблема — длительное хранение уже полученной чистой культуры *H. pylori*. Это необходимо для создания банка штаммов,

¹ Григорьев П. Я., Агрба В. З., Исаков В. А., Степанов А. В. Некоторые особенности эндоскопической диагностики язвенной болезни и хронического гастрита, ассоциированных с *Campylobacter pylori* // Тер. архив. 1989. № 11. С. 65—69.

² Goodwin C. S. et al. Evaluation of cultural techniques for isolation *Campylobacter pyloridis* from endoscopic biopsies of gastric mucosa // J. Clin. Pathol. 1985. V. 38. P. 1127—1131.

³ Westblom T. U. et al. Improved isolation of *Campylobacter pylori* from gastric biopsies using a biphasic transport media // Gastroenterol. 1988. V. 94. P. 494.

распространения так называемых стандартных штаммов, которые используют для связанных с этой инфекцией иммунологических исследований и прочих нужд фундаментальной науки. К сожалению, после хранения в сухом замороженном виде хеликобактер перестает размножаться, однако он легко переносит -70°C или охлаждение жидким азотом независимо от выбранной среды⁴.

Для выращивания этого микроорганизма разработано немало сред, большинство же исследователей предпочитают плотные, на основе крови животных, среды. Однако нельзя использовать кровь человека, где могут содержаться антитела к этим бактериям. Недавно была предложена новая, не содержащая крови и ее компонентов среда, на основе эмульсии яичного желтка⁵.

Хотя микроб размножается в достаточно широких пределах pH — от 5.5 до 8.5, — тем не менее лучше он растет при pH 6.9—8.0. Кроме того, необходимо соблюдать и микроаэрофильные условия (5 % O_2 , 5—10 % CO_2 , остальное — N_2). Можно использовать разработанные для анаэробов газорегенераторные пакеты, предварительно удалив из крышки микроанаэроостата катализатор. В нашей стране подобные пакеты под названием «Кампилогаз» производятся в Научно-производственном объединении «Синтез». Эти пакеты удобны еще и тем, что в них поддерживается подходящая для хеликобактера влажность (около 98 %). Время инкубации в термостате при 37°C колеблется от трех до семи дней в зависимости от выбора среды, методики выращивания и свойств штамма.

Микробиологическое исследование не ограничивается только получением характерного роста колоний бактерии,

важно проверить и ее биохимические свойства (напомним, что *H. pylori* обладает уреазной, каталазной, оксидазной активностью, а также образует сероводород, но не редуцирует нитраты и не ферментирует глюкозу). Кроме того, этот метод диагностики используют для определения чувствительности хеликобактера к антибактериальным средствам, прежде всего к производным нитроимидазола и препаратам группы офлоксацина, к которым он нередко устойчив. Нет нужды исследовать чувствительность штаммов к производным пенициллинового или тетрациклинового ряда — до настоящего времени устойчивых штаммов не обнаружено.

МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Хотя некоторые исследователи и называют «золотым стандартом» микробиологический метод, у него есть много недостатков и неудобств, связанных как с самим методом, так и с особенностями заболевания. Более надежны и информативны морфологические методы, так как с их помощью хеликобактер можно обнаружить на обычных, окрашенных гематоксилином и эозином срезах, правда, только на достаточно тонких и хорошо окрашенных. В последнее время разработаны новые методы, среди которых наиболее чувствителен иммуноцитохимический — с применением моноклональных антител и комплекса авидин-биотин-пероксидазы. Еще недавно его затрудняла необходимость иметь замороженные срезы, но сейчас появилась возможность исследовать обычный биопсийный материал, фиксированный в формалине и залитый в парафин.

Весьма обнадеживающие результаты получены при выявлении *H. pylori* методом гибридизации ДНК в обычных парафиновых срезах⁶. Эта методика не только чувствительна, но и высоко специфична, с ее помощью можно

⁴ Westblom T. U. et al. Long term freeze storage of *Campylobacter pyloridis* // J. Clin. Pathol. 1987. V. 40. P. 353.

⁵ Westblom T. U. et al. Egg yolk emulsion agar, a new and superior medium for cultivation of *Helicobacter pylori* // Rev. Esp. Enf. Digest. 1990. V. 78. P. 15—16.

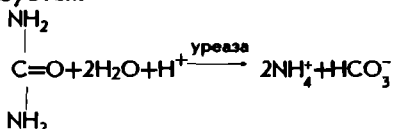
⁶ Berg F. M. van den et al. Detection of *Campylobacter pylori* in stomach tissue by DNA hybridization // J. Clin. Pathol. 1989. V. 42. P. 995—1000.

идентифицировать различные штаммы хеликобактера и понять природу повторного заражения после успешного лечения (новая ли это инфекция или размножение сохранившихся бактерий).

БИОХИМИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

Еще в начале века обнаружено, что фермент уреазы присутствует в желудке млекопитающих, но об ее происхождении и функциях ничего не знали. В середине столетия благодаря исследованиям Фицджеральда и Мерфи стало известно, что уреазы есть у разных животных (от амфибий до млекопитающих) и что наибольшее ее количество находится на поверхности эпителия, в области париетальных клеток, а также на дне язв. Считалось, что этот фермент обладает защитной функцией и, в частности, нейтрализует действие соляной кислоты. Однако спустя четыре года после опубликования этих результатов было установлено, что активность уреазы у кошек связана с жизнедеятельностью бактерий⁷. А когда выяснилось, что одно из важнейших свойств *H. pylori* — выработка уреазы⁸, стало очевидным, что этот фермент в желудке человека — тоже бактериального происхождения.

Было предложено множество тестов для обнаружения уреазы в слизистой оболочке желудка, но прежде чем обсудить их достоинства и недостатки, видимо, следует изложить принцип, который лежит в основе всех биохимических тестов. Известно, что под действием уреазы мочевины гидролизуется:



Образующийся в результате ион аммония приводит к сильному повыше-

нию pH среды, что и можно зафиксировать с помощью индикатора. Аналогичный подход используется в микробиологии для определения уреазной активности у других бактерий, поэтому изобретать среду для хеликобактера не пришлось, и до сих пор на основе классической среды Христенсена создаются более точные, удобные и совершенные тесты. Однако у подавляющего большинства существующих тестов есть недостатки, основной из которых — низкая стабильность сред. Скажем, та же среда Христенсена может храниться в холодильнике в стерильной, герметичной таре в течение не более одного месяца, другой широко известный «CLO-test» тоже должен храниться только в холодильнике, а некоторые другие вообще нельзя хранить, их надо готовить и использовать *ex tempore*. В связи с этим мы разработали «Campy-test», который не теряет своих свойств при комнатной температуре, а, следовательно, и производить его можно промышленным способом без особых затруднений. Сейчас этот тест уже выпускается и используется.

Несомненно, «CLO-test» или «Campy-test» — наиболее удобны, поскольку не требуют времени на приготовление, просты в использовании, но, как правило, они и недешевы (например, в Великобритании одно такое исследование стоит около двух фунтов стерлингов). Тем не менее, все тесты, независимо от способа приготовления, несравненно дешевле гистологического и микробиологического исследований и позволяют врачу сделать назначения почти сразу.

На определении уреазной активности *H. pylori* основана еще целая группа методов, которая интенсивно развивается в последние годы. Это радионуклидные методы диагностики. Все их можно разделить на две части: в первой используется мочевины, меченая изотопами углерода ¹⁴C или ¹³C, и их концентрация определяется в выдыхаемом человеком CO₂; во второй — мочевины, меченая изотопом азота ¹⁵N, его концентрацию определяют в моче.

⁷ Kornberg H. et al. The activity and function of gastric urease in the cat // Biochem. J. 1954. V. 56. P. 363—372.

⁸ Langenberg M. L. et al. Campylobacter-like organisms in the stomach of patients and healthy individuals // Lancet. 1984. V. 1. P. 1348.

ИММУНОЛОГИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ

У всех больных, инфицированных *H. pylori*, в слизистой оболочке желудка образуются антитела к антигенам, покрывающим клеточную стенку и жгутики бактерии. В подавляющем большинстве случаев эти антитела можно обнаружить в сыворотке крови различными методами. Используется иммунологическая диагностика для проведения эпидемиологических исследований либо при длительном (на протяжении лет) наблюдении за больными после успешного лечения. Возможность обследовать большое количество проб при отсутствии больных, например, на станциях переливания крови или в учреждениях, располагающих большими запасами замороженной плазмы, позволяет оценить распространенность инфекции не только в возрастных группах, но и получить интересные данные с помощью ретроспективного анализа. Сравнительный анализ данных, зарегистрированных в разных странах и у людей различной национальности, может выявить географические и расовые особенности распространения инфекции. Кроме того, при лечении хеликобактериоза не всегда удается подавить его, часто наступает реинфекция, и необходимо вновь определить наличие бактерий в слизистой. Безусловно, хорошо использовать радионуклидные методы, но они не применимы при незначительной обсемененности или после оперативных вмешательств. В этих случаях, как, впрочем, и в других, подходят иммунологические методы: снижение уровня антител в крови можно зарегистрировать даже спустя месяц после удачного лечения, а дальнейшее снижение — надежный признак успешной терапии. Спустя два года после уничтожения инфекции специфический иммуноглобулин определяется в концентрации, близкой 20 мкг/мл.

Новой областью применения иммунологических методов диагностики стал скрининг больных с диспепсией. До открытия хеликобактера было очевидно, что такие больные должны

обследоваться с помощью эндоскопии, но этот подход реально не осуществим из-за большого количества больных и высокой стоимости исследования. Поэтому определение хеликобактера дешевым и простым иммунологическим методом более целесообразно. Например, недавно проведенное исследование позволило сократить количество эндоскопий на 20 %, при этом не было диагностировано только 2 % язв⁹, что сопоставимо с процентом ошибок при эндоскопии и зависит от квалификации специалиста, а не от метода.

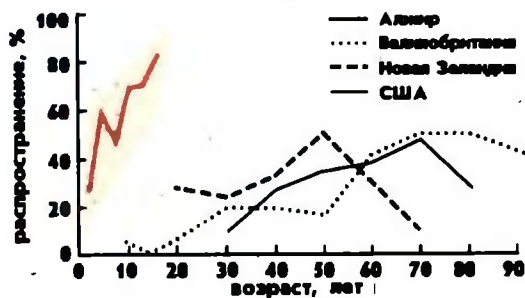
ЭПИДЕМИОЛОГИЯ И ЛЕЧЕНИЕ

Хеликобактериоз широко распространен, особенно среди людей пожилого возраста. В 60-летнем возрасте может быть инфицировано более половины населения развитых стран, а в развивающихся странах распространение инфекции значительно выше и при меньшем среднем возрасте больных. Многие из эпидемиологических особенностей хеликобактериоза схожи с особенностями гастрита — частота инфицирования увеличивается с возрастом приблизительно в той же степени, в какой увеличивается распространенность гастритов.

Распространение инфекции *H. pylori* во многом определяется социально-экономическим положением населения, при этом очевидна ее неравномерность в различных культурных, расовых и этнических группах.

Каким же образом передается инфекция *H. pylori*? Вполне естественно предположить ее перенос от человека к человеку. На это указывают обследования во многих семьях, и нередко говорят, что язва желудка передается по наследству. И это суждение не лишено основания, однако не меньшую роль в распространении инфекции играют внутрисемейные контакты и возможность заражения от общего источника. Например, в одной такой

⁹ Sobala G. et al. Evaluation of a clinical role for serology to *H. pylori* // Ibid. P. 154—158.



Возрастная зависимость распространения хеликобактериоза в некоторых странах.

«язвенной семье» четверо из восьми ее членов страдали рецидивирующей язвой двенадцатиперстной кишки, а у всех остальных был обнаружен хронический гастрит, и все они были инфицированы одним и тем же штаммом *H. pylori*¹⁰. Еще одно подтверждение передачи инфекции от человека к человеку — исследования, проведенные в замкнутых коллективах, где степень заражения оказалась намного выше обычной, а инфицирование происходило в весьма раннем возрасте. Например, в детских приютах Бангкока более 75 % двухлетних детей уже были заражены хеликобактером.

До сих пор точно не известны пути передачи этой инфекции, видимо, их несколько. Многие специалисты предполагают фекально-оральный способ передачи. Хотя выделить *H. pylori* из фекалий пока не удалось, но он обнаружен в слизистой прямой кишки¹¹.

Д. Грэхэм предположил, что инфекция может распространяться через воду. Основанием для этого послужили проведенные в Перу исследования детей, заражение которых было спровоцировано источником воды¹². Другие исследователи полагают,

что переносчиком инфекции могут быть животные. Установлено, например, что у мясников по сравнению с контрольной группой здоровых людей более высокий уровень антител к *H. pylori*¹³.

Независимо от способа передачи инфекции можно легко выделить группы риска. Одна из них — врачи-гастроэнтерологи: при проведении эндоскопии вероятность их инфицирования составляет 52 % по сравнению с 28 % в общей группе практикующего медицинского персонала и с 21 % в контрольной группе соответствующего возраста. В трех случаях повторного заражения после успешного лечения анализ бактериальной ДНК, проведенный вновь после реинфицирования, четко отличался от анализа, предвещающего лечение. Исследования рестрикционных карт ДНК бактерий, выделенных у больных, последовательно прошедших эндоскопию, показали, что бактериальные ДНК были идентичны, и таким образом один больной заразился от другого в результате проведения эндоскопии¹⁴.

Хеликобактер может находиться в гастродуоденальной слизистой оболочке многие годы, а иногда он сопровождает человека всю жизнь, вызывая специфический воспалительный процесс, на фоне которого снижается устойчивость слизистой к агрессивным факторам — прежде всего к соляной кислоте и пепсину. У большинства больных инфекция из антрального отдела распространяется по всему желудку, обуславливая развитие хронического гастрита, который сопровождается атрофией и кишечной метаплазией. Таким образом создаются условия для образования язв. Когда в желудке атрофический процесс становится диффузным и сопровождается

¹⁰ Rauws E. A. J., Tytgat G. N. J. *Campylobacter pylori*. Amsterdam, 1989.

¹¹ Dye K. R., Marshall B. J. et al. *Campylobacter pylori* colonizing heterotopic gastric tissue in the rectum // *Am. J. Clin. Pathol.* 1990. V. 93 № 1. P. 144—147.

¹² Klein D., Graham D. Y. et al. *Helicobacter pylori* is a water borne disease in Peruvian children // *Gastroenterol.* 1989. V. 5. P. 69.

¹³ Vaira D. et al. *Campylobacter pylori* in abattoir workers: is it a zoonosis? // *Lancet.* 1988. V. 6. P. 725.

¹⁴ Langenberg W. et al. Patient-to-patient transmission of *Campylobacter pylori* infection by fiberoptic gastroduodenoscopy and biopsy // *J. Infect. Dis.* 1990. V. 161. P. 3507—3511.

снижением секреции соляной кислоты и пепсина, вероятность появления язв уменьшается, но возрастает риск развития рака желудка.

Временное подавление желудочного кислотообразования с помощью антисекреторных препаратов, которые не уничтожают *H. pylori*, не устраняет воспалительный процесс и потому не предупреждает рецидивы язв и прогрессирование метаплазии и атрофии. Поэтому основной принцип лечения хеликобактериоза — уничтожение в слизистой оболочке желудка бактерий *H. pylori* и поддержание этого состояния как можно дольше. Для этой цели использовались различные лекарственные средства, среди которых важное место заняли антибиотики. Для успешного лечения этими препаратами любой инфекции прежде всего необходимо оценить чувствительность возбудителя к каждому из них.

Выяснилось, что хеликобактер чувствителен ко многим антибиотикам. Однако во время клинических испытаний обнаружилось, что при равной минимальной подавляющей концентрации их эффективность неодинакова. Эти различия могут быть связаны с уменьшением активности антибиотика в условиях кислой среды желудка или недостаточной его концентрацией в желудочных ямках или слое слизи, где в основном и обитает хеликобактер.

Для подтверждения этого предположения необходимо было исследовать антибактериальную активность различных антибиотиков при разных значениях pH среды (в диапазоне pH от 5 до 8; поскольку именно в этих пределах не наблюдается спонтанной гибели *H. pylori*, значит, результаты исследования будут достоверны). Выяснилось, что в кислой среде пенициллин и ампициллин теряют активность более чем в 10 раз, цефалексин — в 16, а эритромицин — более чем в 100 раз. Незначительно меняется активность лишь у тетрациклина и фуразолидона и вовсе не меняется у метронидазола и де-нола — комплексной висмутовой соли лимонной кислоты, единственного противоязвенного средства, обладаю-

щего антибактериальными свойствами¹⁵. Хотя на активность метронидазола и не влияет pH среды, у него есть другой недостаток: обнаружены устойчивые к нему и другим производным этого соединения штаммы *H. pylori*. Одновременное назначение с ними де-нола может разрешить эту проблему, так как он препятствует появлению устойчивых к производным нитроимидазона мутантов¹⁶. Микроорганизмы, устойчивые к де-нолу, неизвестны.

Чрезвычайно важна и лекарственная форма антибиотика, поскольку таблетка, капсула и суспензия ведут себя в желудке по-разному, а это сказывается на результатах лечения. К тому же известно, что в желудке могут абсорбироваться различные химические вещества, включая антибиотики, а степень абсорбции зависит от физико-химических свойств молекулы антибиотика, наличия в этот момент пищи или других лекарственных веществ и от эвакуаторной функции желудка.

Физико-химические особенности пенициллинов позволяют им абсорбироваться в желудке, они гидролизуются в активную форму при значениях pH > 5 в слизи, т. е. как раз там, где скапливается хеликобактер. Прием лекарства вместе с пищей будет замедлять эвакуацию вещества из желудка и таким образом увеличивать его абсорбцию, а следовательно дольше поддерживать требуемую концентрацию антибиотика в слизи. Присутствие в желудке одновременно с антибиотиками других лекарственных веществ может либо значительно изменить pH, либо обусловить их реакцию друг с другом. Известно, что препараты типа

¹⁵ McNulty C. A. M. et al. Inhibitory antimicrobial concentrations against *Campylobacter pylori* in gastric mucus // J. Antimicrob. Chemother. 1988. V. 22. P. 729—738.

¹⁶ Tytgat G. N. J. et al. *Campylobacter pylori*: Diagnosis and treatment // J. Clin. Gastroenterol. 1989. V. 11. P. 49—53; Goodwin C. S., Marshall B. J. et al. Prevention of nitroimidazole resistance of *Campylobacter pylori* by co-administration of colloidal bismuth sub-citrate // J. Clin. Pathol. 1988. V. 41. P. 207—210.

ципрофлоксацина, тетрациклина образуют соединения с поливалентными катионами, поэтому их абсорбция снижается на фоне антацидных препаратов, содержащих Mg^{2+} и Al^{3+} . Это может стать большой проблемой при лечении больных с выраженными диспепсическими симптомами, которые нередко прибегают к приему подобных средств.

Таким образом, выяснилось, что перечень препаратов, пригодных для комбинированной терапии, невелик. Правда, кроме перечисленных, есть еще одно средство — де-нол (соль висмута), который может быть использован как для комплексной, так и монотерапии. Примечательно, что еще в XVIII в. соли висмута эмпирически применялись для лечения желудочно-кишечных заболеваний и инфекций, вызванных спирохетами. Давно известна способность этих солей образовывать на поверхности язв защитную пленку, однако этот эффект долго не могли объяснить, пока не обнаружили, что де-нол может связываться с белками на дне язвы и образовывать кристаллы различной формы в зависимости от pH среды¹⁷. У больных хроническим гастритом при лечении де-нолом были обнаружены такие кристаллы в форме алмаза, которые скапливались на слизистой в области отмерших эпителиальных клеток.

Скорость движения ионов водорода в слизи под действием де-нола замедляется, а добавление его к желудочной слизи *in vitro* приводит к образованию устойчивого к действию соляной кислоты комплекса висмут-протеогликан. Установлено также, что де-нол снижает активность пепсина, возможно, за счет образования с ним комплексных соединений. Однако де-нол не только препятствует разрушению слизистой оболочки под действием соляной кислоты и пепсина — его комплексы способствуют восстановле-

нию эпителия, стимулируя накопление эпидермального фактора роста в зоне язвы, образование простагландинов и секрецию бикарбонатов, а также связывая соли желчи.

На чем же основано антибактериальное действие де-нола? Этот препарат хорошо растворяется в желудочном соке и слизи в самом широком диапазоне pH. Именно поэтому он, проникая в слой слизи, глубоко в желудочные ямки, может добраться до хеликобактера. Спустя два часа после приема де-нола бактерии «теряют сцепление» с эпителием и поднимаются в слой слизи, затем внутри бактериальной клетки происходит деградация ее структур и вакуолизация. Предполагают, что де-нол инактивирует ферменты окислительного фосфорилирования, вмешиваясь в транспорт электронов и разрушая клеточную оболочку бактерий. Кроме того, этот препарат может также противодействовать некоторым патогенным механизмам хеликобактера, ингибируя уреазу, протеиназу и фосфолипазу.

Обсудив способы лечения хеликобактериоза, нельзя не упомянуть о профилактике этой болезни, хотя принципы ее очевидны и используются при других инфекциях (диагностика, санитарно-гигиенические меры, санация, противозидемиологические мероприятия в очаге инфекции). Разработка комплекса конкретных рекомендаций именно для этой инфекции — дело ближайшего будущего. Ясно, однако, что в гастроэнтерологических кабинетах поликлиник и отделениях больниц, где наиболее высок риск заражения, должны быть организованы раздельный прием и госпитализация неинфекционных и инфекционных больных. Не менее важна профилактика хеликобактериоза в семьях, особенно в тех, где есть «язвенные больные». А для того, чтобы оценить медико-санитарное и экономическое значение хеликобактериоза для страны и рассчитать размеры необходимых капиталовложений для решения этой проблемы, необходимы тщательные скрининговые эпидемиологические исследования.

¹⁷ Soutar R. L., Coghill S. B. Interaction of tripotassium dicitrato bismuthate with macrophages in the rat and *in vitro* // *Gastroenterol.* 1986. V. 91. P. 84—93.

Анти-Рынок в природе

Г. А. Заварзин



Георгий Александрович Заварзин, профессор, член-корреспондент РАН, заведующий лабораторией микробных сообществ Института микробиологии РАН. Основные научные интересы связаны с изучением глобальной экологии, парниковых газов и трансформации их микроорганизмов. Член редколлегии журнала «Природа».

«ФИЗИКАЛИЗМ»

НАУКА развивается путем противопоставлений, однако академическая традиция предполагает, что бесконфликтное существование возможно лишь при безличном изложении. В данном случае это не имеет смысла. Термин «физикализм» взят мною из недавно вышедшей книги Н. Н. Моисеева — так автор назвал свой подход к описанию процессов эволюционной биологии¹. В том же направлении, но совершенно независимо от Н. Н. Моисеева, размышляет и В. Г. Горшков². Оба автора сходным образом ставят перед собой задачу перевести эволюционную биологию на язык «физтех», что вытекает из их эмпирических знаний и соответствующих теоретических предпосылок.

Мое глубокое уважение к названным авторам позволяет пытаться (надеюсь, бесконфликтно) найти альтернативу некоторым из высказанных ими положений, альтернативу, обусловленную принципиально иным эмпирическим знанием: по профессии я микробиолог, давно занимающийся глобальной ролью микроорганизмов в развитии биосферы, естествовик (ботаник, по современному жаргону), а не физик-инженер. Физики загипнотизированы биологической эволюцией, а для естествовика историзм («нет нового, не опирающегося на старое») естествен. Беда в

© Заварзин Г. А. Анти-Рынок в природе.

¹ Моисеев Н. Н. Восхождение к разуму. Лекции по универсальному эволюционизму и его приложениям. М., 1993.

² Данилов-Данильян В. И., Горшков В. Г., Арский Ю. М., Лосев К. С. Окружающая среда между прошлым и будущим. Мир и Россия. (Опыт эколого-экономического анализа.) М., 1994.

том, что «познание природы сведено к пониманию эволюции»³.

Книги теперь так мало доступны читателю, что мне придется сделать обширные выписки, дабы, по возможности не исказив, представить взгляды, альтернативу которым я попытаюсь изложить далее. Моя задача состоит в том, чтобы выявить коридор необходимости, в котором мечутся случайности.

Н. Н. Моисеев формулирует такие тезисы (см. с. 27 его книги и далее):

1. «Вселенная представляет собой единую саморазвивающуюся систему».

2. «Во всех процессах: имеющих место во Вселенной, неизбежно присутствуют случайные факторы, влияющие на их развитие, и все эти процессы протекают в условиях некоторого уровня неопределенности».

3. «Во Вселенной властвует наследственность: настоящее и будущее зависят от прошлого».

4. «В мире властвуют законы, являющиеся принципами отбора. Они выделяют из возможных виртуальных мысленных состояний некоторое множество допустимых»⁴. «Заметим, что последние три эмпирических обобщения по существу совпадают с дарвиновской триадой: изменчивость, наследственность, отбор. Таким образом, тот универсальный язык, который я пытаюсь ввести с помощью эмпирических

обобщений, является естественным развитием языка эволюционной теории Дарвина».

5. «Принцип отбора допускает существование бифуркационных (в смысле Пуанкаре) состояний, т. е. состояний, из которых, даже в отсутствие стохастических факторов, возможен переход материального объекта в целое множество новых состояний».

Всю эту концепцию Н. Н. Моисеев называет Рынком с большой буквы: «Рынок выступает в качестве сложнейшей иерархической организованной системы отбраковки старых и замещения новыми непрерывно рождающимися структурами. Вот теперь я рискну сказать, что Природа не избрала никакого другого механизма самоорганизации, кроме этого механизма Рынка».

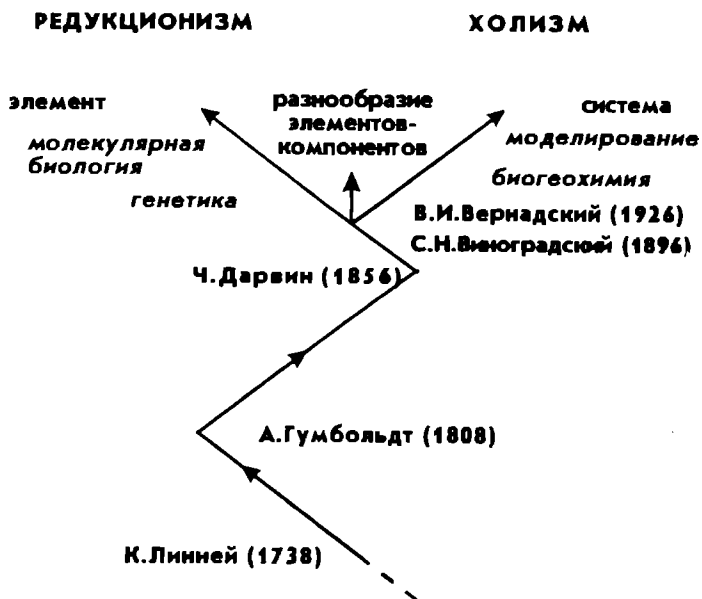
В биологии этот подход я бы сформулировал так: «Нет эволюции, кроме микроэволюции, и отбор — ее причина»⁵.

У В. Г. Горшкова — сходные соображения: «Наиболее сложным видом скоррелированности среди живых объектов является скоррелированность организмов различных видов в естественных сообществах, которые можно назвать обобщенными особями. Возникновение сообществ связано с необходимостью замкнутого круговорота веществ и поддержания устойчивости среды. Каждый вид в сообществе выполняет строго определенную работу по стабилизации окружающей среды. Как и любой организм, сообщество имеет конечные размеры и распадается с течением времени, что выражается в потере способности поддерживать стабильные условия окружающей среды с высокой точностью. Это приводит к утрате конкурентоспособности и вытеснению его непрерывно образующимися

³ Цитата из Тейяра де Шардена: «Пружина жизни... Этот вопрос горячо обсуждается натуралистами с тех пор, как познание природы сведено к пониманию эволюции (подчеркнуто мною. — Г. З.). Верная своим аналитическим и детерминистским методам, биология, как и раньше, стремится найти принцип развития жизни во внешних и статистических стимулах — борьбе за существование, естественном отборе... С этой точки зрения живой мир поднимается (в той мере, в какой он действительно поднимается!) лишь автоматически регулируемой суммой попыток, предпринимаемых им для того, чтобы остаться самим собой» (Тейяр де Шарден П. Феномен человека. М., 1987. С. 124). Читателю предоставляется возможность сопоставить лукавый смысл этого восклицания с нижеследующим изложением.

⁴ Ср.: Заварзин Г. А. Фенотипическая систематика бактерий. Пространство логических возможностей. М., 1974.

⁵ Математики особенно увлекаются идеями конкуренции и отношениями «хищник — жертва», строят для этого соответствующие теории эволюции. Например: Rand D. A., Wilson H. B., McGlade J. M. Dynamics and evolution: evolutionarily stable attractors, invasion exponents and phenotype dynamics // Phil. Trans. R. Soc. Lond. B. 1994. № 343. P. 261—283.



Смена мировоззрений в биологии. Развитие мысли в естествознании колеблется между холизмом и редукционизмом, т. е. между стремлением дать общую картину природы (ее систему) и пониманием механизма, обуславливающего ее действие и опирающегося на элементы. В течение полутора столетий господствовало убеждение, что систему природы можно понять, опираясь на происхождение и историю объектов. Лишь немногим больше десятилетий назад интерес сместился к системе их взаимодействия.

новыми сообществами. <...> Таким образом, биота регулирует состояние окружающей среды, обеспечивая оптимальные для жизни условия, используя свою большую мощность и конкурентное взаимодействие (свободный рынок) как на уровне отдельных организмов, так и на уровне обобщенных организмов — естественных сообществ» (см. указ. соч., с. 32—33).

Эта позиция В. Г. Горшкова рискованна в том плане, что допускает подмену эволюции сообщества эволюцией вида. Каждый скачок через иерархический уровень следует воспринимать как метафору. Вместе с тем описание сообщества как эволюционирующей целостности очень близко совпадает с моим пониманием центральной проблемы макроэволюции⁶.

Устойчивость системы определяется тем, что называют «расширенным принципом Ле Шателье», который каждый из авторов понимает по-своему, но смысл коего в данном контексте сводится к тому, что

система, неспособная к компенсаторным изменениям в ответ на возмущение, разрушается. Кстати, эти возмущения могут быть и внутренними, не обусловленными конкуренцией между сообществами. Представляется, что такие возмущения играют определяющую роль в саморазвитии, хотя авторы и не придают им соответствующего значения.

Необходимым условием конкуренции служат «пределы роста» — концепция Римского клуба, берущая начало от Мальтуса, но совершенно очевидно следующая из конечности земного пространства. Оба названных автора убеждены (как и Госдепартамент США, положивший это представление в основу практической политики «экологического империализма», по терминологии Б. Кларка), что пределы роста человечества превышают емкость биосферы. Это начинает определять и геополитику.

В публикациях, о которых здесь идет речь, совершенно определенно проводится параллель между экономической и потоками вещества в биосфере. Авторы предпринимая попытку сопоставить биологические закономерности

⁶ Заварзин Г. А. Биоразнообразие и устойчивость микробного сообщества // Журн. общ. биологии. 1992. Т. 53. № 3. С. 302—318.

с социальными, попытку робкую, ибо на самом деле биологические закономерности в жизни человечества недооцениваются как христианской (любой конфессией), так и коммунистической идеологией, и это — 'область табу. Оба автора сближают Рынок и дарвинизм как разные приложения одного и того же принципа. От социального дарвинизма Н. Н. Моисеев уходит не всегда строго последовательным образом, и эта часть его взглядов («разумный компромисс») должна быть рассмотрена отдельно. Математический анализ показывает, что конкуренция в условиях Рынка и при достаточном времени неизбежно приводит к монополизму (выживание наиболее приспособленных).

Реально же выживает множество организмов, в том числе и, казалось бы, несовершенных. Это обстоятельство (выживание всех, кроме явно неприспособленных к изменившимся условиям) и следует рассматривать как важное эмпирическое обобщение, плохо согласующееся с Рынком. Работает какое-то «антимонopolное законодательство», механизм протекции для меньшинств.

Из сказанного видно, что в основу «физикалистской» концепции положены механизмы конкуренции, имеющие отношение к «Сбыту», а не к формированию «Спроса», если пользоваться рыночной терминологией. А именно: те конечные состояния, к которым движутся изменяющиеся объекты природы — т. е. «Спрос», — физик К. фон Вейцзеккер назвал главной загадкой эволюции. Загадка заключается в способе возникновения той суммы характеристик, которая определяет конечное состояние, необходимое для сбалансированности системы.

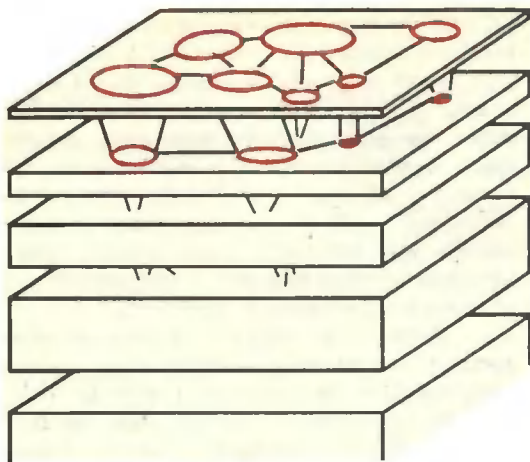
Н. Н. Моисеев и В. Г. Горшков признают значимость принципа иерархии — каждая система сложена другими системами, служащими для нее элементами, — но происхождение иерархии не обсуждается. Оба автора мыслят в направлении, противоположном редукционизму, — и в этом, как и в ряде

других положений, я к ним присоединяюсь. Редукционизм привел к неполному, если не искаженному, пониманию мира. Ощущается необходимость понять, каким образом возникает система, организация, организм, а не только какова природа элементов системы; каково соотношение между эволюцией элемента системы (в свою очередь являющегося системой) и эволюцией системы в целом.

Дарвинизм сводит эволюцию живого к изменению индивида и происхождению вида. Биология клетки подменяет эволюцию организмов эволюцией частей клетки (хотя более ориентируется на их взаимодействие). Молекулярная биология сводит эволюцию к изменению макромолекул. Насколько редукционизм как таковой всемогущ при описании эволюционирующих систем? Заметим в скобках, что существующие тенденции обусловили провал внимания к биологическим закономерностям на уровне «организм — сообщество», поскольку изучаются либо молекулярные, либо глобальные аспекты.

Философский императив поисков очевиден: требуется объяснить возникновение необходимого из случайного. Наиболее обоснованно в этом плане обсуждение эволюции с позиций иерархической термодинамики. Предполагается, что при этом подходе можно выявить общую термодинамическую направленность и биологической эволюции. Термодинамическая направленность геохимической эволюции кажется очевидной. Вместе с тем термодинамический подход не касается механизмов эволюции, будучи ориентирован на конечные состояния системы.

Вопрос: на всех ли уровнях анализа правомерен принцип Рынка? Основной тезис анти-Рынка состоит в том, что конкуренция не служит первостепенным фактором при заполнении ячейки в пространстве логических возможностей, образующемся наложением внешних условий, абиотических и биотических, на потенциальные способности живых существ к соответствию



Соотношение функционального и филогенетического подходов в естествознании. Историю природы можно представить как этажерку, составленную последовательными слоями и соединенную древом происхождения отдельных групп. Одна часть ученых интересовалась преимущественно вертикалями, соединяющими полки в этажерке, в то время как другая — взаимодействием объектов на каждой полке. Сейчас стремятся довести толщину полки до уровня одного года, чтобы понять потоки вещества между функциональными группировками в экосистеме. Происхождение и изменение объектов при таком подходе совершенно неважно, они воспринимаются как данность. Взаимодействие между функциональными группировками определяют сбалансированность и устойчивость системы в каждый промежуток времени.

этим внешним условиям⁷. Эволюция представляется как серия последовательно сменяющихся систем живых организмов, взаимодействие между которыми обеспечивает устойчивость всей организации. Схема этого процесса выглядит как этажерка, на каждой полке которой горизонтальные системные взаимодействия господствуют над вертикалями происхождения. Следует обратить внимание на сходство понятий «система», «организм», «организация», поскольку все они подразумевают присутствие элементов множества, це-

лесообразно взаимодействующих между собой. Под «целью» здесь понимается устойчивость системы, предполагающая и устойчивость входящих в нее элементов, хотя каждый из этих элементов может быть заменен иным с аналогичными системными функциями.

Как возникают возможности для новой «экологической ниши» в процессе эволюции?

Микробиолог обладает некоторыми специальными знаниями, которых нет у представителей других специальностей и которые дают нетривиальный угол зрения, оказавшийся весьма плодотворным. Поэтому основные положения этих знаний нужно хотя бы кратко сформулировать.

МИКРОБЫ

Развитие биологии в последние десятилетия было в большой степени сконцентрировано на бактериях как наиболее удобном объекте. До самого последнего времени бактерии не поддавались эволюционному подходу, но внезапно стали образцовой моделью для эволюционных построений. Связано это с установлением молекулярной филогении прокариот по последовательности оснований в рибосомальной РНК. Переворот этот осуществил К. Везе (не получивший Нобелевской премии, что служит упреком не К. Везе) на основе типично редукционистского подхода: рибосомы — консервативный элемент клетки, рибосомальная РНК характеризует рибосому. Были построены классификационные деревья сходства рибосом, порядок ветвления в которых приравнивался к последовательности происхождения. Предположение о независимой эволюции элементов системы, органелл клетки или органов организма оказалось отброшенным, хотя назвать элементом сложнейший рибосомальный механизм синтеза белка вряд ли кто-нибудь решится — он сам представляет собой систему.

Сейчас классифицировать бактерии можно на основе количественных показателей — различия в последователь-

⁷ Ср.: Заварзин Г. А. Фенотипическая систематика бактерий. Пространство логических возможностей. М., 1974.

ности нуклеотидов. Бактерии (=прокариоты) по этому показателю распались на две группы — собственно бактерии и археи, которые столь же далеки друг от друга, как и от эвкариот. Но этот показатель (для него предложена категория *Candidatus*) ничего не говорит о функциональных свойствах организма, это генеалогия в чистом виде и чистый дарвинизм в том смысле, что каждый объект характеризуется прежде всего историей своего происхождения. В количественном отношении разница между бактериями неизмеримо больше, чем та, которая существует между протистами (одноклеточными эвкариотами), не говоря уже о крайне однообразных многоклеточных, представляющих три короткие веточки грибов, животных и растений.

Второй прорыв осуществлен в палеонтологии докембрия. Он связан с именем Б. Шопфа, обобщившего успехи в исследовании ранней биосферы Земли. Работы палеонтологов велись медленно, без ударного финансирования и с бесконечной переоценкой полученных данных. Но в результате они привели к отчетливому пониманию, что первая биосфера Земли была представлена прокариотами в течение примерно 2 млрд. лет и только потом в этой биосфере и на ее основе возникла и стала развиваться вся остальная жизнь⁸.

Эмпирическое знание не-микробиологов, основанное на «животных и растениях», в рассматриваемом масштабе времени представляет собой нечто, вводящее в заблуждение. Изучение микрофоссилий только одной группы прокариот — цианобактерий (сине-зеленых водорослей) — показало,

что они регистрируются практически с начала геологической летописи, сразу после «импактного» периода в истории Земли. Цианобактерии, насколько можно судить по морфологии, остались точно такими же, как их отдаленные предки, т. е. трудно доказать, что у них была эволюция. Другие прокариоты, кроме цианобактерий, плохо сохраняются и не распознаются в ископаемых остатках. Их деятельность в биосфере прошлого приходится реконструировать по геохимическим продуктам, но это иногда удается делать с большой уверенностью. Наиболее крупным результатом деятельности прокариот было формирование кислородной атмосферы Земли и всех сопряженных с этим биологических циклов.

Третья причина связана со специфической каталитической ролью бактерий в биогеохимической машине Земли. Это «эмпирическое обобщение» было сформулировано 100 лет назад С. Н. Виноградским, ученым, оказавшим самое глубокое влияние на развитие мирового естествознания, в его лекции 8 декабря 1896 г. на общем собрании Императорского института экспериментальной медицины. «Окончив теперь беглый обзор всех главных сторон деятельности микробов, мы следующим образом формулируем наши окончательные выводы: микробы являются главными агентами вызванного жизнью и необходимого для правильной смены жизней круговорота веществ <...> В такой связи явлений вся живая материя встает перед нами как одно целое, как один огромный организм, заимствующий свои элементы из резервуара неорганической природы, целесообразно управляющий всеми процессами своего прогрессивного и регрессивного метаморфоза и, наконец, отдающий все заимствованное назад мертвой природе»⁹. В этом изложении важно, что, во-первых, все основные звенья круговорота веществ

⁸ Осознание того, что между бактериями и другими живыми существами имеет место принципиальный разрыв, пришло сравнительно поздно. С учетом предшествовавших цитологических наблюдений, но уже имея представление о строении на уровне ультратонких срезов, Стэниер и ван Ниль в 1962 г. довели до всеобщего сознания, что «прокариоты» и «бактерии» — синонимы. См.: Stanier R. V., van Niel C. B. The Concept of a Bacterium // Arch. Mikrobiol. 1962. V. 42. P. 17—35.

⁹ Виноградский С. Н. О роли микробов в общем круговороте жизни. СПб., 1897.

катализируются специфическими микроорганизмами и, во-вторых, вся живая материя представляет собой «один огромный организм» (мы бы сказали сейчас «систему», сравните с первым тезисом Н. Н. Моисеева). За 100 лет общей микробиологии ее развитие было направлено прежде всего на изучение функциональных групп микроорганизмов, участвующих в биосферной системе химических реакций. Качественную картину роли микроорганизмов следует дополнить количественной оценкой их значения в круговороте углерода. В наземных системах из 60 Гт углерода в год, поступающих с первичной продукцией, не более 3 Гт используется животными. Остальное приходится на дыхание корней и микроорганизмов (включая грибы).

Четвертая линия прорыва сейчас еще формируется. Она связана с симбиогенетическим происхождением прокариотных организмов и имеет прямое отношение к механизму возникновения иерархии. Симбиогенез был возрожден Л. Маргулис из отвергнутых представлений А. С. Фаминцына (кстати, учителя С. Н. Виноградского) для объяснения происхождения эукариотной клетки из кооперативной системы прокариот. Симбиогенез находит все больше поражающих примеров кооперации организмов. Представляется, что хлоропласты суть трансформированные в органеллы симбиотические цианобактерии. Методы молекулярной идентификации позволяют обнаружить в анаэробных протистах сочетающиеся с «гидрогеносомами» «метаносомы» — симбиотические водородиспользующие метанобразующие бактерии, обеспечивающие энергетический обмен этих организмов в анаэробных условиях. Существует также предположение о возникновении сосудистых растений путем симбиогенеза гриба и водоросли, но оно более гипотетично. Тем не менее, все эти поиски иллюстрируют недарвинистский путь эволюции. Для происхождения прокариот такой предполагаемой кооперации предшествовавших компонентов нет.

Дарвинизм основан на случайном

изменении (мутации) одного признака у одного организма и отборе всех потомков — носителей этой мутации. В данном же случае речь идет о системном изменении — неважно, будет ли это слияние организмов или же передача больших участков генома. Оба механизма — мутационный и системный — существуют в природе, и важно оценить характерное время их действия.

Распространение гена в популяции сопоставимо с временем дрейфа генов (без учета времени, необходимого для образования их комбинации). Системный механизм не рассматривает возникновения нового, а только касается его перераспределения, и, следовательно, обусловленная им структура множества объектов носит комбинаторный характер. В этой формирующейся картине взглядов взаимоотношение случайного и закономерного имеет иной смысл, нежели в Рынке.

Ту же тенденцию холизма (от греч. «целое»), подразумевающую восприятие природы как иерархии «целостностей», отражает и претенциозная Программа глобальных изменений — уже в течение десятилетия главная программа Международного союза научных союзов: в этой, казалось бы эволюционной по названию, программе эволюция как происхождение видов полностью исключена из рассмотрения организационно — путем ограничения времени рассмотрения сроком от десятилетий до сотен лет. Все внимание сосредоточено на взаимодействии между компонентами биотической и абиотической систем.

Таким образом, микробиолог оказывается в своеобразном положении. Объект его исследований не имеет материализованных предшественников — одни лишь предположения продолжателей А. И. Опарина. Однако принято считать, что эти предположения устарели, так как не согласуются с фактами из ранней истории биосферы 10. Итак, предшественников прокариотной биосферы искать не приходится: до нее была лишь абиотическая геосфера.

Наследники прокариотной биосферы существуют, но они не заменили ее, а наложились на уже сформированные циклы элементов, составляющие основу биогеохимической машины Земли, катализаторами которых остаются те же самые бактерии. Система прокариот изначальна и неизменна в своих существенных чертах. Разнообразие бактерий, конечно, возрастало, но эволюция их представляется лишь некоторым уточнением и усложнением. Кишечная палочка (*Escherichia coli*) — объект современной молекулярной биологии и индикатор фекального загрязнения — возникает лишь с появлением фекалий, потому что на Земле без фекалий ей делать нечего. Этот пример указывает на пути саморазвития прокариотной системы — зависимость от новых мест обитания по мере возникновения новых возможностей.

Кардинальный вопрос для микробиолога представляет формирование первоначальной прокариотной системы в биосфере.

РЕЛИКТОВЫЕ СООБЩЕСТВА

В противоположность дарвинистскому подходу, неизбежно ведущему к монофилии как результату индивидуального изменения и его отбора, В. И. Вернадский утверждал, что на Земле с самого начала могло существовать лишь некое сообщество функционально различных организмов. Альтернативное представление включает ряд логических противоречий. «В интервале от «первой клетки» до «последнего общего предка» жизнь развивалась монофилетическим путем, в котором не возникало стабильного разнообразия: хотя боковые ветви и возникали, выживала только одна вследствие простого «выживания наиболее приспособленных». Первые же потомки создавали стабильное разнообразие, ставшее возможным

потому, что они развили альтернативные не конкурентные стратегии»¹¹.

Если бы дело обстояло таким образом, то первое же экофизиологически значимое изменение привело бы к появлению разнообразия и устранению конкуренции, т. е. к анти-Рыночной ситуации. Но развитие без изменения невозможно. Даже если представить первоначальное местообитание общего предка в виде гидротермы с постоянным притоком субстратов извне и удалением продуктов, изменение должно привести либо к заселению гидротерм с иными характеристиками, либо к использованию иного субстрата, что позволит избежать конкурентного ограничения. Возникновение биоразнообразия есть антиконкурентный способ выживания. Стабильность определяется объединением некоторого множества разнообразных организмов в согласованную систему — сообщество.

Только сообщество, состоящее из функционально разнообразных организмов, могло осуществлять циклические процессы, необходимые для того, чтобы не исчерпать существующие ресурсы, не разбалансировать систему и оставаться стабильным в биогеохимическом смысле. Таким образом, ведущей формой взаимоотношений между средой обитания и компонентами сообщества служат трофические отношения — типы питания.

Микробиологи давно разработали номенклатуру типов питания, трофии. Она основана на признаках конструктивного (авто-, гетеро-) и энергетического (хемо-, фото- и лито-, органи-) обмена. Например, фотолитоавтотрофный обмен свойствен цианобактериям, а хемоорганогетеротрофный — кишечной палочке. Каждый тип обмена имеет характерный для него набор ферментативных реакций и путей метаболизма. Среди прокариот установлены все восемь типов питания, а среди многоклеточных (растений, животных и грибов) — только два. Микробио-

¹⁰ См., например: Kasting J. E., Chang S. Formation of the Earth and the origin of life // The Proterozoic biosphere. A multidisciplinary study. Cambridge, 1992.

¹¹ Koch A. L. Development and diversification of the last universal ancestor // J. Theoret. Biol. 1994. V. 168. P. 269—280.

логи нашли еще ряд уникальных функций прокариот: диазототрофия (азотфиксация), метанотрофия (окисление метана) и др. Таким образом, с точки зрения физиологии бактерий, в этом масштабе эволюция ведет не к увеличению, а к уменьшению разнообразия. Эту идею А. Львов в 1944 г. обозначил как вырождение потенций в процессе эволюции.

В изначальную биосферу входили прокариоты-продуценты, взаимодействующие с неорганической средой, — литоавтотрофы. Это ясно по определению. Менее ясно другое, что литотрофы сами по себе неспособны обеспечить устойчивую систему без петли регенерации, осуществляемой деструкторами-органотрофами. Такая система при условии поступления энергии извне в виде субстратов окислительно-восстановительных реакций, образуемых экзогенно, геохимически (хемолитотрофы), или же эндогенно, фотохимически (фототрофы), самодостаточна.

Крупнейшим эмпирическим фактом следует считать существование в настоящее время микробных сообществ, по-видимому, совершенно аналогичных тем, которые были на заре жизни. Эти реликтовые сообщества, сохраняющиеся локально, позволяют с большой вероятностью восстановить прошлое, подобно тому, как современные животные позволяют составить представление о вымерших на основе акупалеонтологии.

Доказательная линия основана на сопоставлении современных цианобактериальных сообществ со строматолитами — биогенными породами, образовавшимися путем литификации цианобактериальных матов. Геологическая история строматолитов прослежена очень тщательно на протяжении всего протерозоя и позднего архея. Здесь особенно следует отметить вклад многолетних исследований Геологического института РАН. Современные цианобактериальные маты изучены в лагунах вдоль морского побережья преимущественно аридной зоны — там лагуны засолены и исключена роющая деятельность животных, которые считаются одной из причин исчезновения

строматолитов, в прошлом доминирующих рифообразователей. Цианобактериальные маты — высокоструктурированные сообщества и в физическом плане, так как образуют «псевдоткань», и в трофическом, поскольку состоят из функционально взаимодополняющих групп организмов. Эталоном цианобактериальных сообществ гиперсолёных водоемов стало небольшое (0.8 га) озеро Солар Лейк на Синайском п-ове, а ближе к нам — лагуны Арабатской стрелки на Сиваше. Продукционную ветвь здесь осуществляют цианобактерии, деструкцию — анаэробные галофилы с резким доминированием серного цикла при участии сульфидогенов (сульфат- и серовосстанавливающих) и аноксигенных фототрофов (пурпурных и зеленых анаэробов).

Аналогичные цианобактериальные сообщества, составленные термофильными организмами, развиваются в углекислотных гидротермах. Интересно, что такое сообщество трансформирует газовые выделения вулканов в газовую смесь, близкую по составу к воздуху. Здесь можно провести аналогию с превращением углекислотной атмосферы Земли в современную. «Полигоном» для таких исследований послужил Октопус Спринг в Йеллоустонском парке США, а у нас — кальдера Узон в Кроноцком заповеднике на Камчатке¹². В термофильных цианобактериальных сообществах деструкцию осуществляют разнообразнейшие термофильные анаэробы.

Места обитания гипертермофилов, развивающихся в диапазоне 80—110 °С, связаны с хемолитотрофией. Сенсаци-

¹² Заварзин Г. А. Заповедники для микробов // Природа. 1990. № 2. С. 39—45. Министерство охраны окружающей среды и природных ресурсов РФ 25.05.1994 г. объявило кальдере «участком особого режима посещения», создав, таким образом, первый заповедник для микробов. Обусловлено это не только необходимостью предотвратить гибель цианобактериальных матов, чувствительных к механическим повреждениям и изменению гидрологического режима, но и сохранить генетические ресурсы термофилов, особо важные для биотехнологии и ставшие национальным достоянием с принятием Конвенции по биоразнообразию.

онный интерес вызвали глубоководные выходы термальных вод — «курильщики», в которых особое внимание обратили на себя симбиотические сообщества беспозвоночных с литоавтоτροφными бактериями. Но в рассматриваемом аспекте нас интересуют свободноживущие организмы. Исследование их, начатое Х. Янншем, развил К. Штеттер в Университете Регенсбурга. Среди гипертермофилов много архей, получивших характерное название *Sulfoarchaeota* (от греч. «источник»). Эти организмы используют продукты реакции циркулирующей воды с перегретыми изверженными горными породами. Основными субстратами литотрофных архей служат H_2 , CO_2 , S_0 , а продуктами — H_2S , CH_4 . Предполагается, что эти организмы аналогичны наиболее древним. Усиленно разрабатывается гипотеза, что эти гидротермы были местом зарождения жизни. Существенно, что здесь замыкание цикла осуществляется геохимически и поэтому греческое название — обоснованно: организмы живут в источнике и не образуют связанной трофической системы. Сходные организмы обитают на сольфатарных полях наземных вулканов. Свои субстраты они получают за счет реакций перегретого пара с магматическими породами у дна метеорной (дождевой) ячейки циркуляции. Следует иметь в виду, что в современных условиях громадную роль играет конвекция, приносящая к гидротермам кислород и аллохтонное органическое вещество, чего могло и не быть в прошлом. Наряду с археями в гидротермах развиваются и термофильные собственно бактерии, осуществляющие основной круговорот веществ.

Рассмотренные три типа реликтовых микробных сообществ иллюстрируют основные предполагаемые этапы эволюции в протерозое: микробная жизнь в гидротермах, трансформация газовых вулканических эксгаляций в воздух, строматолитобразующие сообщества, достаточные для биогеохимической машины биосферы, сходной с фанерозойской. Кислород служил бро-

совым продуктом обмена, удалявшимся разбавлением в атмосфере. Предполагается, что первоначально доминировали анаэробные организмы, хотя аэробы с самого начала могли присутствовать в цианобактериальном мате, где были кислородные «карманы». Важнейшим в жизни биосферы был этап, когда она «вывернулась наизнанку» и в ней образовались анаэробные «карманы». Поэтому анаэробное сообщество можно условно считать более примитивным.

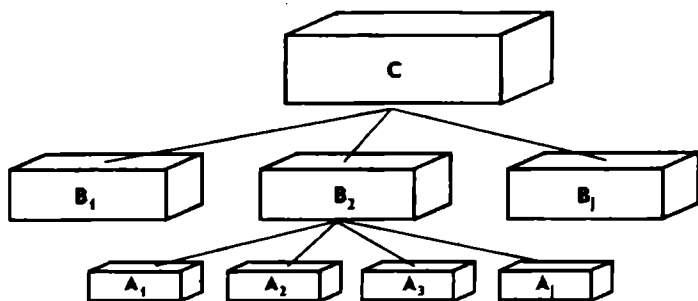
ТРОФИЧЕСКАЯ СТРУКТУРА БАКТЕРИАЛЬНОГО СООБЩЕСТВА

Трофическую структуру сообщества удобнее всего представить в виде транспортной сети¹³. Между «узлами» — функциональными группировками сходных видов, в которых происходит трансформация вещества, — имеются «ребра» потоков вещества. Эти потоки образуют пулы метаболитов в системе. Например, ацетат может образовываться первичными анаэробами, разнообразными бродильщиками, гомоацетатными бактериями, некоторыми сульфатовосстанавливающими и потребляться аэробами, ацетокластическими метанообразующими, некоторыми сульфатовосстанавливающими. Центральным метаболитом в системе служит водород. Удаление его как продукта обмена обуславливает разложение летучих жирных кислот анаэробными синтрофными микроорганизмами, что иначе невозможно термодинамически. Открытие этого «межвидового переноса H_2 » было центральным в понимании работы анаэробного сообщества как оркестра, единой организованной системы.

Отсюда и следует главный тезис анти-Рыночной концепции: функциональное положение организма в трофической системе предполагает в первую очередь кооперацию, а не конкуренцию. Таким образом, «Спрос» оказы-

¹³ Заварзин Г. А. Трофические связи в метаногенном сообществе // Изв. АН СССР. Сер. биол. 1986. № 3. С. 341—360.

Иерархический подход к описанию явлений природы. А — объекты низшего уровня, В — следующего за ним, С — высшего уровня. Между ними выполняется соотношение $A \subset B \subset C$ (С — знак вхождения). Прискоки через эти уровни запрещены. Анализ системы возможен лишь при иерархическом подходе. На каждом уровне действуют свои закономерности, обусловленные взаимодействием с блоками другого уровня, что способно существенно изменить оптику системы. Подход, изображенный на рисунке, ориентируется на экофизиологию — реакцию экосистемы, в



которой рассматривается ряд — $A \subset B \subset C$. Например: организм (минерал) — экосистема (ландшафт, фация) — биосфера (геосфера). При ис-

следовании экофизиологии важным фактором становится «геобиофизика», связанная с энергией и транспортом вещества в природной системе.

вается первоначальным. Для работы дарвинистского Рынка определяющим служит эффективный механизм элиминирования, который и представляет собственно отбор, доводящий до вымирания. При возникновении новой ниши речь идет не об отборе, а о выборе организма, потенциально способного занять ее.

Система трофических взаимодействий в микробном сообществе допускает пропуски, пустые узлы, связанные с накоплением продукта, не используемого в сообществе. Это и создает потенциальную нишу для микроорганизма с соответствующей функцией.

Когда циклы в сообществе не замкнуты, происходит накопление какого-то метаболита. Такой незамкнутый обмен сообщества действительно иногда наблюдается. В анаэробных условиях, например, происходит накопление лигнина или же липидов мембран — предшественников керогена. Интересно, что на биосферном уровне неспособность бактерий в некоторых условиях разлагать органическое вещество есть причина накопления кислорода в атмосфере как эквивалента накопления углерода осадочных горных пород в реакции первичной продукции: $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightleftharpoons [\text{CH}_2\text{O}] + \text{O}_2$. Возможно, что сульфаты океана и окисные руды металлов имеют такое же происхождение, как кислород в качестве отходов метабо-

лизма микробных сообществ. Одна из важнейших биогеохимических функций — разложение лигнина — связана с наличием активной пероксидазы, способной разлагать полимер, осколки которого уже поддаются обычному метаболизму. Здесь побочная функция у грибов становится основой специализации.

Такая побочная функция имеет обычно относительно небольшой генетический вес и поэтому слабо отражается в геноме. По-видимому, анализ филогенетического положения организмов, занимающих одно и то же функциональное положение, должен дать ответ на вопрос, насколько дивергенция обуславливает их приспособленность к разным условиям. С другой стороны, сопоставление филогенетического положения организмов, трофически связанных друг с другом в сообществе, должно ответить на вопрос, формируется ли микробное сообщество дивергенцией и дарвиновской селекцией или же аддитивно, т. е. путем привлечения извне новых членов, занимающих свободные ниши.

Анализ анаэробного сообщества, которое представляет собой хорошо взаимодействующую трофическую систему, показал, что его компоненты неродственны между собой. Более того, как правило, трофически взаимодействуют представители крайне дале-

ких между собой филогенетических групп. Например, у метановых архей, относящихся к группе *Euriarcheota* («повсеместных»), предшественники в пищевой цепи — синтрофные организмы, у а тех в свою очередь — первичные анаэробы-броидильщики, относящиеся к разным ветвям истинных бактерий. Таким образом, сообщество собрано путем привлечения новых компонентов, а не получено дивергенцией от немногих предков.

Внутри одной функциональной группировки возможно происхождение от одной ветви. Наглядным примером могут служить недавно открытые галоанаэробы. Эти организмы занимают определенную функциональную нишу в трофической системе экстремально галофильного сообщества и включают гидролитиков (целлюлозоразлагающая *Halocella*), первичных анаэробов-броидильщиков (*Halopanaerobium*, *Haloincola*, *Halobacteroides*), вторичных анаэробов — гомоацетатных бактерий (*Acetohalobium*)¹⁴. Все они принадлежат к одной ветви генеалогического древа (по 16s рРНК) с очень ранним ветвлением, и, следовательно, их функциональное положение в участке системы могло быть обусловлено дивергенцией.

Этот пример позволяет в общем виде сформулировать соотношение кооперативных и конкурентных процессов: кооперация в составе трофической системы сообщества обусловлена заполнением функциональных вакансий, приспособление к выигрышу внутри вакансии включает конкуренцию. Отсюда следует, что сообщество, внутри которого только и могут существовать организмы, формируется аддитивно¹⁵.

Среди функционально сходных

организмов выигрыш обусловлен главным образом кинетикой. Например, 2/3 метана в метаногенном сообществе образуются из ацетата. К ацетокластической реакции способны лишь два организма: быстро растущая *Methanosarcina*, обладающая низким сродством к субстрату, и медленно растущий *Methanotrix* с высоким сродством. Они сменяют друг друга в зависимости от концентрации субстрата, оказываясь монополистами каждый в своей области.

Выживание «наиболее приспособленных», составляющее суть Рынка, неизбежно ведет к монополизации, которой на самом деле не наблюдается: выживают все, кто может выжить, т. е. в действительности не происходит полного удаления конкурентов. Наиболее наглядным примером может служить принцип элективной («избирающей») среды С. Н. Виноградского, составляющий основу техники современной общей микробиологии и селекции мутантов. Более 100 лет назад С. Н. Виноградский для получения культуры организма, осуществляющего определенную функцию, ввел как принцип селективный отбор такого организма в среде, допускающей рост только его одного. Например, в среде, лишенной органических соединений, могут развиваться только хемосинтезирующие организмы. С. Н. Виноградский никогда не обсуждал общепризнанного значения этого принципа, хотя великолепно видел в нем реализацию универсального принципа отбора. Это можно заключить хотя бы из того, что во второй период своей деятельности он обратился от элективного принципа — мощного дедуктивного приема — к «прямым методам», обеспечивающим индуктивный подход. За столетнюю практику применения

¹⁴ Жилина Т. Н., Заварзин Г. А. Анаэробные бактерии деструкторы в галофильном цианобактериальном сообществе // Журн. общ. биологии. 1991. Т. 52. № 3. С. 302—318.

¹⁵ Эту общую закономерность признает даже П. Тейяр де Шарден: «...по крайней мере начиная с молекул, оно [развитие] продолжается путем сложения, в ходе все большего усложнения» (цит. соч., с. 50). Даже — потому, что его взгляд — это взгляд с вершины, а не от

основания: «...дойдя до крайней точки в своих анализах, они [физики и натуралисты] уже толком не знают, составляет ли постигаемая ими структура сущность изучаемой материи или же отражение их собственной мысли <...> Центр перспективы — человек, одновременно центр конструирования универсума» (цит. соч., с. 38).

элективная культура никогда не приводила к чистой культуре, а только к «накопительной» (Anreicherungskultur, как ее назвал другой классик микробиологии — М. Бейеринк). Более того, к чистой культуре не приводит даже хемостат, где действуют не только благоприятные условия для роста, но и элиминация всех медленнее растущих. Тем не менее элективные условия позволяют выделить не один вид, а некое сообщество с существенным доминированием «эдификатора», как его назвал бы В. Н. Сукачев.

Монополизация ведет к неустойчивости системы, кризисам, подобно раку, представляющему безудержное размножение одного сорта клеток (как банков в современной России). Получается цепочка: конкуренция — монополизация — неустойчивость — катастрофа. Устойчивость наблюдается при кооперации. Именно к ней оказался вынужден обратиться Н. Н. Моисеев в своем анализе эволюции, хотя это противоречит его исходным положениям. «Единство Вселенной» — тавтология, коль скоро речь идет о системе. «Саморазвитие» — другое дело. Суть понимания саморазвития заключается в иерархии систем. Иерархия пространства логических возможностей строится сверху вниз: биосфера на каждом этапе своего бытия определяет возможности существования входящего в нее определенного множества экосистем и не допускает возможности реализации тех из них, которые не согласуются с общей системой биосферы. В экосистеме точно так же предопределены логические возможности входящих в нее компонентов, но не пути реализации, которые могут быть различными.

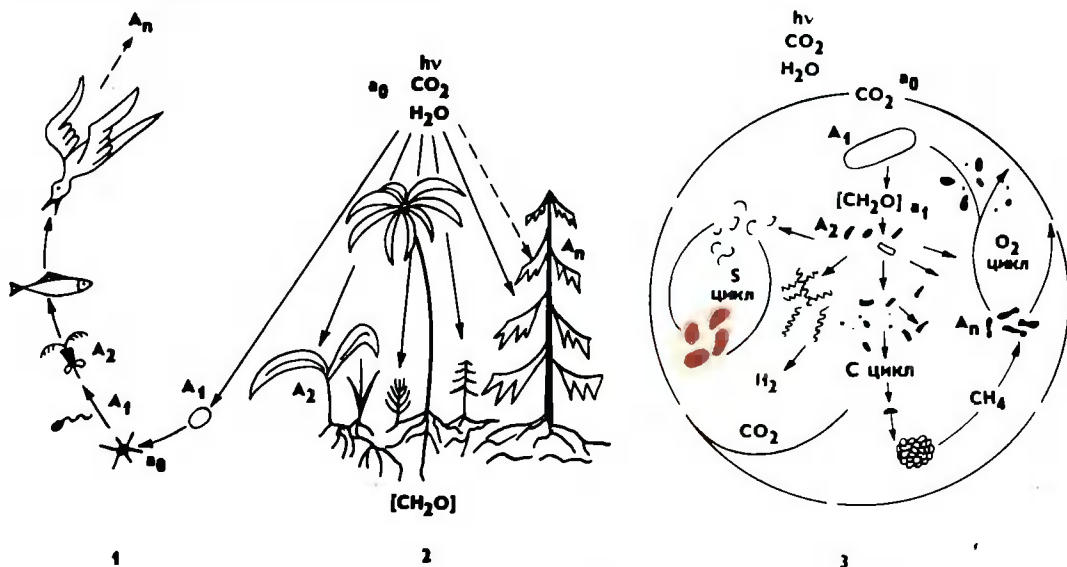
Это понимание прямо противоположно редукционизму и не исключает случайного, а лишь ограничивает его. В то же время это понимание отлично от эволюции как сборки в систему произвольного множества независимо изменяющихся элементов. **Частное не может существовать вне общего** — вот простейшая подоплека анти-Рыночной логики природы.

МИКРОБНОЕ СООБЩЕСТВО В БИОСФЕРЕ

Выживание сообщества возможно лишь в том случае, если его деятельность в течение достаточно продолжительного времени не приводит к нарушению внешних условий. Иначе это ведет к сукцессии, последовательной смене стадий в развитии. Нечто подобное наблюдается в истории Земли, которую можно сопоставить с термодинамически ориентированной сукцессией. Устойчивость определяется сбалансированностью процессов, в первую очередь их цикличностью. Бернер назвал этот принцип иерархической организации «циклы в циклах».

Сбалансированность достигается прежде всего углеродным циклом. Для того, чтобы его описать в математических моделях, используются системы из тысячи уравнений. Природе эта задача не под силу, и баланс углеродного цикла достигается гораздо более простым приемом: **потенциальная деструкция должна превосходить актуальную продукцию**. Примером могут служить тропические экосистемы, где опад многократно превышает подстилку. Следовательно, деструкция, в основном микробная или же опосредованная через симбиотическое сообщество пищеварительного тракта животных, балансирует продукцию. В отношении потенциальной способности к деструкции существенно, что микробы обладают достаточной скоростью размножения, чтобы обусловить разложение поступившего материала после соответствующей фазы задержки. Если же размножение микроорганизмов каким-либо способом блокировано, то происходит накопление органического вещества, как, например, в тундре, где подстилка многократно превышает ежегодный опад. Такие экосистемы плохо компенсируются в глобальном цикле углерода и могут служить в нем резервуарами (и, соответственно, источниками кислорода), пока не попадают в геологический цикл.

Сбалансированный цикл может существовать лишь в трофически орга-



Трофические взаимодействия в мире животных, растений, микробов. Если обозначить буквой a пищу, A — организм, то разные тенденции в трофических взаимоотношениях животных, растений и микробов могут выглядеть так:

1. $a_0 \rightarrow A_1 \rightarrow A_2 \rightarrow \dots \rightarrow A_n$ — пищевая цепь (пирамида) у животных.

2. $a_0 \rightarrow \begin{matrix} A_1 \\ A_2 \\ A_n \end{matrix}$ конкуренция за свет, воду, минеральные элементы у растений.

3. $a_0 \rightarrow A_1 \rightarrow a_1 \rightarrow A_2 \rightarrow a_2 \dots a_{n-1} \rightarrow A_n \rightarrow a_n$ — кооперация в микробном сообществе. При этом a_0, a_n обеспечивает замкнутость цикла и, следовательно, устойчивость сообщества в экосистеме.

Кооперативное микробное сообщество было первоначальным и обеспечило устойчивость биосферы. Растительный и животный мир встроились в систему, созданную микроорганизмами в биосфере. Поэтому тривиальное восприятие живого мира и биосферы в целом на подсознательной основе «животные и растения» — ложно.

низованном сообществе, которое создается кооперированной деятельностью разнородных организмов и подчиняется, как в целом, так и в частях, термодинамической необходимости. Микробное сообщество тесно связано в своей деятельности с литосферой, оно служит мощным фактором геохимических преобразований, катализируя

переход системы в поле термодинамической устойчивости минералов при данных условиях. Цианобактерии были первым мощным агентом, который вывел биосферу из ее земной замкнутости и приобщил к внеземной энергии Солнца. Цианобактериальное сообщество было прототипом всех остальных биогеохимических систем, модифицировавших принципиальную схему количественно, дополнивших ее деталями (например, скелетообразованием, выносом фотосинтезирующего аппарата в атмосферу), но не изменивших ее сути. Микробная система, дополняя единую фотосинтетическую продукцию эвкариотных водорослей и зеленых растений, сочетает углеродный цикл с циклами других элементов.

Коридор необходимости, определяемый термодинамикой, оставляет функциональным группам живых существ позиции узлов в транспортной сети потоков веществ. Случайность загоняет живые существа в эти узлы, обеспечивая им выживание в рамках системы сообщества, а не в силу их собственных достоинств. Это и есть простейшее представление об «ортогенетических» тенденциях в построении сообщества.

Микробное сообщество становится устойчивым при достижении минимального разнообразия функциональных позиций — и это мы часто наблюдаем в экстремальных местах обитания. Напротив, максимальное разнообразие «на организменном уровне ограничено пространством логических возможностей, в котором осуществляется реализация генотипов из всего множества возможных генных комбинаций»¹⁶.

До сего времени, несмотря на успехи в лаборатории, остается неясным, насколько широко распространен в природе обмен генетической информацией между прокариотами, который представляется логической необходимостью для объяснения их разнообразия¹⁷. По-видимому, особенно благоприятны для этого плотные популяции — такие, как бентосные сообщества и цианобактериальные маты. Ключевая роль общей микробиологии в изучении глобальных биосферных процессов, которым подчинена эволюция, очевидна. Очевидна и внутренняя ограниченность попыток представить себе ход эволюции, если подсознательно основываться лишь на «растениях и животных», — они составляют лишь поверхностный слой на том, что задолго до них было сформировано микроорганизмами. Можно ли понять поздние этапы эволюции, не представляя себе ранних? Взаимодействие с геохимической средой у бактерий несоизмеримо более тесное, чем у высших организмов. Кооперативные взаимодействия в микробном сообществе выражены гораздо сильнее, чем это допускают, работая с чистыми культурами бактерий, физиолого-био-

геохимическое и молекулярное поколение исследователей. Отсюда и недостаточный психологический базис многих мировоззренческих построений в естествознании.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Среди естествоиспытателей сейчас наметился явный поворот от редукционизма к холизму, так как старые общие схемы перестали соответствовать новому представлению о картине мира как иерархической системе. Течение это можно было бы назвать «иерархический холизм», поскольку оно подразумевает, что на каждом уровне действуют свои системные закономерности и для понимания механизмов действия целого необходим редукционистский подход к предшествующему уровню. Внимание перемещается от происхождения видов к возникновению их устойчивой комбинации в сообществе. Порядок приоритетов в эволюционных построениях меняется к обратной последовательности: микробы — растения — животные (ранее, как известно, было наоборот).

Важным дополнением к старой картине развития Земли стали представления о докембрийской биосфере, основанные на данных палеонтологии, биогеохимии, микробиологии. Место генеалогических древ заняла трофическая пирамида, в основании которой лежат прокариоты, полностью контролирующие биогеохимические циклы.

Саморазвитие происходило внутри этой пирамиды с появлением все новых возможностей. В уже сложившиеся системы включались новые, подобно тому, как целлюлозоразлагающее микробное сообщество включилось в пищеварение травоядных и ксилофагов. Сообщества эволюционировали аддитивно, а не путем дивергенции. При этом возможно комбинаторное перераспределение свойств между компонентами сообществ.

Таким образом, кооперация лежит в основе трофической пирамиды сообществ, а конкуренция служит механизмом тонкой регуляции в системе.

¹⁶ Емельянов И. Г. Разнообразие и устойчивость биосистем // Успехи совр. биологии. 1994. № 114. С. 311.

¹⁷ Kellenberger E. Genetic ecology: a new interdisciplinary science, fundamental for evolution, biodiversity and biosafety evaluations // *Experientia*. 1994. V. 50. P. 429—437; Cohan F. M. The effects of rare but promiscuous genetic exchange on evolutionary divergence in Prokaryotes // *The American Naturalist*. 1994. V. 143. № 6. P. 965—986.

Растущий Байкал

Б. П. Агафонов,
доктор географических наук

Институт земной коры СО РАН

Иркутск

ОБЫЧНАЯ судьба озер — постепенное заиливание, старение и превращение в болота, а затем в заболоченные, все более осушающиеся низины.

По-иному развивается оз. Байкал, несмотря на древность, сохраняющее «молодой» облик. Это не удивительно, поскольку, согласно современным представлениям, котловина озера расположена почти в середине Байкальского рифта, борта которого постепенно расходятся из-за растяжения земной коры.

К сожалению, непосредственных измерений проседания дна, разрушения подводных склонов и раздвижения бортов впадины пока не проводится. Однако имеются косвенные фактические материалы, свидетельствующие о разрастании озера. Прежде всего — это явное увеличение водного зеркала Байкала из-за размыва берегов. Автор статьи с 1969 г. наблюдает за этим процессом по всему периметру озера. Подсчитано, что размывается 89 % общей длины его береговой линии (2077 км) и только на 11 % ее протяженности берега нарастают.

Основные аккумулятивные береговые образования, такие как о-в Ярки, косы Посольского сора и другие, после подъема уровня озера плотной Иркутской

ГЭС продолжают интенсивно размываться.

По нашим расчетам, 656 км размываемых берегов приходится на интенсивно разрушаемые уступы в аккумулятивных террасах и продолжающих их шлейфах, 592 км — на эпизодически размываемые шлейфы, подтапливаемые в годы высоких уровней озера. Однако довольно значительную величину — 379 км — составляют относительно устойчивые к размыву скальные обрывы. Большая их часть (75 % длины) располагается на северо-западном побережье.

Аккумулятивные террасы и шлейфы в различных точках побережья за период 1969—1988 гг. в среднем отступали на 0.11—62.17 см в год. Однако на фоне средних величин размыва наблюдаются периоды активизации этого процесса или его полного прекращения. Иногда же береговые уступы даже выдвигаются в сторону озера, что связано с гравитационными процессами, разуплотнением грунтов, образованием трещин.

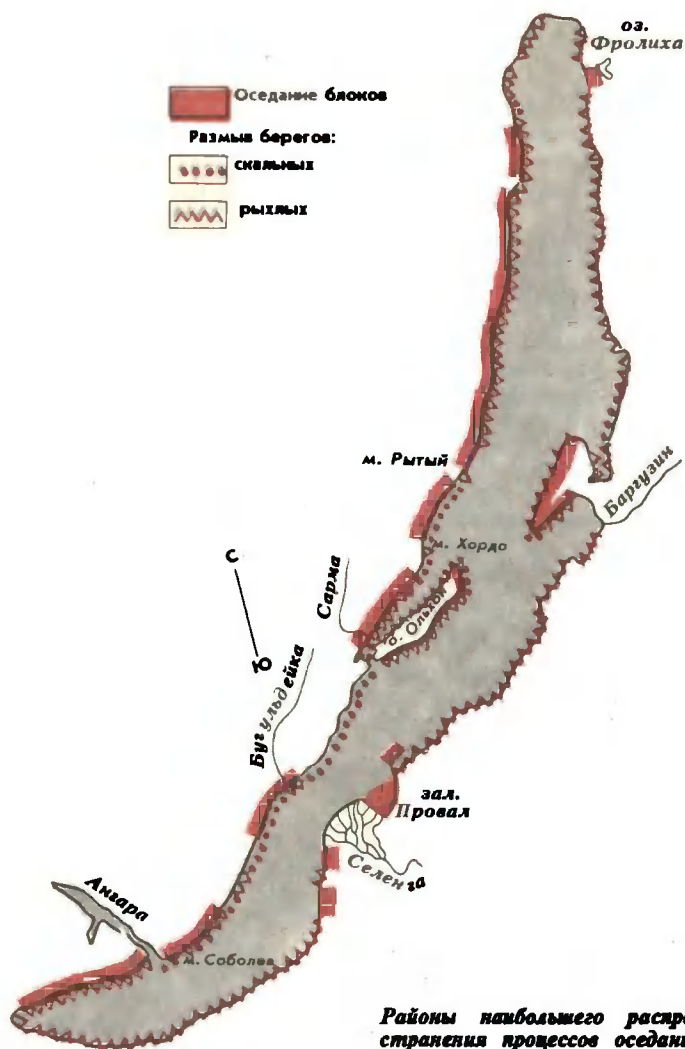
Если учитывать длину размываемых берегов и скорость их отступления на разных участках, получается, что за весь период наблюдений (1969—1988) в среднем за год зеркало озера увеличивалось более чем на 194 тыс. м² (143 тыс. м² примыкали к юго-восточному, 51 тыс. м² к северо-западному побережью Байкала). Неравномер-

но разрасталась поверхность озера по котловинам: северная — увеличивалась на 69 тыс. м², средняя — на 49 тыс. м², а наименьшая по площади южная — на 76 тыс. м².

Асимметрия размыва берегов Байкала наиболее резко выражена в южной и северной котловинах. В первой быстрее разрушается юго-восточный берег, во второй — северо-западный.

Следующий очевидный процесс разрастания и постоянного омоложения Байкала — разрушение бортов впадины под воздействием тектонических, сейсмических и гравитационного факторов. Анализ строения склонов впадины показал, что они на значительных протяжениях по всей высоте полностью раздроблены серией субпараллельных сбросов. При растяжении приповерхностных частей земной коры местами проседают ее плитчатые блоки-пластины (особенно во время катастрофических землетрясений). Грандиозные структуры проседания (оседания) встречаются на юго-восточных склонах Приморского и Байкальского хребтов в районах мысов Ядыртуй, Рытый, Шартла, Средний Кедровый, южнее р. Ледяной.

В Байкальской впадине можно наблюдать и множество более мелких блоков, осевших или съехавших вниз по склонам, а также «отсевших» от основного массива.



Районы наибольшего распространения процессов оседания блоков пород и размыва берегов Байкала.

Основные выявленные к настоящему времени районы распространения оседающих и отседающих блоков пород сосредоточены вдоль Обручевского сброса, т. е. на северо-западном борту Байкальской впадины. На противоположном побережье озера подобные явления ярко выражены в губе Ая, на п-ве Святой Нос и в районе дельты Селенги.

Самый яркий пример оседания блоков коры при землетрясении — образова-

ние залива Провал, его длина — 20 км, ширина — до 14 км, глубина — до 6 м, площадь — 185 км². Он возник в районе дельты Селенги, на месте Цаганской степи, при 10-балльном Цаганском землетрясении 12 января 1862 г.

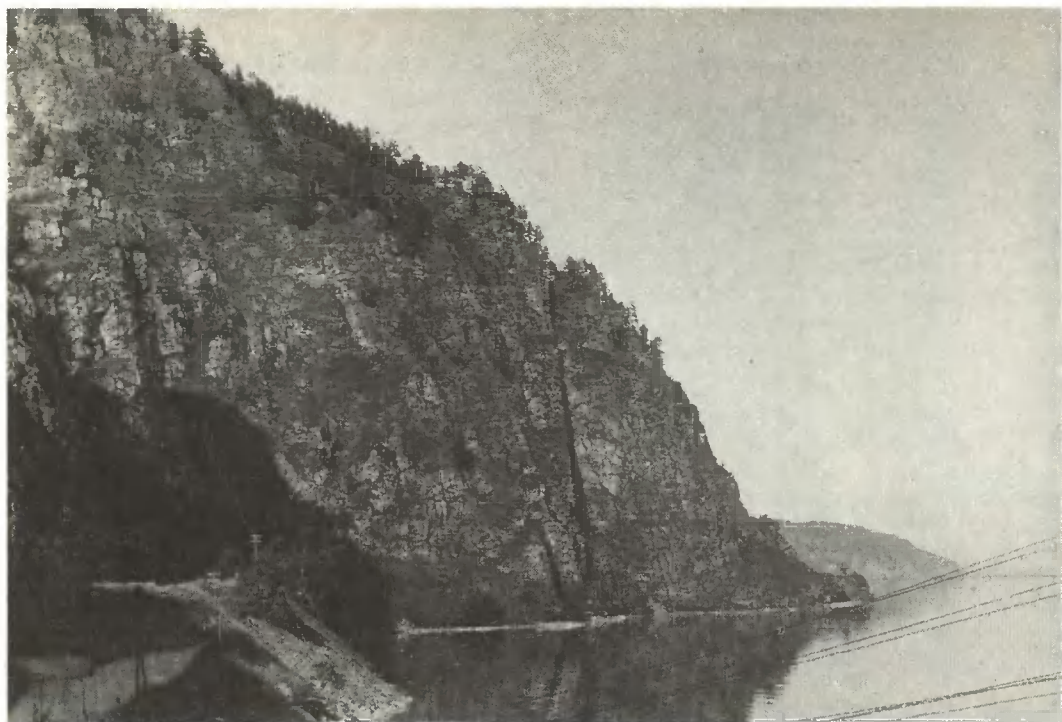
В результате водное зеркало Байкала разом возросло на величину в 952 раза большую, чем от размыва берегов в среднем за год.

С противоположной,

юго-западной стороны дельты Селенги морфологическими и геологическими аналогами залива Провал являются Посольский и Истокский (залив Сор-Черкапово) соры. Площадь первого из них — 35 км², второго — 37 км². Посольский сор, по данным А. А. Rogozina, образован 500—600 лет назад. Получается, что за 600 лет площадь водного зеркала Байкала только в районе дельты Селенги приросла за счет образования заливов Провала и Посольского на 220 км², а если учитывать и Истокский сор, сформировавшийся скорее всего в пределах этого же промежутка времени, то и на 257 км².

С учетом приведенной ранее составляющей размыва берегов, среднегодовая скорость увеличения площади Байкала равна 560 тыс. м², или (с Истокским сором) 623 тыс. м². Это довольно внушительные величины.

За этот же 600-летний период под уровень Байкала просели многие скальные блоки, особенно вдоль северо-западного побережья, где на поверхности широко распространены структуры проседания (в районах р. Сармы, мысов Сопонцовых, Среднего Кедрового). Со всем свежими соскальзывающие пластинчатые блоки наблюдались в 4 км севернее м. Хордо на крутом, сложенном ступенями тектоническом склоне, подмываемом в основании водой Байкала. Фронтальная ступень почти полностью сползла в озеро. Остались лишь ее фрагменты в виде полоски-приступки шириной от десятков сантиметров до 3—4 м. Наиболее крупный оползающий к озеру блок длиной около 150 м, шириной (по простиранию склона) 250 м, толщиной не



Оседающий блок скальных пород восточнее м. Хабартуй. По высоте деревьев можно ориентировочно оценить, что блок сместился не менее чем на 40 м. Почти вертикальная плоскость смещения продолжается под водой Байкала.

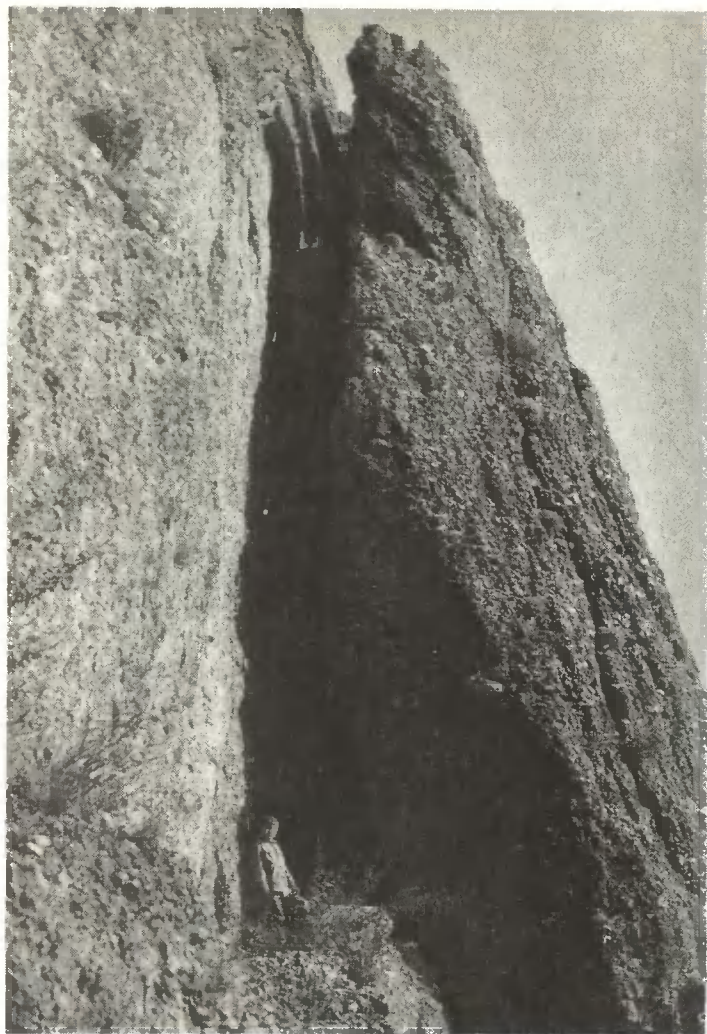
менее 25—30 м захватил две ступени — переднюю и следующую за ней. Наличие ступеней в верхней части склона и за его бровкой свидетельствует о том, что подвижки пластин-блоков, особенно вблизи озера, происходят и ныне по мере подрезки прибоем волн прибрежных блоков. Это способствует срывам сильно трещиноватых пород в виде оползней. Во время катастрофических землетрясений наводные и подводные оползни могут трансформироваться в мощные обвалы и сразу увеличить площадь водного зеркала озера на несколько тысяч квадратных метров.

Раздвижение бортов

впадины из-за тектонического растяжения земной коры также наращивает водное зеркало Байкала и обуславливает сохранение его молодых черт. Каких-либо замеров и точных данных о скорости этого процесса не имеется. Но судя по приблизительным оценкам геофизиков, основанным на рассчитанных величинах общего растяжения земной коры в районе Байкала, она не превышает 1 мм в год. При такой скорости, длине Байкала 636 км, средней глубине 731 м площадь его водного зеркала в среднем за год прирастает примерно на 600 м², а объем водного тела на 400 тыс. м³. Несмотря на то, что многие наиболее протяженные аккумулятивные берега (о-в Ярки, Посольские косы и др.) размываются, происходят и локальные аккумулятивные выдвигания отдельных участков некоторых мысов и у устьев притоков.

Кроме того, на днище озерной котловины, по нашим данным, в среднем накапливается около 0.12 мм осадков в год. И это накопление компенсируется (и с изрядным избытком) проседаниями блоков на дне озера. О значительной интенсивности этого процесса свидетельствуют выявляемые при непрерывном сейсмопрофилировании линейно вытянутые уступы на поверхности донных отложений, ущельевидные углубления и рвы у подножий подводных склонов.

Прямое доказательство проседания дна впадины получено при повторных промерах глубин, выполненных Б. Ф. Лутом и А. А. Рогозиным в районе впадения р. Энхэлук (севернее м. Облом), в области 9-балльного Среднебайкальского землетрясения, случившегося 29 августа 1959 г. Наряду с оползшей по склону 25—30-метровой



Отседающий блок в юрских конгломератах. Скала Чаячий утес к северо-востоку от м. Соболева.

толщей ила промерами зафиксировано увеличение глубин на выровненном дне котловины на 10—15 м. Объем озерной котловины при этом землетрясении возрос не менее, чем на 200 млн. м³. Для его компенсации современным осадконакоплением, равным, по нашим данным, около 5270 тыс. м³, требуется 38 лет.

Подобным образом увеличивался объем котловины Байкала при возникновении уже упоминавшихся провалов в воду участков суши в районе дельты Селенги. Преобладающие глубины залива Провал достигают не менее 4 м. При площади водного зеркала 185 км² объем Провала составляет примерно 740 млн. м³. Подсчеты для близких по площади Посольского и Истокского соров позволили оценить их объемы приблизительно по 350 млн. м³ каждый. В резуль-

тате только этих, выявленных всего в одном районе, провалов объем озерной котловины возрос на 1640 млн. м³. Одновременно медленное проваливание блоков происходило и на многих других участках дна впадины, и в целом этот процесс составляет внушительную величину в разрастании Байкала, по всей вероятности, превосходящую современную скорость осадконакопления.

По новейшим геофизическим данным, мощность рыхлых отложений в Байкале достигает 7.5 км. Давление такой толщи, оказываемое на 1 см² площади коренного основания, в сумме с массой воды озера составляет более 1600 кг (16000 т/м²). Этой колоссальной силы вполне достаточно для раздавливания монолитов отдельных разновидностей гранитоидов Прибайкалья, временное сопротивление сжатию которых не превышает 1000—1300 кг/см².

Рассмотренные процессы развития Байкала грандиозны, но они не имели бы такого мощного значения в сохранении, возрастании и непрерывном омолаживании его облика, если бы не были связаны в постепенно сложившуюся взаимосодействующую систему. В процессе эволюции озера, когда заполнение впадины осадочной и водной массой достигло определенной величины, вес этой массы стал активно способствовать дальнейшему проваливанию блоков на днище и на подводных склонах. Этому благоприятствует раздвигание впадины и одновременные субгоризонтальные сдвиговые смещения по разломам, ослабляющие «зжатость» с боков отдельных блоков в коренном основании. Все это не

могло не усилить сейсмичность, в свою очередь активизирующую разрушение склонов и поступление наносов в озеро, что еще более интенсифицировало проседание блоков на днище и бортах впадины. Скалывание с бортов впадины блоков пород, обваливание и оползание скальных и осадочных толщ сужает шельф. Рыхлый материал не задерживается на нем, т. е. создается дефицит наносов, в результате чего размыв берегов почти по всему периметру Байкала усиливается. В свою очередь, разрастание озера за счет отступления берегов и разрушения бортов впадины способствует дальности разгона и соответственно формированию более высоких волн, что вызывает усиление размыва побережий и прибрежных мелководий. Таким образом идет своеобразная цепная реакция саморазвития озера, ставшая существенным фактором его устойчивости.

В заключение обратим внимание, что в статье проанализированы процессы разрастания и сохранения облика Байкала на протяжении последних 600 лет.

Можно предполагать, что в предыдущие времена оно разрасталось еще более интенсивно, например, во время опускания и затопливания суши на месте современного Малого моря, Чивыркуйского залива и ряда участков. Вместе с тем сохранились и признаки интенсивного зарастания озера мощными конусами выноса древних селевых паводков, остатки которых в настоящее время активно размываются. Яркий пример такой формы — конус выноса на продолжении пади Озерко. По нашим измерениям, с 1970 г. со стороны Байкала он размывается по всему побережью со среднегодовой скоростью от 3.89 до 9.64 см на разных его участках. Подобных размываемых остатков встречается довольно много. В настоящее время в тех районах, где они обнаружены, случаются редкие селевые паводки, но энергии их явно недостаточно для формирования таких мощных, наспигованных крупными валунами аккумулятивных форм.

Процессы былого бурного формирования этих структур вероятно связаны

с периодами обильного увлажнения и одновременного таяния ледников в горах. К тому же склоны гор в то время были моложе и круче, что благоприятствовало сходу с них частых и мощных селевых потоков. Случались периоды как более высокого, так и низкого стояния уровня воды в озере, о чем свидетельствуют выдержанные на значительных расстояниях одновысотные озерные террасы, а значит, возрастал или уменьшался объем воды в Байкале. Одно из резких понижений уровня водного зеркала могло произойти при прорыве озерных вод в прорезь истока Ангары. Но в целом сохранялась тенденция его непрерывного разрастания, непрекращающегося омоложения, которая продолжается и в настоящее время.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (номер проекта 94—05—16037 а).

КОРОТКО

В ежегодном докладе Министерства энергетики США о перспективах использования энергоресурсов содержится прогноз, сделанный на основе различных компьютерных моделей, согласно которому импорт нефти и в XXI в. будет

по-прежнему возрастать. Хотя эффективность использования энергоресурсов постоянно повышается и расширяется применение природного газа и других источников энергии, чистый импорт нефти к 2010 г. достигнет 60 % ее внутреннего потребления. Ожидается, что потребление энергии в США возрастет к 2010 г.

по сравнению с 1992 г. на 23 %. И это — несмотря на технологические достижения и растущую экономическую энергоресурсов в промышленности и коммунальном хозяйстве.

Бюллетень центра общественной информации по атомной энергии. 1994. № 4. С. 57 (Россия).

Лунные горные породы

М. И. Корина



Мария Игоревна Корина более 15 лет проработала петрографом в лаборатории сравнительной планетологии Института геохимии и аналитической химии им. В. И. Вернадского. Область научных интересов — петрография и геохимия лунных пород и метеоритов.

НА СТРАНИЦАХ «Природы» неоднократно публиковались работы о внутреннем строении и гипотезах происхождения Луны¹. В этой же статье будет рассмотрено лунное вещество, особенности его минерального состава, петрохимии и генезиса.

Как известно, образцы лунных пород были доставлены на Землю американскими космическими кораблями «Аполлон» и советскими автоматическими станциями «Луна» (табл. 1). Сейчас на Земле в общей сложности находится около 400 кг лунного вещества, включая и метеориты, найденные в Антарктиде. Для научных исследований использовано около трети этого количества, остальное законсервировано. Однако даже эта сравнительно небольшая масса материала обработана так тщательно и скрупулезно, как вряд ли какой из земных объектов.

В нашей стране практически все лунное вещество и по сей день хранится и изучается в лаборатории сравнительной планетологии Института геохимии им. В. И. Вернадского. Совместно со своими коллегами автором статьи в течение 15 лет исследовались сотни образцов всех типов пород, известных сейчас на Луне.

Накопленный за это время материал и многочисленные литературные данные о лунном веществе, позволяют составить некую целостную картину петрологии лунных пород, состава ее коры и планеты в целом.

© Корина М. И. Лунные горные породы.

¹ Земля и Луна // Природа. 1994. № 3. С. 3—47.

Таблица 1

Экспедиции, доставившие лунные образцы

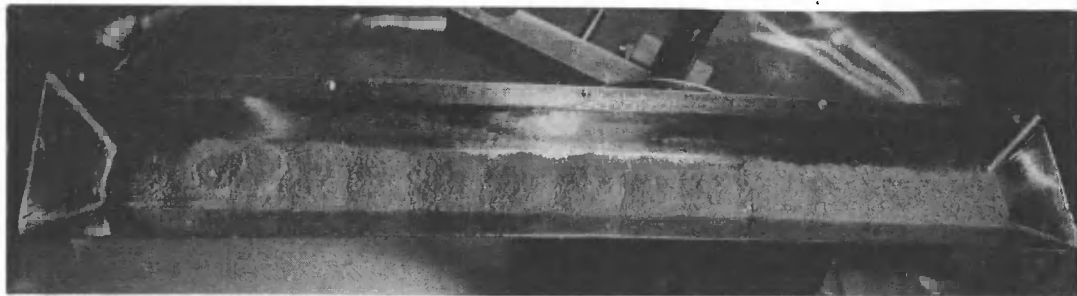
Экспедиция	Дата	Место посадки	Район	Вес (кг)
Аполлон-11	Июль 1969	Море Спокойствия, 0.7° с. ш., 23.5° в. д.	Море	21.7
Аполлон-12	Ноябрь 1969	Океан Бурь, 3.1° ю. ш., 23.2° з. д.	Море	34.4
Аполлон-14	Январь 1971	Район кратера Фра-Мауро, 3.4° ю. ш., 17.3° з. д.	Покров материковых выбросов	42.9
Аполлон-15	Июль 1971	Подножие горы Хэдли, 26.1° с. ш., 3.4° в. д.	Пограничный район между морем и материком	76.8
Аполлон-16	Апрель 1972	Плато Декарт, 8.6° ю. ш., 15.3° в. д.	Материк	94.7
Аполлон-17	Декабрь 1972	Долина Тавр-Литтров, 20.1° с. ш., 30.5° в. д.	Пограничный район между морем и материком	110.5
Луна-16	Сентябрь 1970	Море Изобилия, 0.7° с. ш., 56.3° в. д.	Море	0.1
Луна-20	Февраль 1972	Район кратера Амегино, 3.5° с. ш., 56.5° в. д.	Материк, перемычка между Морем Кризисов и Морем Изобилия	0.05
Луна-24	Август 1976	Море Кризисов, 12.45° с. ш., 62.12° в. д.	Море	0.17

Луна как планета сформировалась около 4.6 млрд. лет назад, примерно одновременно с Землей. Но в отличие от Земли ее внутренняя эндогенная жизнь была очень недолгой, фактически она ограничилась излиянием морских базальтов 3.2 млрд. лет назад. Луна после этого как бы законсервировалась. Отсутствие атмосферы и воды свело на нет процессы выветривания. Преобразование вещества на поверхности за последние 3.7 млрд. лет определилось появлением маломощного (максимум 10—20 м) чехла рыхлого обломочного материала, сформировавшегося под воздействием метеоритных ударов, солнечного ветра и космических лучей. В целом это весьма незначительно изменило картину, сложившуюся в период первого миллиарда лет жизни Луны. Такая ситуация открывает широкие возможности для исследования вещества планеты, как бы замершей на ранней стадии развития, по-видимому, во многом аналогичной ранним стадиям жизни и других планет земной группы.

Все доставленное на Землю лун-

ное вещество — это реголит, который представляет собой смесь пород и минералов разного размера, переброшенных разномасштабными ударными событиями на разные расстояния с различных глубин. Поэтому указать конкретную геологическую ситуацию образования породы каждого образца можно только путем теоретических построений. Однако как раз то, что в каждой пробе лунного грунта намешан материал «отовсюду», и дает возможность при ограниченном числе мест отбора судить о веществе приповерхностной части всей Луны.

Сразу следует заметить, что лунное вещество не является чем-то экзотическим, в главных чертах оно сходно с базальтами Земли. Это факт принципиальной важности, поскольку он показывает, что Земля не уникальна. Однако химически лунные породы обладают характерными отличиями от земных. Во-первых, это заметная обедненность летучими элементами (Na, K, Rb, Hg и др.) и водой; во-вторых, восстановленный характер пород, сказывающийся в практически полном



Лунный реголит на приемном лотке в гелиевой камере.

отсутствии Fe^{3+} и высоком отношении $\text{Eu}^{2+}/\text{Eu}^{3+}$, что определяется, вероятно, существенно более низкой летучестью кислорода по сравнению с аналогичными земными породами.

Минералогия Луны скудна. Если на Земле известно более 3600 минералов, то на Луне описано примерно 100 минеральных фаз². Меньше и набор пород. В этом смысле петрология Луны проще, чем Земли. Однако структуры лунных пород в большинстве случаев сильно отличаются от своих земных петрохимических аналогов, что создает трудности с классификацией и номенклатурой.

Все лунные образцы доставлены на Землю из двух принципиально

различных геологических провинций — материков и морей. Материковые породы составляют примерно 98 % лунной коры, занимая около 80 % площади, куда входит фактически вся оборотная сторона. Морские базальты составляют около 17 % поверхности Луны, или 2 % объема коры³.

МАТЕРИКОВЫЕ ПОРОДЫ

Материковые породы представляют собой брекчии, появившиеся до излияния морских базальтов. Материковое вещество древнее. Абсолютные возрасты фрагментов пород укладываются в интервал 3.8—4.6 млрд. лет, следовательно, эти породы образовались на самом раннем этапе жизни Луны. По минеральному и химическому составу они делятся на породы

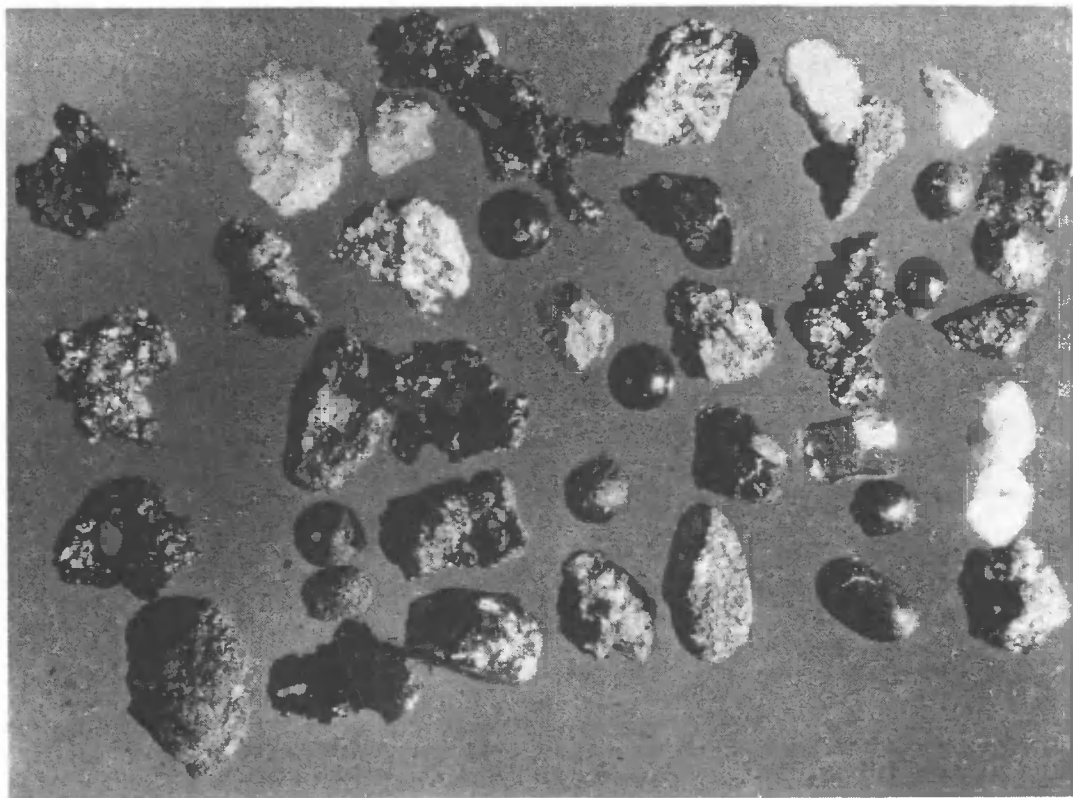
² Фрондел Дж. Минералогия Луны. М., 1978.

³ Очерки сравнительной планетологии. М., 1981.

Таблица 2

Средние составы материковых пород

Компоненты	Породы серий АНТ				Неморские базальты Фра-Мауро		
	Анортозиты	Норитовые и троктолитовые анортозиты, габброанортозиты	Анортозитовые нориты и троктолиты	Шпинелевые троктолиты	Низкокальциевые	Среднекальциевые	Высококальциевые
SiO_2	44.5	44.6	45.3	43.5	46.4	50.21	50.22
TiO_2	0.06	0.32	0.42	0.17	0.64	1.91	0.90
Al_2O_3	33.2	29.7	24.6	22.7	19.5	16.06	21.38
Cr_2O_3	0.02	0.07	0.13	0.11	0.20	0.23	0.07
FeO	1.41	3.4	5.5	4.9	8.6	10.05	6.01
MnO	0.02	0.05	0.09	0.07	0.12	—	—
MgO	1.67	4.3	8.6	14.7	10.9	9.56	6.84
CaO	18.3	16.8	14.4	13.1	12.6	9.75	11.80
Na_2O	0.35	0.46	0.41	0.39	0.42	0.75	1.04
K_2O	0.02	0.07	0.11	0.05	0.14	0.57	1.17
P_2O_5	0.03	0.07	0.09	0.04	0.11	—	—



Частицы лунного реголита из Моря Изобилия.
Ув. 30.

анортозит-норит-троктолитовой серии (АНТ) и неморские базальты (табл. 2). Первые преобладают, вторые имеют резко подчиненное распространение.

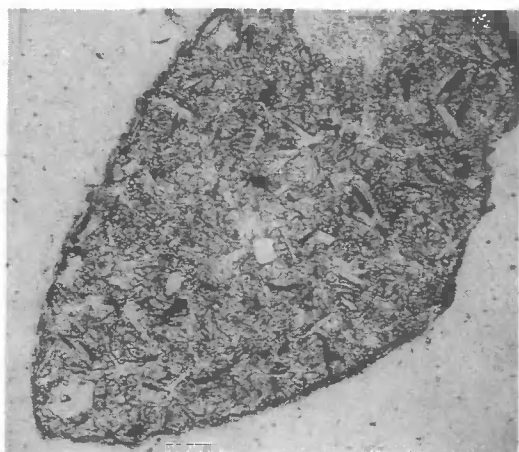
Главные породообразующие минералы на Луне — плагиоклаз, пироксен и оливин. Следует отметить, что в связи с дефицитом натрия и калия лунный плагиоклаз почти всегда имеет анортитовый состав и в материковых породах, как правило, содержится ромбический пироксен, с примесью кальция, тогда как в морских базальтах он просто отсутствует. Обычными аксессуарными (составляющими ничтожную часть пород, но важными во многих отношениях) минералами являются ильменит, шпинель, армолколит, металлическое железо, когенит и шрейберзит.

Было замечено, что материковые породы делятся по минеральному

составу на две группы: магнезиальную и ферроанортозитовую. Если в первой падение магнезиальности оливинов и пироксенов сопровождается увеличением доли кальция в плагиоклазе, то во второй группе падение магнезиальности темноцветных минералов идет на фоне почти постоянного содержания анорти-та⁴. Похожая картина наблюдается для минералогии расслоенного комплекса Стиллутер (Канада), а это, как считается, указывает на сходство механизмов образования пород.

С точки зрения петрографа, лунные анортозиты, нориты и троктолиты внешне имеют мало общего с земными породами близких составов. И дело тут не столько в их химии, сколько в структурах. Структуры мате-

⁴ Барсуков В. Л., Базилевский А. Т., Френкель М. Я., Забалуева Е. В. О возможных механизмах образования вещества планетных тел // Геохимия. 1988. № 2. С. 150—179.



Частица материкового корита. Ув. 60.



Морская брекчия. Ув. 60.

риковых пород сформировались в тяжелой обстановке длительной мощнейшей ударной переработки, которая вызвала дробление, плавление, перемешивание, а также последующие перекристаллизацию и отжиг вещества в горячих ударных выбросах. На Земле нечто подобное, но в несравненно меньших масштабах, наблюдается только в импактилах ударных кратеров; петрографически импактит — очень

слабый аналог лунной материковой породы, поскольку он — продукт одноактного и относительно не крупного ударного события. В связи с этим абсолютное большинство материковых образцов имеет брекчиевую структуру. Распространены структуры «брекчия» вплоть до четвертого порядка. Чаще всего брекчии полимиктны, содержат материал из разных источников. Обломки минералов разных размеров (от десятков и сотен микрометров до сантиметров) скреплены тонко перетертым веществом. Очень часто матрица брекчии представляет собой не просто измельченный, а частично или полностью переплавленный материал.

Особое свойство материкового вещества вообще — необычная ассоциация элементов: высокие содержания магния и хрома, с одной стороны, и высокие содержания алюминия и кальция, с другой. Необычность этой ассоциации состоит в том, что ее невозможно получить по классическим законам кристаллизационной дифференциации расплава основного состава (а в качестве недифференцированного первичного вещества Луны в любых разумных моделях принимается именно такой). Для достижения наблюдаемых концентраций (Ca+Al) и (Mg+Cr) необходим дополнительный механизм, кроме простой кристаллизационной дифференциации, например, гравитационное разделение минералов по плотности.

Другое свойство пород серии АНТ — положительная европиевая аномалия. Объясняется она тем, что в лунных условиях европий находится только в виде Eu^{2+} и в отличие от других редкоземельных элементов изоморфен с кальцием и входит в решетку плагиоклаза. При накоплении последнего в породе происходит и обогащение ее европием. Само же наличие европиевой аномалии означает, что породы материковой коры — не первичное вещество, а прошедший дифференциацию материал.

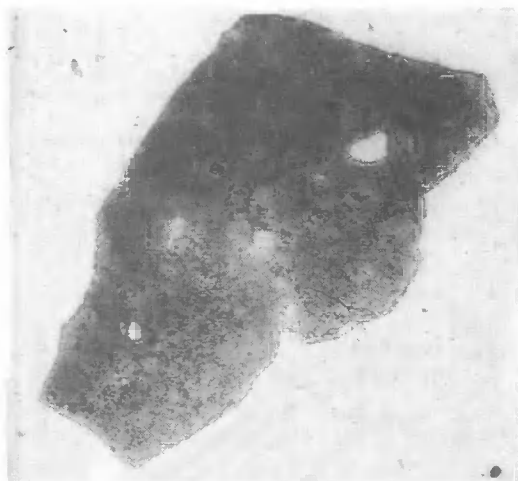
Кроме того, существует особенность в распределении сидерофильных элементов. По сравнению с метеорита-

ми материковые породы серии АНТ в целом обеднены никелем, кобальтом, иридием, рением, осмием и др. Предполагается, что сидерофилы были потеряны Луной до или во время аккреции или же сконцентрированы в ее ядре, но это маловероятно, так как, по имеющимся данным, если ядро и есть, то оно не превышает 2 % лунного объема⁵.

На фоне характерного для всей планеты обеднения летучими отмечается дефицит в материковых породах по сравнению с морскими таких летучих микроэлементов, как цинк, кадмий, германий, мышьяк, сурьма, серебро, золото, теллур и свинец. Изменения концентраций очень незакономерны. Содержание свинца в различных образцах может меняться в десятки раз. Однозначного мнения о причинах этого явления нет: оно может быть следствием фумарольной деятельности, загрязнения метеоритным веществом, конденсации элементов в ударных процессах. Не исключено также, что это следы вещества комет, столкнувшихся с Луной.

Другую, незначительную по распространенности, группу материковых пород составляют так называемые неморские базальты. Их принципиальная особенность — заметно повышенные содержания калия, фосфора, урана, тория, редкоземельных элементов, в связи с чем неморские базальты хорошо картируются γ -орбитальной съемкой. Именно такой съемкой было выявлено, что эти породы развиты в окраинных частях Моря Дождей и Океана Бурь, а также на оборотной стороне Луны в районе кратера Ван-де-Граф. Большая часть образцов неморских базальтов была доставлена космическим кораблем «Аполлон-14» из района Фра-Мауро.

Главные породообразующие минералы этой группы — плагиоклаз, пироксен, оливин и ильменит. Обогащенность базальтов редкими элемента-



Стекло базальтового состава. Ув. 60.

ми неизбежно отражается на минеральном составе. Для них богат набор аксессуарных фаз: витлокит, апатит, калиевый полевой шпат, шрейберзит, цирконолит, стекло кислого состава.

ПРОИСХОЖДЕНИЕ МАТЕРИКОВЫХ ПОРОД

Генезис материковых пород — один из самых важных моментов изучения Луны. По существу, это проблема образования лунной коры, поскольку около 98 % ее объема сложено веществом материкового типа.

Для Земли единственным корообразовательным процессом традиционно считался магматизм во всех своих проявлениях, т. е. эндогенное плавление недр. Однако исследования Луны показывают, что в то время, когда образовалось материковое вещество, главным геологическим процессом на Луне был ударный кратерообразующий процесс (хотя и наличие раннего эндогенного магматизма не может быть исключено). Впервые оценил ударный процесс как общегеологический наряду с магматизмом и метаморфизмом К. П. Флоренский⁶. Поскольку

⁵ Рингвуд А. Е. Происхождение Земли и Луны. М., 1982.

⁶ Флоренский К. П. О начальном этапе дифференциации вещества // Геология, 1965, № 8. С. 909—917.

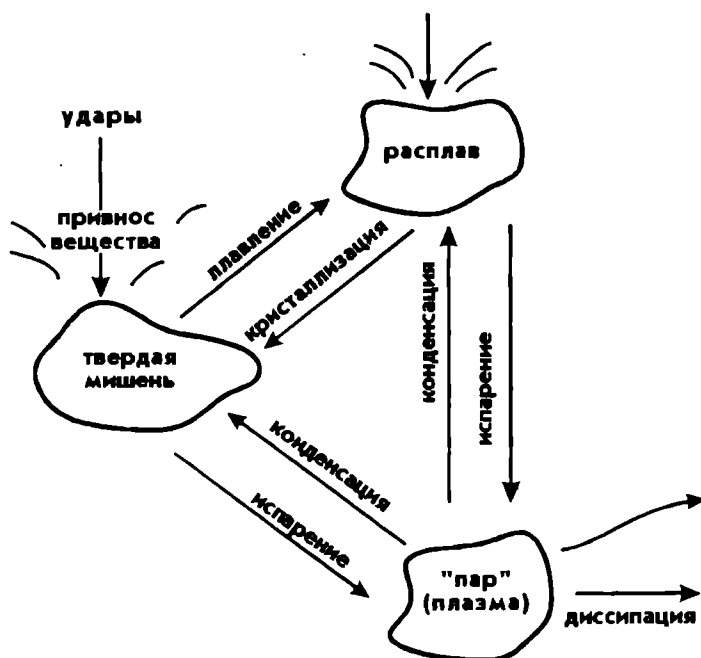


Схема процессов изменения вещества при ударе.

ударный процесс — экзогенный, это означает, что все изменения вещества (в том числе и плавление), им вызванные, развиваются с поверхности планетного тела внутрь (а не к поверхности, как в эндогенном). Независимо от природы (эндогенной или экзогенной — ударной) магматизм является одним из главных процессов образования коры Луны.

Положительная европиевая аномалия в АНТ породах (как следствие обогащения их плагиоклазом) и отрицательная — в морских базальтах свидетельствуют о ранней глобальной дифференциации вещества, наиболее ярко выразившейся в перемещении плагиоклаза в пространстве, а именно в накоплении его в поверхностной части. В качестве механизма, обеспечивающего этот процесс, была предложена флотация (всплывание) плагиоклаза в океане магмы, покрывавшем некогда всю поверхность Луны⁷. С этого

момента все петрологические исследования Луны проводились под эгидой «магматического океана». Гипотеза оказалась чрезвычайно удобной, потому что на качественном уровне хорошо объясняла основные черты материковых пород.

Вследствие подъема и накопления легкого анортита в магматическом резервуаре происходит их обогащение плагиоклазом (с европиевой аномалией). На дне же, наоборот, остаются тяжелые минералы — оливин, шпинель, ильменит, несколько выше пироксен. Смена минералогического состава по глубине создает таким образом весь ряд пород АНТ. Появление магнезиальной и ферроанортозитовой серий имеет ту же природу, что и в земных расслоенных интрузивах: магнезиальная соответствует нормальному ряду кристаллизации Боуэна, а ферроанортозитовая зависит от аккумуляции плагиоклаза. Одновременное накопление на поверхности $\text{Ca}+\text{Al}$ и $\text{Mg}+\text{Cr}$ может иметь различные, в общем не исключаяющие друг друга, причины. Обогащение анортозитового слоя магнезиальной компонентой происходит за счет

⁷ Wood J. A., Dickey J. S., Marvin U. B. et al. Lunar anorthosite and geophysical model of the moon // Proc. Lunar. Sci. Conf. Apollo-11. 1971. P. 965—988.

Таблица 3
Средние составы морских базальтов

Компоненты	Высокотитанистые			Низкотитанистые					
	Очень высоко-Тi	Низко-К («Аполлон-11», -17а)	Высоко-К	Оливиновые («Аполлон-12», -15а)	Пикситовые («Аполлон-12», -15а)	Ильменитовые («Аполлон-12а)	Полевошпатовые («Аполлон-12а)	Базальты («Луна-16а)	Базальты («Луна-24а)
SiO ₂	38.50	40.04	40.30	44.70	45.35	42.49	46.40	45.15	46.50
TiO ₂	12.65	10.98	11.88	2.77	2.45	4.62	2.25	3.64	0.93
Al ₂ O ₃	8.03	10.02	8.55	8.59	9.21	11.71	12.32	15.48	11.84
Cr ₂ O ₃	0.51	0.33	0.34	0.54	0.37	0.50	0.31	0.17	0.32
FeO	18.59	18.90	19.32	21.55	22.04	20.63	18.22	16.77	18.48
MnO	0.25	0.27	0.24	0.27	0.27	0.33	0.25	0.26	0.26
MgO	9.98	7.20	7.68	11.87	9.62	8.99	8.71	4.97	9.11
CaO	10.43	11.48	10.56	9.39	9.96	11.00	11.14	12.44	11.86
Na ₂ O	0.38	0.49	0.55	0.27	0.28	0.44	0.39	0.55	0.28
K ₂ O	0.067	0.068	0.30	0.056	0.029	0.063	0.105	0.22	0.04
P ₂ O ₅	0.056	0.12	0.18	0.092	0.081	0.033	0.088	0.126	0.037
FeO/MgO	0.722	1.261	1.123	1.816	2.291	2.294	2.092	3.378	2.029
Eu/Sm	0.204	0.178	0.158	0.230	0.278	0.229	0.221		0.432
C/Yb	2.24	3.12	5.76	3.96	5.39	3.63	4.12		4.28
Rb/Sr	0.003	0.005	0.045	0.011	0.008	0.015	0.013		0.013

захвата кумулятивным плагиоклазом основной по составу магмы и захоронения ее между кристаллами, добавки закалочной (основной по составу) корки, падения на поверхность остаточных планетезималей, богатых магнием и хромом.

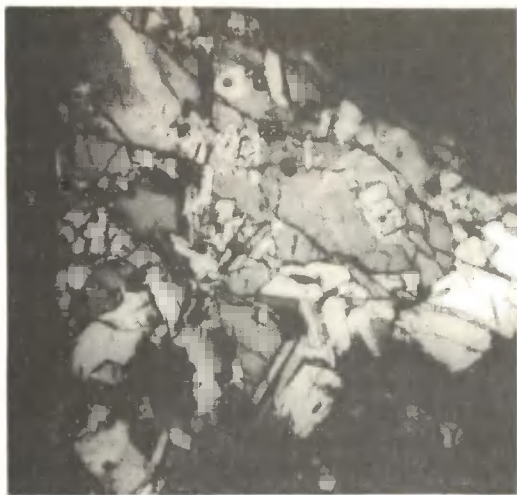
Вновь получаемые факты, не укладывающиеся в рамки этой простой гипотезы, подправляли, дополняли и усложняли ее, при этом, однако, сохраняя неизменной главную идею.

Казалось бы, магматическая гипотеза образования материковых пород Луны в варианте модели «морей» дает объяснение их петрохимии и частично химии микроэлементов, влияние же собственно ударного процесса проявляется главным образом в структурах — брекчированности, образовании ударного стекла, смешении обломков, т. е. выступает в роли вторичного фактора. Однако мощный ударный процесс обеспечивал не только большие объемы ударных расплавов, но приводил к изменению химии вещества и другими

путями: привнесом вещества «ударника», селективным испарением и конденсацией, диссипацией элементов и соединений.

МОРСКИЕ БАЗАЛЬТЫ

Фактически все эти породы сосредоточены на видимом полушарии. Большая часть лунных образцов доставлена на Землю из морских районов. Морские базальты делятся на два главных типа (табл. 3) — высокотитанистые (>8 мас.% TiO₂) и низкотитанистые (<6 мас.% TiO₂). Они отличаются друг от друга и возрастом: первые — более древние (3.6—3.8 млрд. лет), а вторые — моложе (3.2—3.5 млрд. лет). Главные породообразующие минералы также — пироксен, плагиоклаз и ильменит, причем последний — обычный минерал лунных пород, а в высокотитанистых базальтах его содержание достигает 25 %. На Земле базальты с таким количеством ильменита не встречаются. Содержание



Морские базальты различных составов. Слева направо: габбро (оливин — пироксен — плагиоклаз); долерит (пироксен — плагиоклаз). В скобках приведены главные породообразующие минералы. Ув. 60.

оливина редко превышает 10 %, поэтому формально его надо отнести к второстепенным минералам, однако, поскольку петрохимия базальтов в большей степени зависит от его фракционирования, оливин является принципиально важной фазой. Наиболее распространенные акцессорные минералы: шпинель, металлическое железо, кристобалит, тридимит, армоколлит, пироксферроит. Морские базальты обладают богатым набором петрографических структур: габбровыми, офитовыми, витрофировыми, интерсертальными.

В целом лунные базальты гораздо более мелкозернисты, чем земные. Так, породы с размером зерен около 1 мм считаются крупнозернистыми. Самые эффектные лунные образцы радуют глаз кристаллами длиной 3—5 мм. Но такие образцы, увы, чрезвычайно редки. Петрографические особенности морских базальтов однозначно указывают на их быструю кристаллизацию в поверхностных или близповерхностных условиях, что определяется достаточно быстрым подъемом магмы.

В отличие от материковых пород

морские базальты незначительно пострадали от ударной переработки, поскольку их массовые излияния происходили уже после резкого спада интенсивности бомбардировки поверхности. Эффекты ударного воздействия проявились в некотором дроблении зерен минералов, появлении планарных элементов в плагиоклазе и превращении его в диаплектовое стекло — маскелинит. Однако при этом первичные магматические структуры сохранились.

Несмотря на то, что устанавливаются достаточно отчетливые и достоверные генетические связи между отдельными типами базальтов, в настоящее время нет ни одной непротиворечивой модели их образования. Все петрологи единодушно считают, что они образовались в результате частичного плавления недр. Ясно также, что все базальтовые магмы прошли сложную историю развития: их составы определяются процессами частичного плавления, гравитационной дифференциации, гибридации⁶. Все это указывает на неоднородность внутренних частей Луны. Не вызывает сомнения,

⁶ Тэйлор С. Р., Якеш П. Геохимическая зональность и ранняя дифференциация Луны // Космохимия Луны и планет. М., 1975. С. 705—711.

что за появление базальтовых магм ответствен эндогенный разогрев, вызвавший морской вулканизм.

Совместно с базальтами рассматриваются обычно так называемые зеленые стекла «Аполлона-15» и оранжевые стекла «Аполлона-17». Считается, что это вулканические породы, которые образовались из магмы, поднявшейся с глубины примерно 400 км. Эти стекла имеют особо важное петрогенетическое значение, поскольку представляют собой крайне примитивные, т. е. наименее дифференцированные типы базальтовых магм.

В заключение хочется еще раз подчеркнуть: материковые породы (основные породы Луны) — продукты ранней дифференциации лунного вещества, произошедшей на заключительном этапе аккреции. Они образовались в результате одновременных сложных процессов магматической дифференциации и ударной переработки, тесно взаимосвязанных. По-видимому, аккреция подготовила такие геохимические особенности, как обеднение летучими компонентами и водой. Магматизм определил накопление в приповерхностной части плагиоклаза и появление двух

серий материковых пород, магнезиальной и ферроанортоситовой, а также излияние неморских базальтов. Локальные различия в родоначальных расплавах и условиях их кристаллизации обусловили неоднородность коры. Вероятно, по крайней мере для части пород, родительской магмой был расплав котектического состава оливин — пироксен — анортит. Ударные события сформировали внешний облик пород — превратили их в разнообразные брекчии. Кроме того, они сильно перемешали породы.

Как нам кажется, в свете имеющихся сегодня данных в целом мы понимаем, как образовались материковые породы Луны. Ясно, что невозможно создать точной всеобъемлющей модели, которая воспроизводила бы все свойства всех пород, да это и не нужно. Вероятно, дальнейшие усилия должны быть направлены на изучение отдельных геологических образований, подобно исследованиям земных геологических объектов. Кроме того, перспективно развитие моделирования корообразовательных процессов вообще — как магматических, так и ударных.

КОРОТКО

•

Обследуя больных, поступающих в пульмонологическое отделение в критическом состоянии, специалисты из Критского университета (Греция) обнаружили, что в их крови резко повышен уровень интерлейкина-6 (IL-6-цитокина, участвующего в иммунном ответе, по структуре близкого

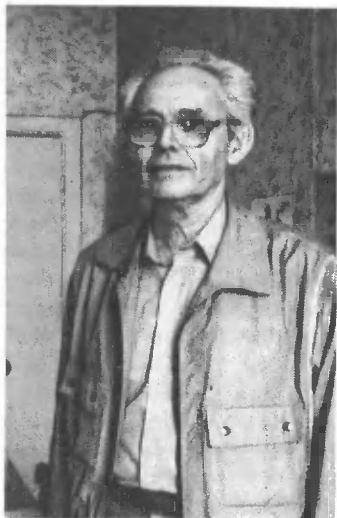
интерферону-β). Выяснилось, что острая дыхательная недостаточность развивалась в течение первых суток у тех больных, в крови которых уровень IL-6 был в 16 раз выше, чем у здоровых лиц; 80 % из них погибали. В группе пациентов, где смертность составляла 25 % и у которых острая дыхательная недоста-

точность не развивалась, содержание IL-6 было всего в 6 раз выше контрольного. Авторы предлагают использовать уровень IL-6 в крови как прогностический показатель тяжести состояния больного.

The European Respiratory Journal.
1994. V. 7. Suppl. 18. P. 6S
(Международный журнал).

Школа Ландау. Что я о ней думаю...

М. И. Каганов



Моисей Исаакович Каганов, доктор физико-математических наук. Работает в области квантовой теории твердого тела. Будучи ведущим научным сотрудником Института физических проблем им. П. Л. Капицы РАН, профессором МГУ и членом редколлегии "Природы", нередко публиковался в нашем журнале. С недавних пор живет в Бостоне (США)

СУЩЕСТВУЕТ ЛИ ШКОЛА ЛАНДАУ?

Представляю первое впечатление от такого заголовка... Обратите, пожалуйста, внимание на время глагола. Никто не может задать вопрос, существовала ли школа Ландау. Ее существование, ее огромная роль в науке нашей страны и, конечно, всего мира общепризнана. Школа Ландау стала достоянием истории науки.

Но существует ли школа Ландау сейчас? Легко понять, что напрашивающийся ответ: "Школы Ландау сейчас уже нет", — не заставил бы меня взяться за перо. Хочу попытаться доказать, что школа Ландау существует...

Историкам науки приходится пользоваться самыми разнообразными источниками. Некоторые из них как бы предназначены для этой цели: воспоминания, специально сохранные письма, обзоры, в ряде случаев написанные с целью восстановить приоритет и т. п. Другие приходится "откапывать". Их находят среди томов старых журналов, с огромным трудом выясняя, кто изображен на старых фотографиях; в архивах, часто приспособленных не сохранить для потомков, а спрятать необходимые материалы. Эта кропотливая работа осложняется тем, что редко участники научного процесса, занятые своим непосредственным делом (скажем высокопарно, добыванием истины), пишут о своем отношении к происходящим событиям. Признаться: во-первых, я верю, что школа Ландау — столь уникальный феномен,

что она станет предметом пристального изучения историками науки; во-вторых, я надеюсь, что написанное ниже будет им (историкам науки) полезно, хотя понимаю, что я не объективен: вид изнутри (или почти изнутри) отличается от вида со стороны¹.

В связи с откровенно личным характером этих записок хочу начать с объяснения, как они возникли.

...В конце 50-х — 60-е годы в Харькове, как и в других научных центрах, учились студенты китайцы. Некоторые из них избрали своей специальностью физику твердого тела. Они слушали мои лекции. Один из них, Юй Лу, был моим дипломником. Дипломником М. Я. Азбеля был Хао Байлинь. Потом наступил длинный перерыв, когда не только общаться с молодыми китайскими коллегами я не мог, но волновался, не принесут ли им неприятности совместные публикации в научных журналах. Должны были и у нас, и в Китае произойти поистине исторические события, чтобы совершенно изменилась обстановка, чтобы оказались возможными контакты. По приглашению Юй Лу я несколько раз был в Международном центре теоретической физики (Триест, Италия) — Юй Лу там занимает крупный научно-административный пост. А затем получил приглашение профессора Хао Байлиня посетить Институт теоретической физики АН Китая (он находится в Пекине, Хао Байлинь — его директор), выступить на семинарах в этом институте, в Пекинском и Нанкинском университетах. Общаясь с китайскими

коллегами, я понял, что их интересуют не только мои конкретные результаты, но и состояние теоретической физики сегодня в нашей стране.

Почувствовав этот интерес, я согласился (а если быть честным, скорее напросился) выступить с рассказом о современной российской теоретической физике. Я понимал, что подробно рассказать о российской теоретической физике с перечислением основных направлений, фамилий, успехов и неудач я не могу, и решил ограничиться рассказом о школе Ландау сегодня.

Думая о будущем выступлении, я понимал, что мне придется ограничиться общими словами, формулировать не столько конкретные теоретические результаты, сколько перечислять принципы и принятые в школе нормы поведения. И только на этом пути я буду иметь возможность рассказать о сегодняшнем состоянии российской теоретической физики, во всяком случае о той ее части, которая соответствует ответу на вопрос, существует ли школа Ландау.

Итак, был назначен день и час семинара в Институте теоретической физики, а я, в согласии с планом пребывания в Китае, поехал в Нанкин. Как и в Пекине, мне была предоставлена возможность осмотреть замечательные исторические памятники, выступить на семинаре, приобщиться к необычной (для нас) китайской кухне, пообщаться с коллегами (не без трудностей: мало кто знает русский язык). Все это довольно плотно занимало дни, но были вечера, и отсутствие собеседников привело к тому, что мысль о предстоящем выступлении в Пекине не выходила из головы. Чтобы не топтаться мысленно на месте, передумывая первые фразы, я решил набросать конспект, который и лег в основу этих заметок.

ВЗГЛЯД ИЗ НАСТОЯЩЕГО В ПРОШЛОЕ

Начнем с определения черт, характеризующих школу Ландау.

¹ Несколько автобиографических штрихов, чтобы объективно "расположить" меня относительно школы Ландау. В 1949 г. окончил Харьковский университет. Дипломную работу делал под руководством И. М. Лифшица, которого и считаю своим учителем (основным, главным). В 1952 г. познакомился с Ландау, которому рассказывал с тех пор практически все работы (до 1962 г., естественно), под чьим руководством они бы ни были сделаны (И. М. Лифшица, А. И. Ахиезера, Я. Б. Файнберга). У нас были теплые отношения, смею даже сказать: мы дружили. Но я не сдавал Ландау знаменитый теореминимум, не был его аспирантом и, знаю, в сознании Ландау был учеником И. М. Лифшица.

Чтобы не оказалось, что всех ныне живущих хороших (пусть по моей субъективной оценке) физиков-теоретиков я причисляю к школе Ландау, на **первое** место поставим происхождение. Отнесем к школе Ландау учеников Ландау, учеников его учеников и т. д. (теперь уже есть правнуки, а возможно, и праправнуки). К этому просто сформулированному правилу отбора необходимо сделать оговорку. В школу Ландау естественно включились те, кто в первые годы существования Института теоретической физики им. Л. Д. Ландау был "приглашен" туда из других научных центров, а до этого не состоял в учениках или сотрудниках Ландау. Как мне помнится, серьезных ошибок почти не было, и, по-видимому, за счет приглашенных следует расширить принцип отбора по происхождению.

И еще: нельзя не учитывать самоощущения ученого. В своей автобиографии Я. Б. Зельдович пишет: "Как физик-теоретик я считаю себя учеником Льва Давидовича Ландау"².

На **второе** место среди черт, позволяющих причислить физика-теоретика к школе Ландау, необходимо поставить профессионализм. Ландау не терпел непрофессионализма, обвинение в непрофессионализме было в его устах высшей мерой (не наказания, конечно) осуждения. Надо признать, не всегда справедливого. Для Ландау очень много значило первое впечатление. Неудача при знакомстве (сказал глупость, может быть, от волнения, проявил некомпетентность в области, которой занимался, или что-то в этом роде) могла навсегда лишить возможности тесного общения с Ландау. Об одном физике-теоретике Л. Д. несколько раз (поэтому врезалось в память) говорил одно и то же: "Если дать ему продифференцировать $\ln ax$, он получит $1/ax$ ". Этот физик умел дифференцировать...

Евгений Михайлович Лифшиц —

один из главных адептов идей Ландау, несомненно один из создателей школы, соавтор знаменитого курса Ландау и Лифшица. Если бы не было этого курса, понятие профессионализма (в смысле принадлежности к школе Ландау) было бы лишено конкретного содержания. Способность Е. М. оценивать профессионализм физиков-теоретиков оттачивалась многолетней работой редактором ЖЭТФа ("Журнала экспериментальной и теоретической физики").

Мне вспоминается один из разговоров с Е. М. Он происходил через несколько лет после смерти Ландау. Работа над курсом продолжалась³. Шла подготовка к созданию десятого, заключительного тома ("Физическая кинетика"). При этом, естественно, использовались публикации в научных журналах, которые обсуждались с их авторами. Я запомнил оценку Евгением Михайловичем одного из них: "Он — настоящий профессионал". Это звучало как высшая похвала. Признаться, слова, а скорее, тон, которым они были сказаны, врезались мне в память, наверное, потому что я помнил случай, происшедший, кажется, задолго до того разговора. Тогда Е. М. писал параграф об эффе́кте де Га́аза—ван Альфвена, полная теория которого построена И. М. Лифшицем и А. М. Косевичем и воспроизведена в книге И. Лифшица, М. Азбеля и М. Каганова "Электронная теория металлов" (М., 1971), а перед этим — в одноименном обзоре в "УФН" И. Лифшица и М. Каганова. Сравнив "источники", Е. М. пришел к выводу, что при написании обзора и книги не все формулы перевыводились (речь шла о вполне конкретном интеграле). Задав мне вопрос и убедившись, что прав, он потерял интерес к разговору, а у

² Цит. по: Знакомый незнакомый Зельдович. М., 1993. С. 325.

³ То, что "Курс теоретической физики" Ландау и Лифшица завершен, несомненно подвиг Евгения Михайловича, совершить который ему помог Лев Петрович Питаевский. Сейчас Л. П. не прекращает заботу о совершенствовании и переводах "Курса".

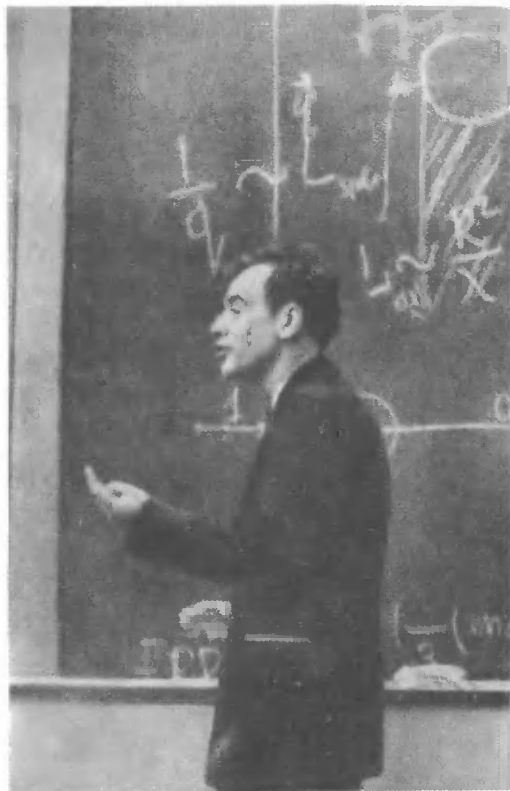
меня осталось справедливое ощущение выговора...

Профессионализм как обязательное требование, предъявляемое к физику-теоретику, делал весьма непростым общение "новичка", с Ландау и его окружением. Язык, которым пользовались в школе Ландау, был языком тесно связанных между собой профессионалов, и, по меньшей мере, к нему надо было привыкнуть. Иногда недоразумения возникали из-за различий в языке, из-за непонимания Ландау и его окружением "пришельца". Но надо сказать, нетерпимость Ландау, о которой часто вспоминают (а когда он был жив, говорили еще больше), по-моему, сильно преувеличена. Я, правда, могу судить об этом по последним десяти годам его активной жизни (может быть, с годами он стал добрее и мягче?!). Много раз я был свидетелем того, как Ландау защищает выступающего на семинаре: либо автора работы, либо излагающего чужую статью.

К профессиональным требованиям, предъявляемым физику-теоретику, следует отнести "владение математической техникой... Степень этого владения должна быть такой, чтобы математические затруднения по возможности не отвлекали внимание от физических трудностей задачи — по крайней мере там, где речь идет о стандартных математических приемах"⁴.

Мне представляется, что в школе Ландау, при всем уважении к математическому аппарату, не поддерживался интерес к аппарату как таковому, создаваемому безадресно, на всякий случай, авось пригодится.

Третья черта, характеризующая стиль работы физиков-теоретиков из школы Ландау, — это интерес к новым задачам. Решение заново уже решенной задачи лучшим, но не дающим новых результатов методом — очень важное, даже необходимое дело при



На семинаре Ландау.

написании обзора (какое искусство продемонстрировали и сколько труда потратили Ландау и Лифшиц при написании "Курса теоретической физики" на то, чтобы найти кратчайший, но достаточно строгий путь вывода формул!). Но главное дело физика-теоретика — получение ответа на новый, ранее не ставившийся вопрос, решение новой задачи. В статье, опубликованной в сборнике памяти В. Паули, Ландау сказал: "Жизнь слишком коротка, чтобы решать решенные задачи". При этом к словам "ответ", "решение" предъявляются весьма строгие требования. Работа не должна кончаться рассуждениями о том, что ответ можно получить (теоремы существования нужны в математике, а не в физике), а буквально ответом: формулой, числом, кривой, утверждением, предельно точным в рамках использованных предположений и методов.

⁴ Лифшиц Е. М. Лев Давидович Ландау (1908—1968) // Собр. трудов Л. Д. Ландау. Т. 2. М., 1969.



Выступает И. Я. Померанчук.

"Рассуждательных" работ публиковалось и публикуется довольно много (при том отнюдь не всегда рассуждения достаточно глубоки и содержательны). К таким работам Ландау и его ученики относились с недоверием.

Различие у представителей разных школ в подходе к теоретической физике ощущала молодежь. Вспоминается эпизод из далеких 50-х годов. Конференция по теории твердого тела. Одна из первых в послевоенные годы и одна из первых с определенной тематикой. Конференция не по физике и даже не по теоретической физике, а именно по теории твердого тела. Проходила она в Свердловске (теперь — Екатеринбург). Вокруг Ильи Михайловича Лифшица кучкуется молодежь — студенты старших курсов, аспиранты. Они и помогают (провожают, показывают достопримечательности), и пытаются услышать ответы на волнующие

их вопросы: о новых направлениях исследований, о том, чем и как стоит заниматься, — обычная ситуация, когда любознательным молодым людям удается оказаться в непосредственной близости к крупному ученому, да еще в неформальной обстановке... Я запомнил вопрос, который меня несколько удивил: "Почему в конце **ваших** докладов всегда бывает формула или кривая, а у других физиков даже трудно понять, что доклад окончен?" В этом вопросе слова "ваши доклады" имели обобщающий смысл — доклады тех, кто принадлежит к школе Ландау. А меня вопрос удивил, так как в то время я, живя в Харькове, практически не слышал докладов по теоретической физике, авторы которых не принадлежали бы к школе Ландау.

Выбор темы научного исследования, формулировка, постановка задачи — интереснейшая проблема. Причем выбор зависит от уровня знаний всего содружества ученых, от личной подготовки каждого научного работника, его

психологии, а нередко и от случайных обстоятельств. Нельзя сбросить со счетов и общие представления о том, где проходит граница познанной области. Ясно, что вблизи этой границы пытаются "действовать" те, кто имеет желание решать новые задачи.

То, что я называл познанной областью, содержит огромное количество "белых пятен". Однако у большинства активно работающих физиков-теоретиков существует уверенность, что общая картина познанной области нам ясна, а ликвидация "белых пятен" — дело времени и желания, и, хотя это может потребовать много сил, огромного таланта, времени, но не пересмотра основных представлений. Проще говоря, есть уверенность: механика (классическая и квантовая), теория относительности, статистическая физика — в своих основах — правильно описывают действительность, естественно, каждая в границах своей применимости.

Никогда в школе Ландау не принимали всерьез ниспровергателей, пытавшихся "улучшить" основы современной физики, которые по какой-то причине (как правило, идеологической) им не импонировали. Ландау и все близкие к нему физики ощущали теоретическую физику как целостную науку с гармонично связанными частями и разделами; понимали, что из здания теоретической физики нельзя безнаказанно вынуть те "кирпичи", которые служат ему фундаментом.

Эти ощущения и понимание не противоречили знанию о существовании "белых пятен" — более того, все знали и знают: каждый день физики-экспериментаторы преподносят их физикам-теоретикам. Наверное, познанная область никогда не лишится "белых пятен". Но огромным достижением современной теоретической физики является ее методология, позволяющая находить средства и способы их ликвидации.

Естественно, отнюдь не все и не всегда занимались ликвидацией "белых пятен" в принципиально познанной области. Делались и делаются попытки

переместить границу, расширить познанную область за счет непознанной, двигаться там, где место прочных и незыблемых основ заменяют интуиция, опыт, обращение к непосредственному эксперименту. Мне трудней писать об этих работах (я не имею собственного опыта). Но, по моему ощущению, и в этой деятельности характерным было требование конкретного результата, ответа, решения новой четко сформулированной задачи, а не абстрактные рассуждения о возможных подходах...

Эти замечания о выборе тем исследования заставляют задуматься о следующей, четвертой черте школы. Похоже, эта черта — результат энциклопедичности Ландау в физике. Со смертью Ландау и Фейнмана из физики, по-видимому, ушли последние энциклопедисты. Широта интересов Ландау видна и по его собственным научным публикациям и особенно явно по курсу теоретической физики.

Каждый, кто хотел выступить на знаменитом семинаре, знал, что для Ландау нет а priori неинтересных тем. Все, что доступно теоретическому анализу и может быть доведено до получения нового, неизвестного ранее результата, достойно внимания. Конечно, речь не идет о тривиальных задачах. Ландау достаточно строго их отмечал. Но вот что примечательно: оценки были, если можно так сказать, значительно более либеральными, чем оценки других физиков, даже из его окружения. Ландау умел, говоря о работе, не выходить за пределы области, к которой она принадлежала. Никогда нельзя было услышать что-то вроде: "Сейчас, когда всем (!?) интересна теория элементарных частиц, ты решаешь задачу по электронной теории металлов". Если нечто в свойствах металла проявилось, а особенно, если для того, чтобы проявилось, надо было преодолеть трудности, то работа (доклад) встречалась с неподдельным живым интересом. Удивительно, что интерес ко всей теоретической физике не уменьшался даже в те нередкие периоды, когда сам Ландау был углублен в решение



Ландау и Нильс Бор на Празднике Архимеда в МГУ 1961 г.

очередной задачи... Эту черту (широту интересов) я бы назвал **отсутствием снобизма**.

В теоретической физике, как в большинстве областей человеческой деятельности, немалую власть имеет мода. Естественно, школа Ландау не могла и не пыталась избежать влияния моды. Но мне хочется в этой связи подчеркнуть: речь идет об (не боюсь слишком громких слов) эпохальных открытиях. В работах физиков, которых мысленно я причисляю к школе Ландау, не ощущалось суеты. Появление нового интересного объекта исследования или заметного продвижения в теоретической технике не заставляло их круто изменять свою деятельность, лишь бы не пропустить интерес толпы ("черни", как сказал бы Пушкин) к модной теме. Это — одна сторона отношения к моде. Другая сторона, возможно, определяющая ту независимость от моды, которую я отметил,

заключалась в том, что работы, выполненные в школе Ландау, и прежде всего самим Ландау, несомненно нередко диктовали моду. Приведу лишь один пример — теория ферми-жидкости.

Отношения с модой — отсутствие суеты, с одной стороны, и способность самим создать новую моду, — с другой, — я бы считал пятой чертой школы Ландау по нашему перечню. В связи с этим надо отметить уважение, которое Ландау и его окружение испытывали к тем из физиков-теоретиков, которые умели "переключаться", обладали достаточной широтой взглядов, способностей и знаний, чтобы продуктивно заниматься вопросами, относящимися к далеко расположенным областям теоретической физики. Наверное, самый яркий пример — творчество Исаака Яковлевича Померанчука (конечно, после Ландау).

Некоторая отстраненность школы Ландау от сиюминутной мировой моды поддерживалась, по-видимому, всей обстановкой, в которой жила советская наука: огромные затруднения даже в переписке с иностранными учеными (не

говоря уже о поездках за границу) мешали научному общению.

Однако при такой изолированности школы Ландау несомненно нельзя было назвать провинциальной. Важной чертой физиков, в нее входящих, уже шестой, следует считать прекрасное знакомство с достижениями современной мировой теоретической физики (ее математического аппарата, в частности), да и не только теоретической физики, но и физики вообще. К этому следует добавить: физики-теоретики, принадлежащие к школе Ландау, занимались самыми разнообразными темами. Но и до 1962 г., и первое время после многие (особенно представители старшего — уже тогда — поколения) хорошо знали работы друг друга, легко пользовались достижениями друг друга. Естественно, это создавало значительный положительный эффект. В физических терминах научный потенциал школы был выше суммы потенциалов ее членов.

Трудность общения, невозможность участвовать в важных конференциях и семинарах, конечно, воспринимались как серьезные лишения, но не давали права на снижение требовательности при оценке приоритета работы. Даже тогда, когда из-за отсутствия своевременной информации кто-то переоткрывал уже открытое кем-то за границей. "Не повезло, жаль, конечно", — но никакой скидки. Бывало даже, строгость в оценке права на приоритет приводила к конфликтам.

Школа Ландау не ощущала себя провинциальной и действительно не была провинциальной. Чтобы быть совершенно честным, следует признать: довольно скоро после ухода Ландау из теоретической физики начало проявляться некоторое чувство неуверенности в своих силах (можно это чувство назвать комплексом социальной неполноценности). Оно, с моей точки зрения, выражается в излишнем интересе к оценке физиков школы и их работ зарубежными коллегами. Часто забывалось, что мы лучше знаем своих товарищей, их возможности, их самостоятельность — все то, что характе-

ризует ученого как творческую личность. К сожалению, с годами привычка судить, оглядываясь на зарубежных коллег, сделалась весьма устойчивой.

Я прекрасно понимаю, что эти сетования могут быть восприняты как ненужные и даже в какой-то мере вредные. Уважение к оценке мирового научного сообщества, естественно, предполагает (в добавление к тому, что я писал) принадлежность к этому сообществу. А значит — тем более — отсутствие провинциализма. Но все же...

Седьмая черта (я рад, что она — седьмая: счастливое число) — абсолютная научная честность. Начнем с самого тривиального. Никто никогда не приписывался к чужим работам, даже если имел такую возможность — на правах сильного (например, руководителя отдела). Десятки лет я работал под руководством И. М. Лифшица, многие годы в непосредственном контакте с ведущими физиками школы Ландау, но не помню ни одной жалобы, ни одного разбирательства по поводу присвоения чужих результатов.

У понятия "научная честность" есть еще один смысл, возможно, не менее важный: абсолютно честное отношение к полученному результату и к получению результата; нельзя, не полагается выдавать желаемое за действительное, нельзя претендовать на справедливость полученного результата в области, в которой справедливость вывода нельзя доказать. Или, по крайней мере, необходимо (обязательно!) подчеркивать приближенный характер результата.

Все хорошо знают, что заявки на участие в конференциях, съездах, симпозиумах приходится посылать задолго до их фактического проведения. Ты ожидаешь, что скоро получишь новый результат. Как всегда в таких случаях, тебе кажется, что это будет самый интересный твой результат. Очень трудно его не заявить. Особенно если предстоящее собрание престижно. Но... этого делать нельзя, если результат еще фактически не получен, не осмыслен, если нет

абсолютной уверенности в его правильности⁵.

Честное отношение к своему результату, усиленное уважением к коллегам — "потребителям" твоего результата, требует весьма серьезного подхода к написанию научной статьи. К сожалению, вековая бедность нашей полиграфии, заставлявшая журналы экономить бумагу, выработала столь лапидарный стиль в научных публикациях, что многие из них приходилось (да и приходится) разгадывать как ребус. Даже при этом статьи (и первичные публикации, и научные обзоры) физиков-теоретиков школы Ландау отличались, как правило, ясностью и определенностью суждений, не допускалось "наведение тумана", с помощью которого иногда пытаются придать своим результатам, своему методу больший вес.

Конечно, я нарисовал идеализированную картину. Все прекрасно понимают, что физики-теоретики, составлявшие школу Ландау, отнюдь не были на одно лицо. Прежде всего, это ученые разного масштаба, разной самостоятельности, разной глубины.

Но я уверен, перечень особенностей правильно характеризует школу в целом. Это как бы романтизированный ее портрет. Романтизированный не только тоской по ушедшему (конечно, это обстоятельство играет роль), но и трепетным отношением к факту своей причастности, которое, по моему мнению, испытывали все, кому причастность к школе Ландау выпала как подарок судьбы. Может быть, особенно остро это переживали те, кто, подобно мне, жил в некотором отдалении и общался с Ландау и его непосредственным окружением хотя и часто, но все же не постоянно; мне для этого надо было приезжать из Харькова в Москву...

ИЗ ПРОШЛОГО В НАСТОЯЩЕЕ

При историко-научном, а не таком лирическом, как здесь, описании научной школы естественно отыскивать то, что отличает ее от других. Я не пытался этого делать. Наверное, и для других научных школ характерны особенности, которые я перечислил. Все же мне хочется думать, что совмещение всех выписанных черт, конечно, с учетом того содержания, которое я вложил в каждую из них, характерно именно для школы Ландау.

И еще одно обстоятельство надо иметь в виду. Большинство науковедческих работ, посвященных научным школам, сосредоточено на личности их создателей. Наверное, никто не может меня заподозрить, что я стараюсь затенить образ Ландау, принизить его роль. Да это и невозможно. Но то, что я называю школой Ландау, то, с чем я познакомился через несколько лет после окончания университета, — большое сообщество физиков-теоретиков. Перечисленные черты относятся именно к сообществу, характеризуют это сообщество, перечисленные черты — черты коллектива. И, по-видимому, именно это — главная черта школы Ландау.

Выше ничего не сказано об организации работы. Использование (чуть нарочито) канцелярита подчеркивает несопрягаемость понятий: организационная работа и школа Ландау. И все же организационная работа была. Во-первых, существовал теорминимум — перечень экзаменов, который должен был сдать всякий, кто хотел вступить в число непосредственных учеников Ландау. О теорминимуме много писалось (см., в частности: Воспоминания о Л. Д. Ландау. М., 1988). Во-вторых, был семинар, проводившийся в Институте физических проблем каждую неделю по четвергам (с 11 до 13 час. с небольшим перерывом). И он подробно описан (например, в упомянутой мною книге). В-третьих, — "Курс теоретической физики" Ландау и Лифшица.

Мне представляется, семинар

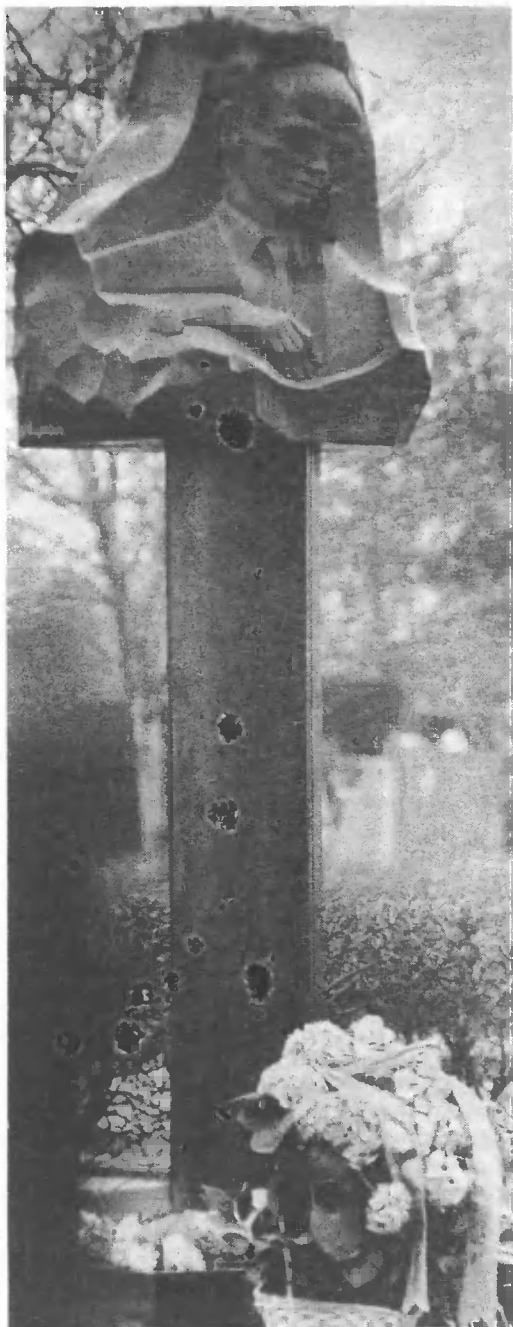
⁵ Обратите внимание: прилагательное "абсолютная" относится к "уверенности", а не к "правильности" — имеется в виду отношение автора к своему результату, а не независимая оценка правильности работы.

играл особо существенную роль в жизни школы. И потому, что на семинаре как бы проявлялась близость людей, ощущающих себя принадлежащими школе. И потому, что семинар давал возможность "теоретику со стороны" общаться и с Ландау, и с его учениками. Следует подчеркнуть, что частое посещение семинара создавало ощущение единства, все чувствовали себя как бы принадлежащими одной вере. Существовала определенная формула умолчания: считалось само собой очевидным, что в подходе к теоретической физике, в своих научных симпатиях и антипатиях все стоят на общих позициях... Последующие годы показали, что единство не столь прочно, как многие думали.

В 1964 г. был организован Институт теоретической физики АН (ИТФ), куда перешло из Института физических проблем (ИФП) большинство сотрудников Л. Д. Ландау⁶. Возникновение ИТФ привело к своеобразной конденсации активных и талантливых физиков-теоретиков из многих научных центров бывшего Союза. Возникла совершенно уникальная "команда" высококвалифицированных физиков-теоретиков, интересы которых (всех вместе, конечно) охватывали всю теоретическую физику.

Я не принимал участия в коллегиальной жизни ИТФ, но регулярно встречался с его сотрудниками у нас в Институте физических проблем. Встречался главным образом на семинаре, который продолжал свою работу и который посещали не только физики-теоретики из ИТФ и ИФП, но и из других научных учреждений. Нечего скрывать, отсутствие Ландау ощущалось всеми, кто бывал на семинаре

⁶ Слова "был организован" звучат так, будто для этого достаточно было вызвать грузовики и перевезти столы в новое помещение. Надеюсь, читатель познакомился со статьей И. М. Халатникова в № 1 "Природы" за этот год и получил представление о том, как непросто было в середине 60-х годов создать новый институт, да еще такой нестандартный, каким задумывался и оказался Институт, позднее получивший имя Ландау.



Могила Ландау на Новодевичьем кладбище.
Фото В. Генде-Роте

Ландау. Но следует подчеркнуть: квалификации старшего состава всегда хватало для разумной (иногда строго критичной) оценки докладываемых работ.

В 1968 г. теоретический отдел ИФП возглавил (по приглашению П. Л. Капицы) Илья Михайлович Лифшиц. Он был активным и весьма заметным участником семинара. К его высказываниям прислушивались физики всех поколений.

В эти годы (речь идет о длительном периоде — до середины 80-х годов) ни у кого, по-моему, не мог даже возникнуть вопрос, существует ли школа Ландау. Физики-теоретики из ИТФ и ИФП, да и все те, кто тянулся к ним, несомненно, ощущали себя принадлежащими школе Ландау. Она жила активной научной жизнью, хотя отсутствие непререкаемого авторитета, конечно, ощущалось... Но кем? Физиками старшего поколения. Буквально каждый год появлялись новые молодые люди. Для них Ландау уже был только мифом и автором курса, по которому надо было учиться и который надо было сдавать.

Существование мифа о Ландау, естественно, порождало критицизм: нас, физиков старшего поколения, обвиняли в преувеличении. А у самих физиков старшего поколения появилось желание высветить свою роль, несколько затененную (по их мнению) фигурой Ландау.

Итак, школа Ландау продолжала существовать и, если можно так выразиться, официально оформилась. Более того, она получила официальное признание. Свидетельством тому — избрание учеников и сотрудников Ландау, а позже — сотрудников ИТФ им. Л. Д. Ландау и теоретиков из ИФП в Академию наук.

Перестройка и все, что происходило с нашей страной после 1985 г., совершенно изменило положение ученых и не могло не отразиться на школе Ландау. "Утечка мозгов" более всего коснулась тех научных учреждений, где процент высококвалифициро-

ванных сотрудников особенно велик. А значит, и Института теоретической физики и Института физических проблем. Большинство из тех, чья научная и преподавательская деятельность определяла жизнь школы Ландау, значительную часть своего времени или все время проводят за границей и, что особенно существенно для моих замечаний, далеко друг от друга.

Так все же "существует ли школа Ландау"? Вспомним еще раз ее черты: 1) происхождение; 2) профессионализм; 3) новизна решаемых задач; 4) широта интересов; 5) несуетное отношение к моде; 6) знание достижений современной физики; 7) научная честность.

Может показаться, что нарочито, а в действительности непреднамеренно они сформулированы так, что не требуют существования коллектива. Физики-теоретики, где бы они ни находились, своими работами, уровнем своих лекций доказывают, что школа Ландау существует. Существует и корпорация физиков, принадлежащих к школе Ландау. Они связаны друг с другом. Факсы и и-мэйлы создают сеть, ощутимую в США, странах Европы и Израиле. Возникло то, что в науковедении получило название "невидимый колледж".

Конечно, школа Ландау сейчас очень не похожа на ту, которая начала свое существование в Харькове в начале 30-х годов и ощущалась как некое научное единство вплоть до середины 80-х. Не похожа, но есть... И все же одна функция, которую школа выполняла, потеряна: как мне кажется, не она создает моду. Разобщенным физикам (что ни говори о новых методах обмена информацией) трудно создать моду, быть инициаторами возникновения новых крупных направлений. Хотя... И тут я мысленно просматриваю то, чем сегодня занимаются в знакомой мне достаточно широкой области физики — в квантовой теории твердого тела. Роль физиков школы очень велика. И обидно: нередко она даже более значительна, чем зафиксировано наиме-

нованиями задач, моделей, уравнений, решений и даже официальным признанием приоритета. В этом особенно сказывается разбросанность наших соотечественников за границей, а иногда и зависимое положение тех или иных физиков-теоретиков от работодателей.

Как всегда, на поверхности любого общественного явления наиболее видны его недостатки. Но нельзя не признать, что справедлива народная мудрость: "Нет худа без добра". Мы, прожившие большую часть своей сознательной жизни за "железным занавесом", до сих пор с трудом можем себе представить, что выбор страны проживания и места работы зависит не от воли наших компетентных органов (читай: МВД и ЦК КПСС), а от желания и возможности того или иного научного учреждения предоставить нам работу. Идут годы, и престижные научные учреждения Запада охотно берут на работу физиков-теоретиков из школы Ландау — в том широком понимании, которое я пытался придать этому понятию. Я не знаю статистики. Думаю, никто ею не занимался. Но несомненно, что трудоустройство на Западе физиков-теоретиков, непосредственно или косвенно связанных со школой Ландау, демонстрирует высочайший рейтинг объединенных ею ученых. И совсем личное ощущение: зная о нынешнем положении российской науки, я не перестаю радоваться тому, что появляются прекрасные работы, сделанные дома. Работы, выполненные в строгом соответствии с традициями школы Ландау. Неужели это не лучшее доказательство, что школа Ландау существует?!

Строго говоря, чтобы доказать правоту моего ощущения, необходимо проанализировать публикуемые работы и выявить тех, кого следует причислять к школе Ландау. Признаюсь честно, я не только не проводил такого анализа, но и не задумывался об этом. Мысль эта появилась после разговора с коллегой, который прочитал мои размышления. Мое утверждение о существовании школы Ландау — следствие ощущения и, если можно так сказать,

надежды, подкрепляемой общением с физиками-теоретиками разных поколений, несомненно представляющих то, что сегодня (еще?) есть школа Ландау. Репрезентативен ли мой выбор, или я (себе!) выдаю желаемое за действительное — установить очень трудно. Трудно даже надеяться на стандартное утешение: "Будущее покажет!". Процесс диффузии, рассеяния несомненно идет, смерть неумолимо собирает свой урожай. Хотелось бы верить, что приходят и будут приходить молодые энтузиасты, для которых теоретическая физика — столь же поглощающая жизнь деятельность, какой она была для Льва Давидовича Ландау... Хочется верить...

ШКОЛА ЛАНДАУ И ПОЛИТИКА

Я утверждал, что среди постоянных участников семинара в Институте физических проблем было ощущение своеобразной близости, не исчезнувшее даже тогда, когда, после ухода Ландау из активной научной жизни, семинар стал посещаться не столь регулярно, как до 1962 г. Близость эта, подчеркивал я, объяснялась тем, что участники семинара были единомышленниками. По крайней мере, в их отношении к теоретической физике... А в остальном? Можно ли сказать, что школа Ландау имела определенное политическое лицо? Задал себе этот вопрос и понял, что ответить на него очень трудно. Прежде всего потому, что когда пытаешься ответить, возникает как бы несколько планов.

Один план — люди, действительно близкие к Ландау. Многих, если не всех, я хорошо знал. По-видимому, наиболее характерным для них было несколько брезгливое отношение к политике. Никто всерьез не воспринимал догмы марксизма-ленинизма, хотя, наверное, вера в "социализм с человеческим лицом" была у многих. Никто не делал карьеру в партийных, профсоюзных или советских органах, никто не боролся "за мир", с сионизмом, не брал обязательств, не осуждал вейсманистов-морганистов, кибернетиков, не

восхвалял Лепешинскую, Башьяна, не осуждал А. Д. Сахарова — никто среди тех, о ком я говорю, не вступил в партию. Школа (следует это подчеркнуть) была — по тем временам — удивительно беспартийной. Членство в партии нескольких близких к Ландау физиков-теоретиков, вступивших в нее во время войны (среди них был и я), не влияло на их поведение и, насколько я могу судить, на мировоззрение.

Школа существовала не в вакууме, а в конкретной, весьма суровой советской действительности. Создание и функционирование Института Ландау требовало "игры по правилам". Это привело к необходимости ряду лиц пожертвовать собой — вступить в партию (во всяком случае, так мне казалось тогда и кажется теперь).

Но есть и более широкий план. Ведь, по моему представлению, школа Ландау значительно шире, чем несколько близких к Ландау физиков. Очень было бы интересно выяснить, что из себя представляли люди, посещавшие семинар Ландау, ведь жизнь их не ограничивалась теоретической физикой. К сожалению, память каждого из нас очень придирчива в отборе того, что хочет сохранить. Особенно, если между событием и воспоминанием о нем изменилась ситуация и, главное, изменилось отношение к событию... Поэтому к тому, что будет сказано, прошу отнестись, как к моему личному мнению.

Итак... Мне кажется сейчас, что мы все ощущали себя единомышленниками не только в теоретической физике. Узнав, что человек, с которым ты знакомишься, — физик-теоретик из школы Ландау или близок к ней, ты был уверен, что имеешь дело с порядочным человеком. А так как в понятие "порядочный человек" несомненно входили, по меньшей мере, отсутствие антисемитизма, непричастность к гонителям генетики, кибернетики и других "буржуазных" (а иногда даже "фашистских") наук, неспособность делать карьеру за счет развязанных партией и правительством полити-

ческих кампаний, то, мне кажется, с большой долей уверенности можно сказать: большинство в школе Ландау придерживалось либерально-демократических взглядов (в истинном понимании этих слов).

Похоже, в школе Ландау было мало активных диссидентов — тех, кто подписывал письма протеста или в защиту осужденных, пытался прорваться на "открытые" процессы, участвовал в митингах. При этом, я знаю, читался "самиздат", привозились из редких поездок за границу изданные за рубежом книги ("тамиздат") и передавались из рук в руки. Нельзя ни в коей мере считать, что школа Ландау была аполитичной. Отсутствие (или почти отсутствие) активного диссидентства — результат (возможно, не всегда справедливого) убеждения, что каждый должен заниматься своим делом. Уверенность большинства физиков-теоретиков из школы Ландау в том, что они заняты необычайно важным делом (объективно важным, а не строительством своей научной карьеры), приводила к страху потерять возможность заниматься наукой, если активно включиться в диссидентскую деятельность. Не хочу давать оценку, выяснять, правы ли были они (мы) тогда. То, что я пишу, лишь констатация. Мы знаем примеры тех, кто принес в жертву движению за права человека (т. е. за права всех нас) все до предела, включая свой талант ученого. Самый разительный пример, конечно, — биография Андрея Дмитриевича Сахарова... Но он не принадлежал к школе Ландау...

Я пишу этот раздел несколько отстраненно, пытаясь понять, что из себя представляла школа Ландау в среднем. Со многими я дружил. Будучи старше некоторых равных мне по "званию" (по месту в научной иерархии), я дружил и с теми, кто был старше меня во всех смыслах, и с более молодыми коллегами. Их умонастроение я знал прекрасно. Где-то я вычитал, что не могут дружить люди с разным чувством юмора. По-моему,

могут. А вот у нас (до 80-х годов) не могли дружить люди с разными политическими взглядами. Они попросту не доверяли друг другу.

...Если не пытаться смягчать слова, то я и те, кого могу назвать "моя, наша компания", были конформистами (отнюдь не все из нашей компании были физиками). И в глубине души уверен, каждый это сознавал. Но человеку несвойственно вечно терзаться, и легко находишь слова для самооправдания (типа "плетью обуха не перешибешь"). Пожалуй, что было характерным для нас — это понимание несправедности режима и желание от него, пусть эфемерно, но отстраниться (изолироваться). В нашем сознании всякое начальство (возможно, кроме научного) было "они", а "мы" им — начальству — противопоставлялись.

Изоляция, отстраненность, конечно, были совершенно эфемерными: мы пользовались благами, если (когда) "они" "нам" их предоставляли. И готовы были этих благ добиваться, часто при этом сознательно или бессознательно сдвигая линию раздела. Но существовала уверенность, что нашему конформизму есть предел, есть граница, которую каждый из "нас" (мы верили!) не перешагнет. "Мы" чувствовали, что есть "общая земля". И это ощущение было чрезвычайно важным, давая силы жить, не впадая в отчаяние, преодолевать страх, который (не надо забывать) не покидал "нас". И было еще какое-то общее для всех "нас" чувство гордости от того, что "мы" — не как все, что "мы" — элита: неподвластны официальной пропаганде, не продаемся открыто (тут "откровенно" — важное слово!), читаем не то, что все, понимаем убожество официального искусства и т. д. и т. п. К середине 80-х годов чувство элитарности развеялось абсолютно: оказалось, что для элиты "нас" слишком много, слава Богу!

Ландау был очень популярен. В чем природа этой популярности? Мне кажется, в те годы он был одним из тех, кто олицетворял Науку с большой буквы. Науку, занятую поисками исти-

ны... И только этим. В те годы процветала государственная лженаука. В чести находился шарлатан и недоучка Лысенко. Государство пыталось присвоить достижения науки себе и преуспевало в этом: мы создавали ядерное оружие, завоевывали космос. А Ландау и его ученики (в то время, о котором я пишу, — после 1952 г.) просто изучали явления природы. И делали это глубоко профессионально, так что их работы признавались во всем мире.

Эти работы были мало связаны с государством, в котором создавались. Самим своим существованием они утверждали международный характер науки. Смешно думать, будто эта оценка относится только к Ландау и его школе. Но симпатии народа не всегда предсказуемы. Нужен был символ настоящей профессиональной науки, неподвластной государству. Одним из таких символов был Ландау. Может быть, я преувеличиваю.

Эта мысль — существование школы Ландау как символа некоего интеллектуального сопротивления государству, которое (в его сталинско-хрущевско-брежневском варианте) антинаучно, — меня волнует давно⁷. Мне трудно найти точные слова. Но стоит вспомнить атмосферу семинара; Ландау, сидящего в первом ряду, легко возникающие и быстро затухающие дискуссии и заметное каждому движение мысли от непонимания к пониманию — все это так не похоже на то, что происходило за пределами зала Института физических проблем, так не

⁷ Наверное, читатель ожидал прочесть об аресте Ландау, о его освобождении усилиями П. Л. Капицы, а также об участии Ландау в создании атомного оружия. Об этом я не могу писать по личным наблюдениям. Я познакомился с Ландау, по-моему, в 1952 г. Но, конечно, разговаривал и об аресте, и об атомной бомбе. Вот что я запомнил. Он искренне был недоволен собой за то, что сущность советского режима понял только во время ареста. Говоря об участии в атомном проекте, Ландау, мне помнится, подчеркивал, что оно сводилось к оценке результатов взрыва, а не к разработке взрывного устройства. Мне казалось тогда, что эта констатация как бы успокаивает его совесть.

вязалось с советской действительностью, что невольно воспринималось, как глоток свободы. И, возможно, это — главное, что мы, принимавшие участие в семинарах, не можем забыть.

Несколько раз прочитал написанное. Чувствую, забыто нечто очень важное. Вспоминаю разговор с моим коллегой, активно общавшимся с Ландау непосредственно перед 1962 годом. Он прочитал книгу "Воспоминания о Л. Д. Ландау", а меня, как редактора-составителя, очень заинтересо-

вало его мнение. Сказал он примерно так: "Интересно, конечно. Но это не Ландау. Без теоретической физики (настоящей, а значит, понятной лишь профессионалам) Ландау нет. Он весь в ней, или, по крайней мере, его наиболее важная, наиболее существенная и интересная часть". Это сказано о Ландау. Тем более эти слова относятся к школе Ландау. Ее суть — теоретическая физика. А сказанное — бледное отражение, тень тени...

Москва — Бостон,
апрель — сентябрь 1994 г.

Л. Д. Ландау о Пьере Кюри

Сохранилось не так много текстов Л. Д. Ландау, свидетельствующих о его интересе к истории науки. Поэтому обнаруженный в Архиве Института физических проблем протокол Ученого совета с его докладом о научной деятельности Пьера Кюри (вступительное слово произнес П. Л. Капица) на первый взгляд представлял собой загадку. Где искать объяснение — подсказала приписка рукой ученого секретаря А. А. Абрикосова: "Этот текст послан в канц. Президиума АН СССР". Как выяснилось, постановлением Президиума ряду физических институтов поручалось провести заседания, посвященные 50-летию со дня смерти выдающегося французского физика. Совершенно очевидно, что П. Л. Капица и Л. Д. Ландау отнеслись к этому не формально. Их выступления публикуются впервые.

ИЗ ПРОТОКОЛА № 7 ЗАСЕДАНИЯ УЧЕНОГО СОВЕТА ИНСТИТУТА ФИЗИЧЕСКИХ ПРОБЛЕМ АН СССР.

13 апреля 1956 г.

1. Председатель академик *П. Л. Капица*:

Наша научная общественность отмечает в апреле 50 лет со дня смерти крупнейшего французского физика Пьера Кюри. Наш Институт тоже отмечает эту дату сегодняшним заседанием, на котором академик

Л. Д. Ландау сделает краткий доклад о работах Пьера Кюри и его роли в физике.

До того, как предоставить слово академику Л. Д. Ландау, мне хотелось бы сказать несколько слов о Пьере Кюри, потому что мне пришлось встречаться с его супругой

Марией Кюри-Склодовской и дочерью Ирен Жолио-Кюри — крупными французскими физиками и видеть ту обстановку, в которой работал Пьер Кюри. В молодости я знакомился с работами Пьера Кюри, и они сыграли в моей научной жизни большую роль. С детства у меня сохранились воспоминания о его нелепой и трагической смерти — он погиб в результате несчастного случая на улице, и я помню всеобщие сожаления о гибели этого крупного ученого.

Самым замечательным в работах Пьера Кюри является то, что те вопросы физики, которыми он занимался или начал заниматься в конце прошлого века, оказались в дальнейшем наиболее важными. Значение ученого обычно определяется не самой техникой работы, не самой методикой — любой эрудированный ученый может освоить или разработать методику, а выбором вопросов, над которыми он работает. Пьер Кюри сосредоточил свое внимание действительно на тех вопросах, которые в дальнейшем оказались исключительно важными, но в то время, когда он начинал ими заниматься, этой важности не имели.

Первый вопрос, которым занимался Пьер Кюри, — это изучение кристаллов и их свойств. Второй вопрос — это изучение явлений магнетизма и ферромагнетизма. В этой области он открыл фундаментальный закон, так и носящий его имя — закон Кюри.

Третий вопрос, над которым он работал до своей смерти — это изучение радиоактивности. Когда он начал заниматься радиоактивностью, это было небольшое, занятное явление, непонятное и неизученное. Для того чтобы увидеть в этом явлении его большое будущее, сосредоточить на его исследовании все свои силы, для этого потребовалось гениальное предвидение, которое было у Пьера Кюри.

Мне хочется отметить еще одну характерную черту в работах Пьера

Кюри. Первые свои работы, приведшие к открытию пьезоэлектричества в кристаллах, он провел совместно со своим братом Полем Жаном Кюри. Все остальные работы в области изучения магнетизма и радиоактивности он сделал совместно со своей женой.

После его трагической смерти его жена Мария Кюри-Склодовская продолжала работать совместно с дочерью Иреной Кюри. К работам примкнул и муж Ирены Кюри — Фредерик Жолио-Кюри, и в дальнейшем они работали втроем. Им принадлежат открытие искусственной радиоактивности и другие первоклассные работы по физике атомного ядра.

Успехи, достигнутые в этих совместных работах, живо свидетельствуют о пользе “семейственности” в науке. Нам давно надо было бы прийти к выводу, что именно в науке тесное, дружественное сотрудничество позволяет людям лучше всего работать вместе. Например, известно успешное сотрудничество отца и сына Брэггов. Такие же примеры известны и в литературе. В любом творчестве семейная согласованность приносит чрезвычайно большую пользу. То, что у нас предпринимались шаги против семейственности в науке, это противостоит естественно. Вся природа показывает, что наилучший тип сотрудничества — это семья.

Мария Кюри очень хорошо дополняла в научной работе своего мужа Пьера Кюри. Он был человеком с очень большой фантазией, свободным полетом мысли, а она была очень выдержана и собрана, она выполняла волевою и организационную часть в совместных исследованиях. Пьер Кюри без нее не смог бы столько сделать, сколько ему удалось на самом деле. Он был большим романтиком в науке, а она была человеком реальным; их сотрудничество было исключительно плодотворным.

Оба они были прогрессивными

и интересными людьми. Мария Кюри-Склодовская очень хорошо относилась к советским людям, в ее лаборатории работало много нашей молодежи. Прогрессивные взгляды Пьера Кюри мешали ему в жизни. Об этом свидетельствует тот факт, что он был выбран в Парижскую академию наук перед самым концом своей жизни.

Предлагаю почтить его память вставанием.

Все встают.

Затем председатель предоставляет слово для доклада академику Л. Д. Ландау.

2. Академик Л. Д. Ландау:

Работы Пьера Кюри выделяются своей оригинальностью, а также тем, что он не сосредоточил свои исследования, как это чаще всего бывает, в какой-то определенной области физики. Это был очень одаренный человек, который мог с успехом заниматься любым вопросом, который его интересовал, и легко переходить от одной области физики к другой, далеко лежащей от первой.

Как уже упомянул П. Л. Капица, имеются три серии работ Пьера Кюри, каждую из которых я постараюсь охарактеризовать несколько подробнее.

Первая серия работ Пьера Кюри связана с симметрией кристаллов, которыми он очень интересовался и в создании ясной картины которых ему принадлежат существенные заслуги. Учение о симметрии кристаллов с современной точки зрения выглядит несколько тривиально: оно описывает свойства кристалла в отношении того или иного элемента симметрии. Схема расчета столь проста, что она доступна всякому начинающему, даже не очень хорошо понимающему физику. Однако в создании этого подхода существенная роль принадлежит Пьеру Кюри. Сюда можно отнести его работы по пьезоэлектричеству в кристаллах; он впервые открыл это явление и изучил его. Существование спонтан-

ного электрического момента у ряда кристаллов было известно и раньше, но никак не предполагалось, что у других кристаллов может создаваться электрический момент, когда они подвергаются деформации. Наиболее классическим примером такого кристалла является кварц, не обладающий центром симметрии и не имеющий электрического момента в недеформированном состоянии. Пьер Кюри, совместно со своим братом, изучил обе стороны явления — величину электрического момента, вызываемого деформацией, и сопряженные явления — деформации, которые возникают в электрическом поле.

Вторая серия работ Пьера Кюри относится к магнитным явлениям. И здесь им открыты явления, которые до настоящего времени можно считать основными. Им открыт закон Кюри — закон зависимости магнитной восприимчивости вещества от температуры:

$$\chi = \frac{\text{const}}{T}.$$

Этот закон имеет место при достаточно высоких температурах, в зависимости от силы взаимодействия магнитных моментов в кристалле. При слабом взаимодействии закон действителен при довольно низких температурах, при сильном взаимодействии — при достаточно высоких температурах. Кюри сумел сформулировать этот закон, хотя в разных условиях он действует по-разному. Этот закон является непосредственным распространением на магнитные свойства закона Гей-Люссака о зависимости объема идеального газа от температуры. Теоретические выводы из этого закона зависимости магнитной восприимчивости от температуры не были даны Кюри, они были высказаны позже Ланжевеном. Пьер Кюри открыл сам закон и можно считать, что все измерения, которые идут в области сверхнизких температур, проводимые на основе магнитных свойств вещества, базируются на

работах Кюри, точно так же, как понятие абсолютной температуры в конечном счете базируется на законе Гей-Люссака.

Другой важный закон в области магнитных явлений, который открыл Кюри и который носит его имя — это температура Кюри, т. е. температура, выше которой исчезают явления ферромагнетизма. До исследований Пьера Кюри не было известно, что явления ферромагнетизма ограничены определенной областью температур. Он показал впервые, что существует граница, где ферромагнетизм исчезает. Он открыл фазовый переход второго рода — явление, которое вошло в моду несколько позже, но до Кюри ни в какой степени не было известно. Были известны обычные фазовые переходы с изменением объема, как переход жидкости в пар, но он открыл новое явление — возможность изменения состояния вещества без изменения объема, без скачка теплоемкости.

Третья серия работ Кюри, которая закончилась его нелепой смертью и дала ему наибольшую славу и принесла ему Нобелевскую премию, — это работы, связанные с исследованием радиоактивности. Пьер Кюри был одним из немногих, которые понимали все огромное значение, которое имеет это явление для физики, и последние годы своей короткой жизни он очень интенсив-

но занимался с женой исследованием этих явлений. Супругами Кюри были открыты два новых химических радиоактивных элемента — радий и полоний, что показывает масштаб их работ в этой области. Но это только химическая сторона вопроса; немало сделали супруги Кюри и в изучении физической стороны явления. Выделение тепла при радиоактивном распаде было открыто и измерено супругами Кюри.

Любопытно отметить, как уже говорил П. Л. Капица, что признание Пьер Кюри на родине завоевывал очень медленно, что связано с очень решительным, самостоятельным и благородным характером Кюри. Он пользовался нелюбовью со стороны своих менее одаренных коллег. В Парижскую академию он был избран после того, как получил Нобелевскую премию и его работы уже имели мировое признание.

Председатель закрывает торжественную часть заседания Ученого совета.

Ученый секретарь
Доктор ф.-м. н. **А. А. Абрикосов**

Архив ИФП РАН. Оп. 1. Ед. хр. 141.

Публикация **И. Е. Рубинина**

Кислотные дожди в Центральной России

В. А. Аблеева,

станция комплексного фоновго мониторинга Приокско-Террасного заповедника,
Московский центр по контролю природной среды

Е. С. Литкенс,

кандидат технических наук
Приокско-Террасный заповедник

НАЧИНАЯ с мая 1989 г. и по сей день сотрудники Станции комплексного фоновго мониторинга Приокско-Террасного заповедника ведут контроль кислотности каждого атмосферного выпадения в отдельности. Итоги работы за первый же год наблюдений показали, что принятая стандартная методика — контроль кислотности усредненных проб (декадных или месячных) — маскирует истинную картину и не позволяет обнаружить сильнокислотные осадки (обычно они невелики по объему) на фоне обильных слабокислотных или нейтральных¹.

Накопленный за четыре года статистический материал

представляет известный интерес и позволяет оценить динамику загрязнения атмосферных осадков.

Всего за 1990–1993 гг. зарегистрировано 1086 атмосферных выпадений (снег, дождь), из них 204 случая относятся к кислым. В соответствии с рекомендациями гидрометеослужбы мы придерживались следующей классификации осадков по кислотности:

Кислые	$\text{pH} < 4.6$
Слабокислые	$4.6 < \text{pH} < 5.6$
Нейтральные	$5.6 < \text{pH} < 6.5$
Щелочные	$\text{pH} > 6.5$

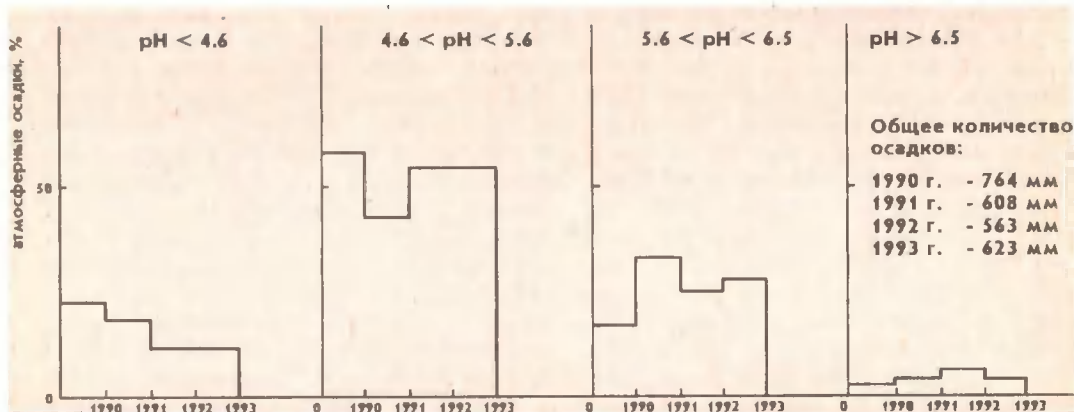
Как видно из рис. 1, число кислых осадков сократилось с 23% в 1990 г. до 12%

в 1992–1993 гг. Процент слабокислых осадков за тот же период менялся несущественно, а нейтральных и щелочных осадков несколько вырос.

На рис. 2 мы показали, как за эти же годы изменилось распределение кислых осадков по количеству. Так, для интервала $4.6 < \text{pH} < 4.4$ количество осадков снизилось со 119 мм в 1990 г. до 46 мм в 1993; в интервале $4.4 > \text{pH} > 4.2$ произошли несущественные изменения, а в интервале $4.2 > \text{pH} > 4.0$ количество осадков уменьшилось почти в 10 раз — с 23–28 до 2–3 мм/год.

Рис. 1. Динамика распределения кислых атмосферных осадков в 1990–1993 гг. (% от общего количества осадков).

¹ Подробнее об этом см.: Литкенс Е. С. Служба кислотных дождей // Природа. 1991. № 6. С. 84–85.



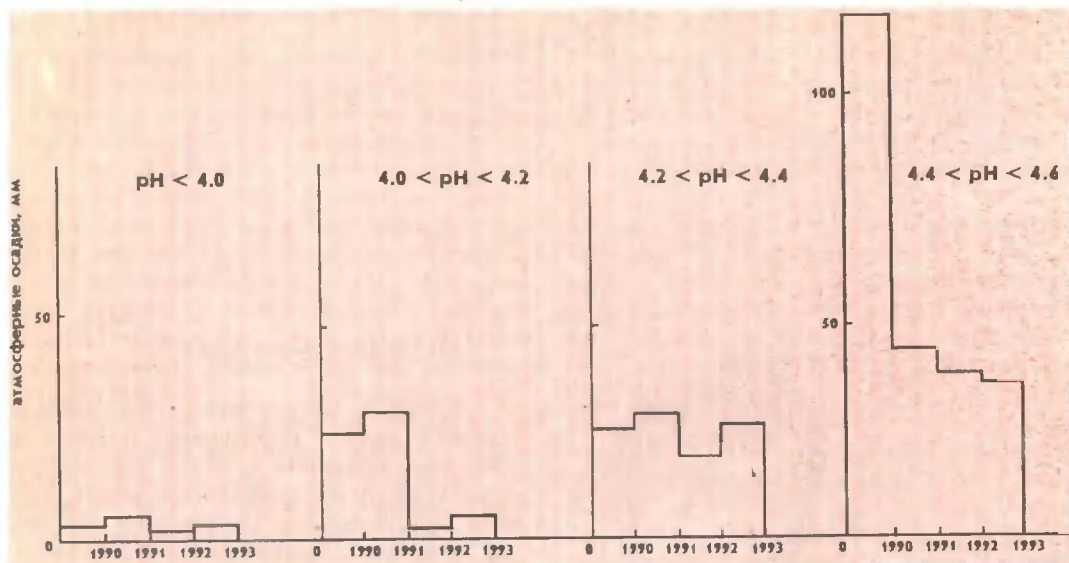


Рис. 2. Динамика количества атмосферных осадков разной кислотности в 1990–1993 гг.

Таким образом, можно утверждать, что в районе Приокско-Террасного заповедника (юг Московской области) в целом закисление осадков существенно снизилось. Однако мы полагаем, что этот положительный экологический эффект достигнут не благодаря внедрению систем очистки атмосферных выбросов на предприятиях, а за счет общего снижения экономической активности в соседних регионах. Можно предположить, что в той же пропорции, в какой уменьшился процент кислых осадков, сократилось и потребление

органического серосодержащего топлива.

В "Обзоре фоновых состояний окружающей природной среды за 1991 г."², представленном Институтом глобального климата и экологии, отмечено, что средний показатель pH на европейской территории России не опускался ниже 4.5, и только в Приокско-Террасном заповеднике минимальное значение pH достигало 3.5. Может создаться впечатление, что в районе этого несчастного заповедника образовалась такая кислотная аномалия. В аналогичном обзоре за 1993 г. (с. 21) отмечается еще одна аномальная точка на Валдае.

² М.: Гидрометеоиздат, 1992. С. 30.

Нетрудно, однако, сообразить, что никаких кислотных аномалий в районе Приокско-Террасного заповедника и Валдайского филиала Государственного гидрологического института (ГГИ) нет. Просто на этих двух станциях производится контроль кислотности каждого атмосферного выпадения в отдельности, а на всех остальных по России контролируется кислотность усредненных проб: в лучшем случае — декадных, а чаще всего — месячных.

Вывод напрашивается сам собой: во всей России по части контроля кислотности осадков мы имеем всего две информативные точки — Валдайский филиал ГГИ и Станцию комплексного фоновых мониторинга Приокско-Террасного заповедника.

Мещера

Е. А. Рябинин



Евгений Александрович Рябинин, доктор исторических наук, старший научный сотрудник Института истории материальной культуры РАН. Основные темы исследований: Северная русь и ее соседи; финно-угорские и славянские племена эпохи средневековья; языческие культуры народов Восточной Европы; процесс урбанизации в Балтийском регионе. Свыше 20 лет ведет археологические работы по изучению средневековых памятников на территории Ленинградской, Костромской и Ивановской областей.

НАРОДНОСТЬ-ЗАГАДКА

Среди племенных образований Волго-Окского междуречья мещера наиболее загадочна и слабо документирована историко-археологическими данными. Древнейшее упоминание этнонима "мещера" содержится в Хронологической (Толковой) Палее — сложной компиляции библейских текстов, апокрифических материалов и летописных сведений, — возникшей, как полагают, в XIII в. и текстологически зависимой от "Повести временных лет" начала XII в. В летописных сводах XV—XVI вв. мещера фигурирует лишь в производном от "Повести временных лет" перечне "иных языцей", обитавших "по Оце рече, где втечет в Волгу". При этом она или помещается между муромой и мордвой, заменяя исчезнувших из первоначального списка черемис-мари (редакции XV в.), или же занимает промежуточное положение между муромой и черемисами (редакции XVI в.). Наконец, в позднейших сводах XVI—XVII вв. (Львовская и Ермолинская летописи, Свод 1518 г.) говорится: "А по Оце близ устья Муром. А инии свой язык имьяху Мордва и Черемиси". В этих источниках уже не упоминается "свой язык" у

© Рябинин Е. А. Мещера.

Этой публикацией завершается серия очерков о финно-угорских племенах, обитавших в пределах средневековой Руси. См.: Водь // Природа. 1992. № 3. С. 78—86; Ижора // Природа. 1992. № 9. С. 82—89; Весь // Природа. 1993. № 1. С. 86—93; Чудь заволочская // Природа. 1993. № 8. С. 22—29; Меря // Природа. 1994. № 1. С. 28—36; Муром // Природа. 1994. № 11. С. 71—77.

муромы и опускается из традиционного перечня мещеры¹.

Причины столь позднего появления этого этнонима в русских летописях трактуются по-разному. Некоторые авторы полагают, что введение в своды XV в. мещеры и замещение ею черемис объясняется желанием редакторов и переписчиков исправить начального летописца и поместить на место уже не проживавшего между муромой и мордвой черемисского племени новую народность, имя которой было искусственно образовано от названия Мещерского края. Согласно другой точке зрения, включение мещеры в традиционный перечень народов Поочья было обусловлено углублением ее связей со славянским миром уже после составления "Повести временных лет". Так, известный исследователь волжских и камских древностей А. П. Смирнов считал, что близость языка мещеры с соседними финно-угорскими образованиями затрудняла до определенной поры распознавание этого издревле обитавшего в Волго-Окском междуречье племени².

Вопрос об этнической принадлежности и области расселения средневековой мещеры крайне осложнен тем обстоятельством, что следы такого этнонима позднее фиксируются в названии рязанских, пензенских, симбирских мещеряков или мишарей — особой группы татар. Они были потомками тюркоязычного населения Волжской Болгарии, которое обитало в западной части этого государственного образования (Окско-Сурское междуречье с сопредельными районами) и в обстановке распада Золотой Орды обособилось на рубеже XIV—XV вв. от казанских булгар; с XIV в. его прежнее имя — булгары или буртасы — заменяется на новое — маджар,

мещера или мишари³. Широкое распространение сходных этнонимов (следует указать, что родственные названия отмечены у башкир, отдельные группы которых известны у русских под именем можары, мажары, можеряне и т. п.) объясняется по-разному. Уже давно высказана интересная гипотеза об их связи с самоназванием венгров "мадьары". Предполагается, что в эпоху великого переселения народов древневенгерские племена, обитавшие на территории Башкирии и в конце IX в. продвинувшиеся на современную родину, оставили о себе память в этнонимах других финно-угров и тюрков, а также в географических названиях лесостепной зоны Европейской России⁴.

Отсутствие жесткого соответствия мещерского этнонима с определенной группой населения при крайней скудости исторических источников заставляет с большой осторожностью подходить к решению проблемы летописной мещеры. Тем не менее поиски в этом направлении дают реальные и достаточно интересные результаты.

Искомая зона расселения мещеры располагалась, судя по перечню "иных языцев" в списках XV в., между землями муромы и мордвы. В целом она соответствует Мещерской низменности, занимающей левобережье Оки и ограниченной с севера Клязьмой с притоками, с юга — обширной поймой Оки, с запада — течениями Цны и Поли, с востока — р. Гусь.

Определенное значение для локализации древней мещерской области имеют актовые источники XIV—XVI вв. В духовной грамоте Дмитрия Донского упоминается волость Мещерка под Коломной, располагавшаяся между левым берегом Москвы-реки и ее притоком Цной. Севернее этой волости на р. Осеченке (Сеченке), притоке р. Мерьской (Нерской), существовало

¹ Кирьянов И. А. Топонимия Волго-Окского междуречья и история его аборигенного населения (к проблеме летописной мещеры) // Ономастика Поволжья. Вып. 2. Горький, 1971. С. 148—151.

² Смирнов А. П. Очерки древней и средневековой истории народов Среднего Поволжья и Прикамья. М., 1952. С. 144.

³ Халиков А. Х. Татарский народ и его предки. Казань, 1989. С. 139—141.

⁴ Об этом см.: Агеева Р. А. Страны и народы: Происхождение названий. М., 1990. С. 65.



Расселение финно-угорских племен в конце I — начале II тысячелетия н. э.: а — границы Руси XII—XIII вв.; б — древнерусские городские центры; в — южная граница ареала древней финно-угорской гидронимии (по В. В. Седову).

средневековое селение Мещерка. Северо-восточные рубежи отмечены городком Мещерском (ныне г. Горбатов), расположенным напротив древнерусского Гороховца несколько ниже

устья Клязьмы на правой стороне реки; как центр волости он известен с первой половины XV в. Мещерские топонимы зафиксированы и на территории Нижегородского княжества, в том числе упоминаемое с первой половины XVI в. озеро Мещерское в черте Нижнего Новгорода. Город Касимов на Оке близ устья р. Гусь также был известен под названием Мещерского

городца. Последние наименования, однако, могут иметь отношение не к финской мещере, а к обитавшим здесь или в контактной зоне татарам-мишарям.

Следует также отметить, что упоминаемая с XVI в. в актовых документах Мещера (Мещерская земля) являлась прежде всего понятием политико-географическим. По определению историка М. К. Любавского, средневековая Мещера — это "инородческая область, находившаяся под властью крещеных князей, по родословной татарского рода", в пределы которой входили не только левобережье Оки, но и бассейн правого притока Оки р. Мокши⁵, заселенный мордвой и, частично, тюркоязычными мишарями (мещерой). Это обстоятельство следует постоянно учитывать при интерпретации позднесредневековых письменных источников. Так, сообщение князя Андрея Курбского о походе московской рати на Казань "через Рязанскую землю и потом через Мещерскую, идѣже есть мордовский языкъ"⁶, использовалось для доказательства принадлежности языка мещеры к одному из мордовских диалектов. Вполне вероятно, однако, что данное известие относится к правобережной части Мещерской волости, входившей в зону обитания мордвы.

Вследствие этого ключевое значение для разгадки летописного племени приобретают не пограничные участки Мещерской земли, а указанная выше искомая зона его обитания. Мещерская сторона между Окой и Клязьмой — это край лесов, озер и болот. От 30 до 35 % территории занято болотами. Редкое население сосредоточено на более возвышенных местах, по берегам рек на песчаных буграх и откосах.

Эти естественно-географические условия региона препятствовали его освоению в древности. Неясным остается положение края в системе культурных общностей железного века и средневековой эпохи. Исходя из значительно лучше изученных памятников сопредельных территорий, можно лишь очертить этнокультурное окружение Мещерской стороны того времени.

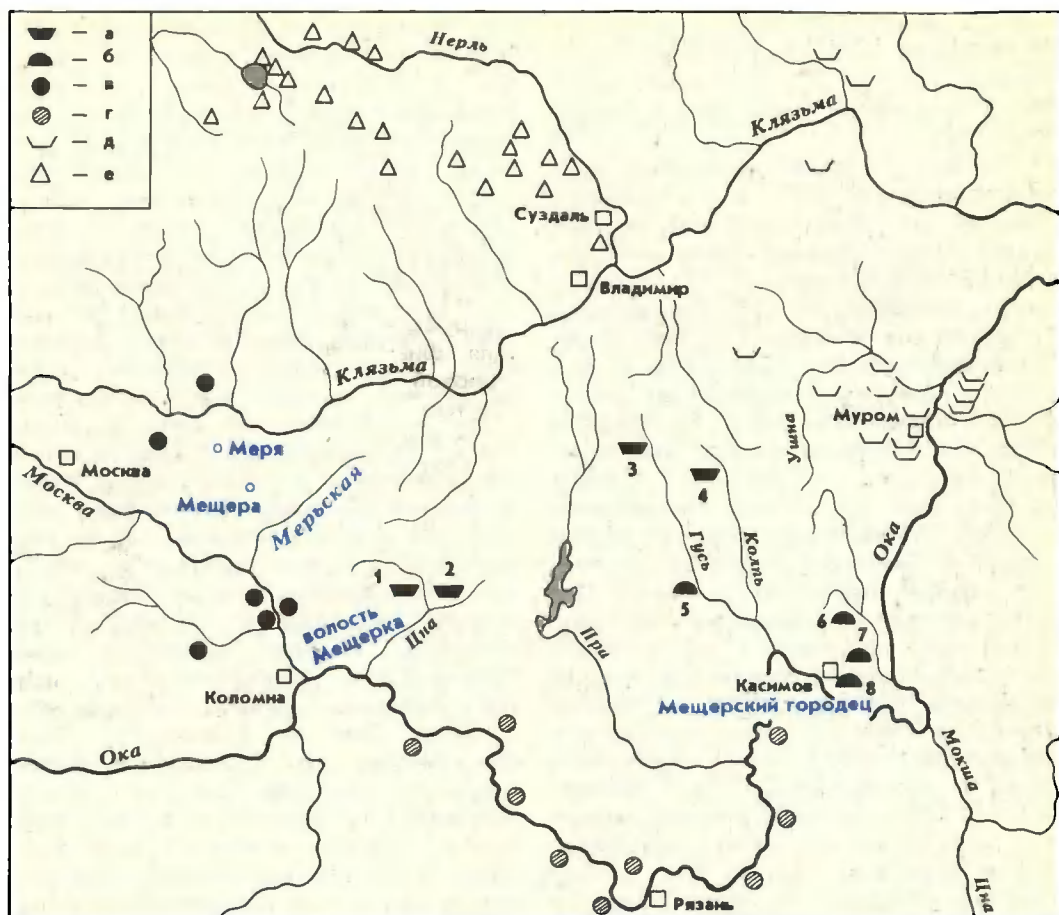
Западнее, по течению Москвы-реки, обитало финно-угорское (дьяковское, родственное летописной мере) население, которое в I тысячелетии н. э. уже было в основном ассимилировано продвигнувшимися сюда балтскими племенами. К северу, вдоль Нерли и средней Клязьмы, простиралась зона обитания мери. Северо-восточнее располагалась область муромы — племена, сложившегося, как и мордва, на основе городецкой этнокультурной общности раннего железного века. Юго-восточнее начинались земли мордвы. Наконец, с юга, по среднему течению Оки на участке от устья Москвы-реки до Касимовской возвышенности, в середине — второй половине I тысячелетия н. э. проживала особая группа населения, оставившая после себя так называемые рязанско-окские грунтовые могильники. Носители этой культуры были по происхождению связаны с городецкими племенами, обнаруживая, тем самым, родство с мордвой и муромой, однако их формирование протекало в условиях смешения коренных волжских финнов с мигрантами из восточнобалтских областей Верхнего Поднепровья.

Этнокультурное окружение исторической области мещеры свидетельствует о ее промежуточном положении между двумя крупными культурными зонами — дьяковской (финно-балтской и мерянской) и городецкой (мордовско-муромской, а также неясным по племенной принадлежности населением среднего Поочья). На это же указывают данные дорусской топонимики региона, в которой выявляется древний пласт как мерянских, так и мордовских географических названий.

Что же представляла собой лето-

⁵ Любавский М. К. Образование основной государственной территории великорусской народности: Заселение и объединение Центра. Л., 1929. С. 90.

⁶ Андрей Курбский. История о великом князе Московском // Памятники литературы Древней Руси: Вторая половина XVI века. М., 1986. С. 232.



Этнокультурная ситуация в Волго-Клязьминском междуречье во второй половине I — начале II тысячелетия н. э.: а — грунтовые могильники мещеры; б — курганные могильники мещеры; в — места находок мещерских древностей; г — рязанско-окские грунтовые могильники; д — погребальные памятники мурома; е — курганные могильники с элементами культуры мери; поселения: 1 — Парыкино, 2 — Жабок, 3 — Пустоши, 4 — Заколлье, 5 — Паратия, 6 — Вырыпаево, 7 — Ватреницы, 8 — Поноевская. Цветом выделены средневековые топонимы и гидронимы с этнической основой.

писная мещера? В решении этой сложной проблемы ключевую роль играют пока еще слабо исследованные археологические памятники начала II тысячелетия н. э. на Мещерской земле, до сих пор не подвергавшиеся специальному изучению.

АРХЕОЛОГИЧЕСКИЕ ДРЕВНОСТИ МЕЩЕРЫ

В 1870—1871 гг. у с. Жабок на правом берегу р. Цны была собрана богатая коллекция вещей, состоящая в основном из финно-угорских украшений. В дальнейшем их исследование показало, что находки происходят из разрушенных грунтовых захоронений. В недавнее время остатки еще одного могильника со сходными древностями обнаружены на левом берегу Цны у с. Парыкино.

Археологические исследования памятников Мещерской низменности ограничены раскопками двух бескурганых кладбищ. У с. Заколлье (верхнее течение р. Колпы) в конце XIX — начале XX в. было вскрыто свыше 20

погребений. Сразу же после окончания работ эти материалы были представлены для интерпретации выдающемуся систематизатору славянских финно-угорских древностей А. А. Спицыну, который отнес памятник к чудской мещере.

В 1920-х годах на широкой площади исследовался могильник у с. Пустоши в верхнем течении р. Гусь; краеведом А. Ивановым здесь было изучено 25 захоронений. Автор раскопок подчеркивал несомненное сходство местной культуры с культурой могильников у селений Заколпье и Жабок, считая вполне вероятной их принадлежность "к особому финскому племени" Мещерской стороны.

Вторую группу археологических объектов образуют известные на Касимовской возвышенности курганные кладбища с финно-угорской культурной подосновой. В 1877 г. на двух из них (дер. Парахина, Поповская) было вскрыто свыше 70 насыпей. Дополнением к этим материалам служат краткие сведения об исследовании курганов у селений Ватреницы и Вырыпаево.

Топографическое размещение грунтовых могильников дает представление о традиционной системе заселения Мещерской низменности, не изменявшейся на протяжении многих столетий и сохранившейся до настоящего времени. Памятники занимают плоские песчаные всхолмления — острова среди болотистой равнины (с. Пустоши) — или примыкают к низкому берегу реки (с. Заколпье). Прибрежная часть Заколпского могильника, едва возвышающаяся над обычным уровнем реки, в период половодья затапливалась водой.

Редкие и рассеянные на большой территории финские деревни были к тому же малолюдными. Судя по материалам полностью исследованного Заколпского кладбища, их население состояло из четырех—пяти взрослых жителей. Поколение средневековых обитателей окрестностей с. Пустоши также не превышало шести—восьми человек. В отличие от соседних волжско-финских группировок, у меще-

ры, по-видимому, отсутствовали крупные родоплеменные центры с плотным поселенческим окружением.

На грунтовых могильниках встречены только погребения несожженных трупов. Умерших хоронили в деревянных колодах. Иногда их покрывали лентами бересты или использовали бересту и луб в качестве подстилок. Наряду с западной ориентировкой погребенных отмечено традиционное для финно-угров положение умерших головой к северу или к югу. Особенностью мещерских кладбищ является размещение между могилами жертвенных ям с остатками кострищ, а также костями животных — лошадей, коров, свиней, — что дает представление о животноводческой основе ведения хозяйства местным населением.

Курганы Касимовской возвышенности, несмотря на качественно иной характер погребального обряда, имеют к проблеме изучения мещеры непосредственное отношение. Мнение об их принадлежности мещерским группам, испытывавшим на себе сильное славянское влияние, было впервые высказано А. А. Спицыным и позднее поддержано в работах других исследователей (П. П. Ефименко, А. П. Смирнов, А. Л. Монгайт).

Как и грунтовые кладбища Мещерской низменности, курганные кладбища располагались на песчаных всхолмлениях близ побережья рек. Умерших хоронили по обряду ингумации в колодах или завернутыми в бересту. Наряду с западной ориентировкой погребенных часто встречаются положения головой к северу или югу. По многим признакам похоронный ритуал касимовских курганов близок к обряду грунтовых могильников мещеры. Вместе с тем типичное для части захоронений положение на боку с подогнутыми ногами находит соответствие в погребальных памятниках средневековой мордвы, а наличие здесь же ингумаций, совершенных в полусидячей позе, — в памятниках муромы.

Инвентарь курганов отличается от древностей Мещерской низменности, что обусловлено, однако, не этнически-

ми, а прежде всего хронологическими причинами. Грунтовые кладбища у селений Жабок, Парыкино, Пустоши относятся к XI в., памятники Касимовской возвышенности — к XII—XIII вв. При обращении к материалам промежуточного по времени Заколпского могильника (конец XI—XII в.) четко прослеживается изменение культурного облика ранней и поздней групп памятников при их несомненной генетической преемственности.

В мещерских древностях полностью отсутствуют этноопределяющие элементы культуры, характерные для мери X—XI вв. Набор женских украшений мещеры качественно отличается и от целостного металллического убора муромы, и от традиционных элементов погребального костюма мордовских племен. Сходство прослеживается лишь по распространению некоторых форм волжско-финских изделий, общих для целого ряда средневековых "иных языщей".

Этническое своеобразие обитателей Мещерского края нашло выражение в широком использовании луновидных пластинчатых колец, наборных нагрудных подвесок с арочными фестончатыми выступами, специфически мещерских типов шейных гривен, цилиндрических и ромбовидных подвесок, в почти постоянном присутствии в женском уборе морских раковин каури. Дифференцирующие признаки местной культуры по своей значимости вполне сопоставимы с теми этноопределяющими элементами, которые используются для племенной атрибуции таких древних народов Поволжья, как мордва, меря, мурома и мари. Отсюда следует, что летописная мещера была не локальным подразделением одной из указанных выше группировок, а составляла особое этническое образование, прошедшее самостоятельный путь развития. Последнее не исключает ее родственных связей с соседними племенами, сложившимися на основе раннего городецкого массива, — мордвой, муромой, а также носителями культуры рязанско-окских могильников среднего

Поочья. Некоторые исследователи даже усматривают в мещере часть рязанско-окского населения, отхлынувшего в северные леса и болота с началом славянского освоения бассейна Оки в конце I тысячелетия н. э.

Вместе с тем в формировании финноязычных обитателей Мещерского края следует учитывать участие и определенного западного (дьяковско-мерянского) компонента. Еще П. П. Ефименко, касаясь обрусения мещеры, указывал на оставленные ею курганы под Коломной⁷. Действительно, здесь и к северу от Москвы-реки встречаются могильники с характерными для рассматриваемого племени древностями; в одном случае типичная мещерская подвеска XI в. найдена на дьяковском городище. Интересно, что коломенский островок славянизированного финно-угорского населения локализован на пограничье со средневековой волостью Мещеркой, а также в относительной близости от р. Мерьской и упоминаемого с XIV—XV вв. селения Меря (последнее, по определению М. К. Любавского, — "несомненный обруселый островок финского племени, жившего в этом краю и давшего свое имя, между прочим, и реке Мерьской")⁸.

Сложившаяся в своеобразной "буферной" зоне между несколькими крупными этническими группировками мещера, по-видимому, не составляла консолидированной общности. Ее последующие исторические судьбы оказались неразрывно связанными со славянским миром. Начальное влияние древнерусской культуры на западные группы мещеры прослеживается с XI в. Именно в это время разворачивается широкое освоение Волго-Окского междуречья славянами-кривичами, охватившее бассейны Волги, Москвы-реки и Клязьмы, мерянские и муромские земли. На раннем этапе славянское воздействие выражалось в усвоении

⁷ Ефименко П. П. Рязанские могильники // Материалы по этнографии. Т. III. Л., 1926. С. 59.

⁸ Любавский М. К. Цит. соч. С. 10.

некоторых форм кривичских украшений и их приспособлении к местным вкусам, а также в появлении нетипичной для финно-угров западной ориентировки умерших.

Однако в XI в. этот процесс не затрагивал еще основ существования самобытной мещерской культуры. Более сильное славянское влияние начинает ощущаться в следующем столетии. В это время на рассматриваемой территории получает распространение древнерусская гончарная керамика, вытесняющая лепную посуду местных форм. В женский убор широко входят новые украшения, появляются и предметы христианского культа. Чудские привески заменяются славянскими бубенчиками и пуговицами, Яркий металлический набор мещерских украшений беднеет, многие из традиционных предметов погребального костюма выходят из употребления.

К XII в. относится сложение на окраине грунтовых кладбищ поздней группы захоронений с западной ориентировкой, инвентарь в которых отсутствует или представлен бедным и невыразительным набором вещей. С этого же времени на Касимовской возвышенности получает распространение курганный обряд, воспринятый частью мещеры от славян-кривичей, продвинувшихся на юг из уже освоенной племенной области мурома.

Массовое заселение края русскими земледельцами, определившее в конеч-

ном итоге полную ассимиляцию мещеры, началось не ранее второй половины XIII—XIV вв. Геоморфология Мещерской низменности (множество озер и заболоченных территорий) наряду с рассеянностью на этих обширных пространствах редких деревень препятствовали активному смешению пришельцев с местными группами. Средневековые актовые документы указывают на существование остаточных островков мещеры еще в XV—XVI вв., а возможно, и в более позднее время.

Современное русское население Мещерской стороны ("русская мещера") сохранило многие особенности, восходящие к дославянскому субстрату. Наиболее яркая из них — распространение так называемых цокающих говоров, которые образуют обособленный диалектный остров, окруженный иными говорами. По единодушному мнению исследователей, эта особенность сложилась в результате ассимиляции финно-угорских группировок Волго-Окского междуречья — мещеры, мурома и мордвы или родственного ей населения среднего Поочья. Определенные элементы мещерского наследия выявляются и в материальной культуре русской мещеры. В антропологическом же отношении современное население не имеет заметных субстратных черт и, очевидно, обязано своим формированием позднейшим миграциям из более западных и северо-западных областей обитания русских.

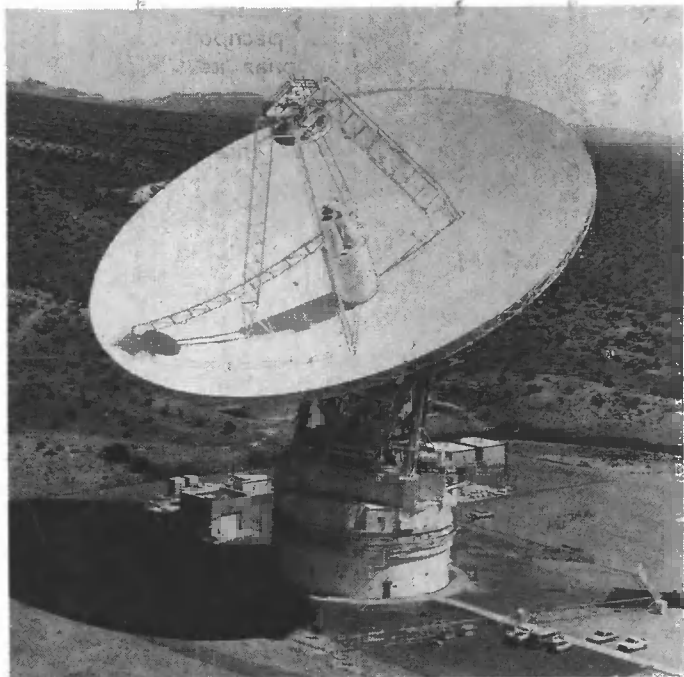
Из Америки в Россию за 30 секунд

А. Л. Зайцев,

кандидат технических наук
Фрязино, Московская обл.

АСТРОНОМЫ США и России планируют провести в середине 1995 г. первые совместные радиолокационные исследования астероида 1991 JX, когда он приблизится к Земле на расстояние 0.034 а. е.

Инструментальную базу радиолокационных исследований объектов Солнечной системы составляют крупнейшие параболические антенны, мощные радиопередатчики и высокочувствительные приемники. И если сеть приемных антенн (диаметром более 64 м) насчитывает сейчас их более десятка в Евразии и США, то мощных передатчиков существует всего три: два в Америке (Голдстоун, штат Калифорния; Аресибо, Пуэрто-Рико) и один на Украине (Евпатория, Крым). На основе этих передатчиков создавались разнесенные системы радиолокационной астрономии, имеющие два дополнительных преимущества перед однопозиционными системами — более высокий потенциал (за счет использования в качестве приемных антенн наиболее крупных радиотелескопов) и возможность непрерывных измерений. Разнесенные системы были применены при радиолокации колец Сатурна (Голдстоун — Аресибо), исследовании полярных шапок Марса и Меркурия (Голдстоун — Нью-Мек-

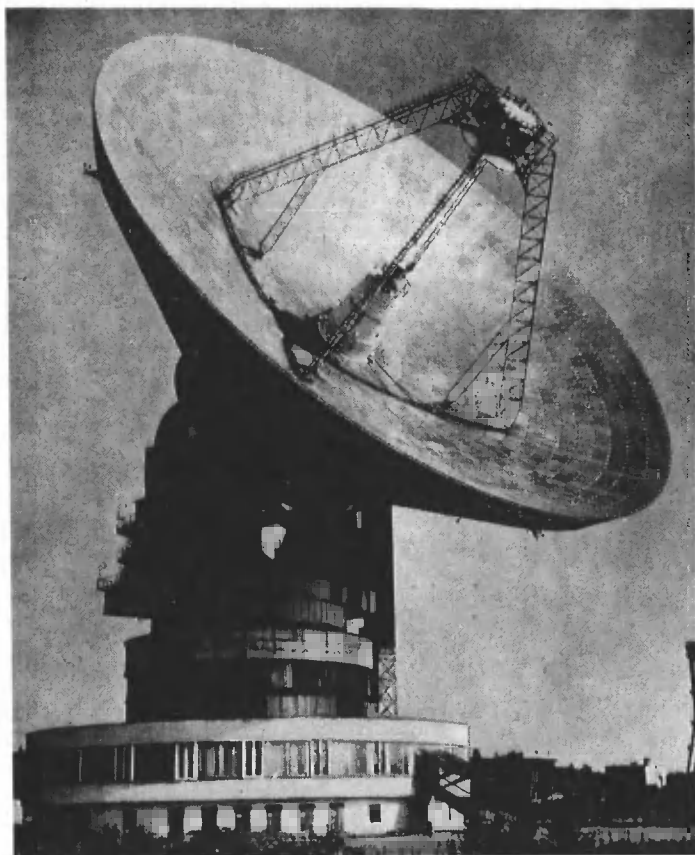


70-метровая антенна в Голдстоуне, которая во время американо-российского эксперимента будет использоваться в качестве передающей.

сико), при локации Венеры (Евпатория — Джодрелл Бэнк, Великобритания) и астероида 4179 Тэутатис, проходившего на расстоянии 0.024 а. е. от Земли (Евпатория — Эффельсберг, Германия).

В планируемом эксперименте в качестве передающей будет использована крупнейшая Голдстоунская полноповоротная параболическая антенна диаметром

70 м. Мощный зондирующий сигнал передатчика на волне 3.5 см будет непрерывно освещать астероид, превращая его на время эксперимента в искусственно «зажигаемую» радиозвезду. Эхосигналы от астероида 1991 JX предполагается улавливать в трех пунктах: под Москвой, на станции дальней космической связи в Медвежьих Озерах, антенной диаметром 64 м, в Центре дальней космической связи под Евпаторией, где находится антенна диаметром 70 м, и, если удастся заинтересовать немецких коллег, в Эффельсберге, с



64-метровая антенна в Медведских Озерах под Москвой, с помощью которой будут приниматься эхосигналы от астероида.

помощью радиотелескопа диаметром 100 м Боннского института радиоастрономии. С российской стороны программа предстоящего эксперимента была разработана в Институте радиотехники и электроники РАН¹. Таким

образом, впервые для исследования небесного тела будет реализован межконтинентальный радиолокатор рекордной чувствительности, использующий крупнейшие инструменты Земли.

Заметим, что при радиолокации больших планет, их спутников и астероидов главного пояса зона соведущей видимости из передающего и приемного пунктов находится в пределах одного континента, поскольку наклонение орбит этих небесных тел не превышает (кроме системы Плутон — Харон) 7°. В отличие от этого, некоторые из комет и астероидов, образующих класс околоземных объектов — астероиды, сближающиеся с Землей (АСЗ), к числу

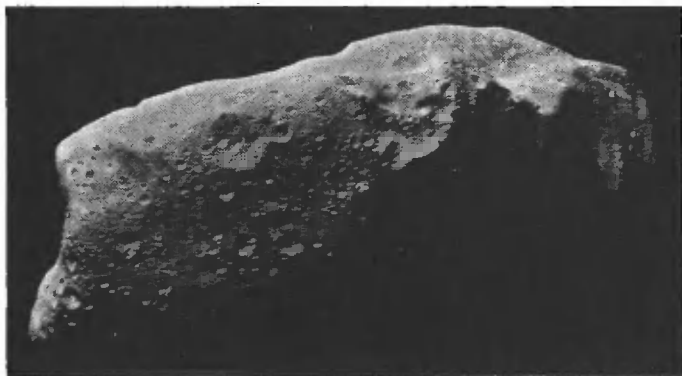
которых относится и астероид 1991 IX — в периоды их максимального сближения с Землей проходят очень высоко над горизонтом и, подобно приполярным созвездиям, видны одновременно из Северной Америки и Европы. Именно это обстоятельство позволяет для их исследований создавать высокочувствительные радиолокационные системы, объединяя интеллектуальные и технические потенциалы США, России, Германии и других ведущих стран.

Радиолокационный мост Калифорния — астероид — Европа радиоволны преодолеют за 30 с, принеся ценную информацию об исследуемом объекте. Смещение частоты эхосигнала относительно частоты излучаемого колебания, вызываемое эффектом Доплера, как ожидается, будет определяться с относительной погрешностью, не превышающей $1 \cdot 10^{-6}$. Это позволит с такой же точностью оценить радиальную скорость АСЗ 1991 IX. Вторым измеряемым параметром будет запаздывание радиозахвата, что позволит, зная скорость радиоволн, с высокой точностью определить расстояние от Земли до астероида.

Актуальные вопросы астероидной опасности требуют изучения орбит АСЗ, выявления будущих опасных сближений с Землей, оценки надежности прогноза этих сближений. Радиолокационные измерения расстояний и скорости астероидов и комет позволяют существенно, в десять и более раз, уменьшить неопределенности орбит и ошибки прогноза последствий опасных сближений.

В процессе радиолокационных исследований 1991 IX

¹ Основные идеи и сама программа были изложены автором статьи, научным руководителем Российской части проекта, в августе 1994 г. на 22-й Генеральной Ассамблее Международного астрономического союза, проходившей в Гааге, и в декабре — на международной конференции в Санкт-Петербурге.



Астероид 243 Ида.

планируется также определить площадь поперечного сечения астероида, степень шероховатости и коэффициент отражения его поверхностного слоя. Непрерывные измерения, в течение как минимум трех дней в июне, по три часа ежедневно, позволят выявить вариации этих параметров из-за вращения астероида. Период вращения пока точно не известен, на основе предыдущих оптических наблюдений получена его верхняя граница, составляющая 3,5 ч.

Кроме чисто научных задач, американские и российские ученые рассчитывают с помощью этого эксперимента привлечь внимание к ряду организационных проблем, связанных со стратегией исследований

малых тел Солнечной системы в XXI в. По-нашему мнению, увлечение космическими экспедициями, слишком дорогостоящими и малоэффективными, когда речь идет о множестве из более чем 10 тыс. астероидов и комет, трудно объяснить научной целесообразностью. Научный руководитель радиолокационного эксперимента с американской стороны С. Остро предлагает средства, затрачиваемые на один запуск космического аппарата, а это в среднем 200 млн. долл., направить на строительство международного астероидного радиолокатора (МАР).

Предварительная экспертиза показывает, что при современном уровне технологии вполне возможно по-

строить инструмент, в 100 и более раз превосходящий по разрешающей способности лучший из оптических инструментов — Космический телескоп Хаббла, создание и вывод на орбиту которого обошлись в 2 млрд. долл. Возможности МАР таковы, что в его поле зрения будет попадать два-три новых объекта в неделю. При этом по детальности радиолокационные изображения АСЗ не будут уступать лучшим телевизионным снимкам астероидов 951 Гаспра и 243 Ида, которые были недавно получены американским космическим аппаратом «Галилео» при пересечении им главного пояса астероидов на пути к Юпитеру. Возвращаясь к заголовку статьи, следует напомнить, что мы будем видеть эти объекты сразу после обнаружения, не тратя годы на подготовку и осуществление космической экспедиции. Что касается использования МАР при решении проблем астероидной опасности, то с его помощью ежедневно можно будет измерять расстояния и скорости нескольких околоземных объектов и оперативно, с высокой точностью прогнозировать их движение.

Космические исследования

У Японии "на прицеле"
Луна

В августе 1994 г. японская правительственная комиссия по деятельности в космосе обнародовала свой 30-летний план работ. В нем предусматривается: соорудить сеть орбитальных "заправочных станций", где будущие космические корабли и автоматические межпланетные станции могли бы пополнять запасы энергии; вывести на низкую орбиту "оперативный центр", пользуясь которым, астрономы будут ремонтировать свою космическую технику и обслуживать ее; построить шесть транспортных кораблей для сообщения между орбитальными базами.

Приступить к созданию инфраструктуры для этих целей намечено в 1995 г., с тем чтобы к 2005 г. вся система уже начала действовать. За это время разрабатываемый ныне беспилотный космический "челнок" должен быть заменен пилотируемым.

В начале XXI в. японские ученые намерены вывести на окололунную орбиту специальный спутник для подробного картографирования поверхности Луны. За этим последуют шаги с целью сооружения на Луне астрономической обсерватории, обслуживаемой людьми.

Значительную часть средств, необходимых для создания инфраструктуры, правительственная комиссия

предполагает получить за счет экономного расходования уже выделенных ей ассигнований. Так, общая стоимость может быть сокращена на 75 % путем переключения с "одноразовых" ракет на ракеты-носители многократного использования, сходные с разрабатываемым сейчас в США типом "Дельта клиппер".

Подобные планы выглядят достаточно амбициозно, поскольку Япония стала космической державой не столь уж давно: лишь в 1994 г. ею была запущена первая собственная ракета значительной грузоподъемности, которая в состоянии конкурировать на международном рынке запуска искусственных спутников.

New Scientist. 1994. V. 143. № 1937. P. 7 (Великобритания).

Астрофизика

На тау Кита — как на Солнце

Сходство звезды тау в созвездии Кита с Солнцем — факт, давно известный астрономам. Подобно нашему светилу, это одиночная желтая звезда, находящаяся от нас на расстоянии "всего" в 11.4 св. лет. Еще в 1960 г. было решено организовать наблюдения этого объекта в радиодиапазоне с целью поиска возможных планет и даже разумных существ на них. Ни то, ни другое пока еще там не обнаружено, однако сделано иное немаловажное открытие.

Недавно Д. Грей

(D. Gray; Западный университет провинции Онтарио, Лондон, Канада) совместно с С. Балюнас (S. Baliunas; Гарвардско-Смитсоновский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс, США) завершили анализ данных наблюдений тау Кита — как собственных, так и выполненных другими астрономами в период между 1968 и 1991 гг.

Обнаружилось, что сходство этой звезды с Солнцем еще более значительное, чем можно было предполагать. Очевидно, на тау Кита существует такая же 11-летняя цикличность в пятнообразующей активности, как и на Солнце. В ходе исследований наблюдалось излучение в линии однократно ионизированного атома кальция, интенсивность которого отражает степень активности процессов на звезде. Как и Солнце, тау Кита обладает слабым излучением в линии кальция, что указывает на минимальную пятнообразующую деятельность. Однако теперь стало ясно, что излучение на тау Кита достигало своего максимума в 1980 и 1991 гг. и, следовательно, именно на эти годы пришлось наибольшее количество пятен.

Трудности, заставляющие исследователей высказываться с некоторой осторожностью, обусловлены как общей слабостью излучения, так и ориентацией оси вращения тау почти точно на Землю, что препятствует обнаружению пятен, если они, как на Солнце, чаще появляются вблизи

экватора, чем вблизи полюсов.

Различия между тау Кита и нашим светилом состоят в том, что ее светимость составляет лишь 40 % солнечной; кроме того, на тау содержится лишь 30 % солнечного количества тяжелых элементов (таких как углерод, азот, кислород и железо).

Вот это и уменьшает надежды обнаружить вблизи тау Кита "населенные" планеты: ведь жизнь, по крайней мере в том виде, в каком мы ее знаем, основана на тяжелых элементах, которых там оказывается слишком мало.

Astrophysical Journal. 1994. 1 June (США); *New Scientist.* 1994. V. 141. P. 14 (Великобритания).

Астрофизика

Красные карлики преподносят сюрприз

Звезды, принадлежащие к классу красных карликов, составляют около 70 % всех звезд нашей Галактики. Это сравнительно маленькие холодные и слабо светящиеся объекты. Их сходство с Солнцем состоит в том, что в них тоже происходят ядерные реакции, превращающие водород в гелий. Но из-за слишком малой массы красного карлика (от 8 до 60 % солнечной) его свечение весьма слабое.

Э. Уэйс (E. Weis; Вестлианский университет в Миддлтауне, штат Коннектикут, США), работая некоторое время на Китт-Пикской национальной обсерватории в штате Аризона, провел в 1980—1991 гг. наблюдения 43 красных карликов. Измерив их излучение в желтой, красной и инфракрасной частях спектра, он устано-

вил, что 21 из этих звезд изменяет свою яркость.

Астрономы давно знали, что многие красные карлики, включая и некоторые из наблюдавшихся Уэйсом, демонстрируют вспышки, длящиеся несколько минут и способные более чем вдвое увеличить яркость звезды. Но колебания яркости, впервые обнаруженные Уэйсом, имеют амплитуду всего 1—3 % и характерное время переменности в несколько лет. В отличие от мощных кратковременных вспышек, это очень медленное и слабое изменение яркости.

О существовании такой переменности у красных карликов специалисты не подозревали. Вероятно, она связана с циклической пятнообразующей деятельностью, подобной той, которая наблюдается на Солнце (где продолжительность цикла в среднем составляет 11 лет).

Для солнцеподобных звезд циклическая в появлении и исчезновении пятен обычна. Однако, в отличие от красных карликов, большинство из них заметных изменений яркости не показывает, так как их высокая светимость как бы перекрывает те незначительные вариации яркости, которые вызываются циклической пятнообразованием.

Уэйс замечает, однако, что и те красные карлики, которые выглядят постоянными, на самом деле могут тоже оказаться переменными, если у них длительность цикла продолжительнее тех 11 лет, что он вел свои наблюдения. Кроме того, некоторые из этих звезд, возможно, находятся на этапе своего развития, характеризующемся отсутствием пятен, как это было с Солнцем между 1645 и 1715 гг. (что на Земле сопровождалось наступлени-

ем малой ледниковой эпохи).

Открытие Уэйса окажет значительное влияние на многие аспекты астрономии. Дело в том, что специалисты для измерения яркости небесных объектов используют в качестве реперов светимость так называемых стандартных звезд, считавшуюся неизменной. Среди наблюдавшихся ученым красных карликов 14 принадлежат к числу стандартных, однако восемь из них теперь оказались переменными. Все это вызывает немалое волнение в астрономическом мире.

The Astronomical Journal. 1994. March (США); *New Scientist.* 1994. V. 141. № 1914. P. 16 (Великобритания).

Планетология

Лед на Луне!

Считается, что на Луне, практически лишенной атмосферы, не может быть ни воды, ни льда. Однако изучение снимков, присланных на Землю с окололунной орбиты космическим аппаратом "Клементина"¹, приводит к иному заключению.

С анализом полученной от "Клементины" информации выступил на конференции Американского геофизического союза в Балтиморе в июне 1994 г. Ю. Шумейкер (E. Shoemaker; Геологическая служба США).

Особый интерес привлекают те 1.5 млн. изображений, которые охватывают южнополярную область Луны. На них впервые обна-

¹ См. подробнее: "Клементина" направляется к Географу // *Природа.* 1994. № 7. С. 107—108.

руживается крупная депрессия поперечником около 300 км, которая, вероятно, некогда возникла вследствие столкновения Луны с иным крупным небесным телом. По мнению Шумейкера, дно этого кратера и прилегающая к нему глубинная область никогда не освещаются Солнцем. В таком случае постоянно царящая там температура близка к -230°C . Следовательно, эта депрессия может служить своего рода погребом, в котором хранится замерзшая влага, попадающая на Луну вместе с кометами.

Когда в будущем на Луне высадятся люди на длительный период, молекулы кислорода и водорода из этого "ледника" вполне могут послужить им для технических целей. Правда, в качестве питьевой такая влага вряд ли достаточно чиста.

Сейчас гипотезу Шумейкера проверяют другие специалисты — по характеру отражения радиоволн, направленных локаторами "Клементины" в южнополярную область Луны.

Science News. 1994. V. 145. № 24. P. 383 (США).

Физика

Новый гиромангнитный эффект

Новое физическое явление обнаружил Б. В. Васильев (Институт физико-технических проблем, Дубна): вращение металлического тела при наличии в нем градиента температуры приводит к его намагничиванию. Это явление в определенной мере можно считать аналогом термо-гальвано-магнитного эффекта Нернста — Эттингсгаузена,

открытого в 1886 г.

Как известно, суть эффекта состоит в том, что в металлическом образце при наличии в нем градиента температуры ∇T и перпендикулярного к нему магнитного поля H возникает электрическое поле E_H (или электрический ток). Магнитное поле, искривляя траектории носителей заряда, отклоняет текущий по проводнику поток электронов, переносящих тепло, от направления, заданного градиентом температуры.

Однако искривление траекторий носителей заряда — электронов в металле — при определенных условиях может быть вызвано и другими причинами.

Б. В. Васильевым проведена серия тонких экспериментов с вращающимися металлическими цилиндрами в магнитном вакууме.

Для создания радиального градиента температуры в осевое отверстие цилиндра помещался нагреватель, а снаружи цилиндр охлаждался воздухом комнатной температуры. После установления заданной разницы температур между внутренней и внешней поверхностями цилиндра ($\Delta T = 30^{\circ}\text{C}$) нагреватель из образца удаляли, образец соединяли с воздушной турбинкой и приводили с ее помощью во вращение со скоростью более 100 об/с. Измерения проводились внутри магнитного экрана, позволявшего создать на образце магнитный вакуум порядка 10^{-5} Э, чтобы предотвратить намагничивание образца за счет токов Фуко, возникающих при вращении металлических тел в магнитном поле лаборатории (геомагнитное и техногенные поля).

Магнитный поток, появившийся за счет вращения образца, измерялся с помо-

щью высокочувствительного сверхпроводящего сквид-магнитометра. Для этого внутрь ферромагнитного экрана помещались криостат с жидким гелием, охлаждавший сквид, и дополнительный сверхпроводящий магнитный экран, который стабилизировал малое остаточное магнитное поле и экранировал сквид и образец от внешних помех. Внутри сверхпроводящего экрана в гелиевой ванне находился «антикриостат», т. е. сосуд с теплым объемом внутри, в который и опускалась воздушная турбинка с исследуемым цилиндром.

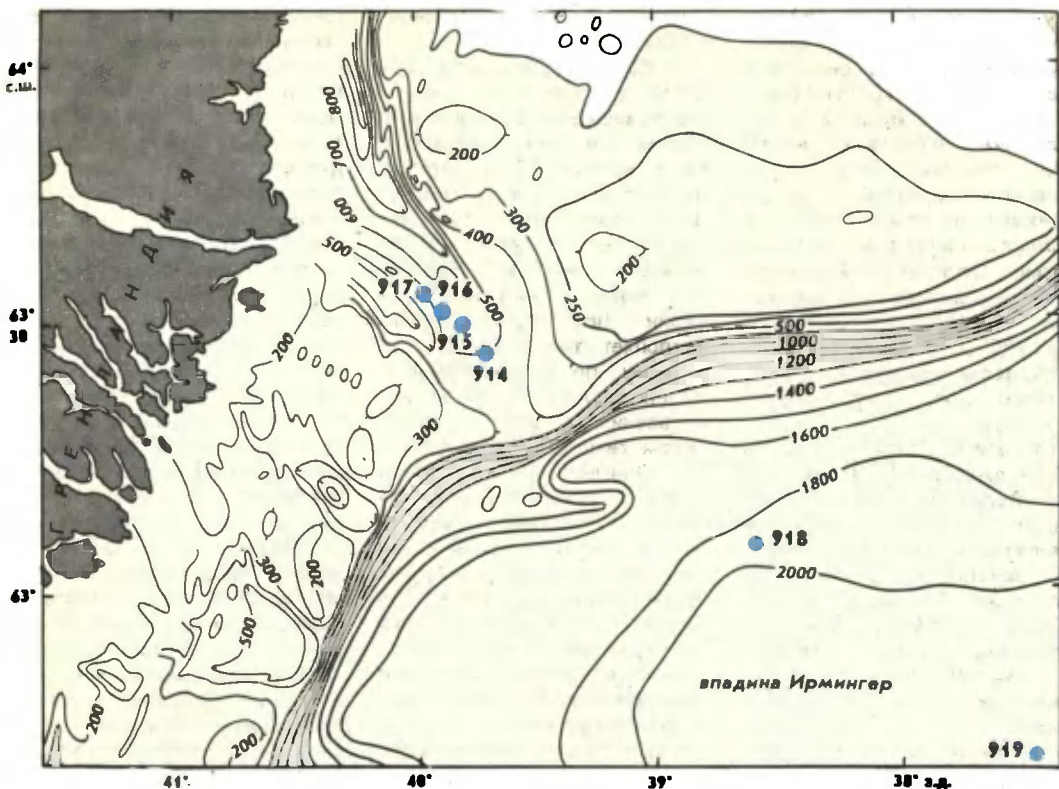
Проведено множество измерений при разных скоростях вращения образца и значениях градиента температуры. На основании этих данных однозначно установлено, что образец индуцирует магнитный поток, величина которого пропорциональна угловой скорости вращения и радиальному градиенту температуры. Это удовлетворительно согласуется с развитой теоретической моделью явления, согласно которой намагниченность пропорциональна отношению градиенту температуры, скорости вращения образца и квадрату длины свободного пробега электронов в металле.

Письма в ЖЭТФ. 1994. Т. 60. Вып. 1. С. 47—50.

Геология

152-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн»

Изучение истории геологического развития пассивных окраин океана — одна из основных современных задач Программы оке-



Район Северной Атлантики, где велись работы по Программе океанского бурения в 152-м рейсе «ДЖОЙДЕС Резолюшн». Цифры на изолиниях — глубина океана; 914—919 — точки бурения.

анского бурения. Особый интерес представляют вулканические рифтогенные окраины, которые, как выяснилось в последнее десятилетие, наиболее широко развиты в Атлантическом и Индийском океанах и природы которых до настоящего времени остается дискуссионной. 152-й рейс «ДЖОЙДЕС Резолюшн» был первым рейсом, в котором изучалась именно такого типа пассивная окраина. Он проводился с 24 сентября по 16 ноября 1993 г. у юго-восточного окончания Гренландии. Со-начальника-

ми рейса были Х. К. Ларсен (H. C. Larsen; Геологическая служба Гренландии, Дания) и Э. Д. Саундерс (A. D. Saunders; Университет Лейсестера, Великобритания), научным представителем Программы океанского бурения на борту судна был П. Клифт (P. Clift; Колледж-Стейшн, США)¹.

В число принципиальных задач рейса входило прежде всего: определение возраста и тектоно-магматических вариаций вкост простирания гренландского шельфа и бассейна Ирмингер, где геофизическими исследованиями установлена серия погружающихся отражающих горизонтов (sea-

ward-dipping reflector sequence); установление природы базальтов, слагающих эти горизонты, и механизма их внедрения; оценка взаимоотношений между исландским рифтом и гренландской вулканической рифтогенной окраиной. Кроме того, в рейсе предстояло изучить историю погружения гренландского шельфа и формирования впадины Ирмингер, эволюцию океанологического режима в данном регионе и историю оледенения южной Гренландии.

В рейсе было пробурено 13 скважин в шести точках, расположенных по профилю через южогренландский шельф (скважины 914—917) и впадину Ирмингер (скважины 918, 919) в интервале глубин 508—2088 м. Четыре скважины (915—918) вошли в базаль-

¹ Larsen H. C., Saunders A. D., Clift P. et al. Leg 152 Preliminary Report. 1993. Ocean Drilling Program College Station.

Номер скважины	Координаты		Глубина океана, м	Глубина скважины, м
	широта	долгота		
914A	63°27.738' с. ш.	39°43.489' з. д.	533	18.6
914B	63°27.737'	39°43.482'	533	245.0
914C	63°27.736'	39°43.479'	533	224.0
915A	63°28.285'	39°46.909'	533	209.4
916A	63°29.137'	39°48.664'	512	101.7
917A	63°29.500'	39°49.665'	508	874.9
918A	63°5.5696'	38°38.336'	1868	332.7
918B	63°5.568'	38°38.339'	1868	25.8
918C	63°5.575'	38°38.328'	1868	35.4
918D	63°5.572'	38°38.334'	1868	1310.1
919A	62°40.208'	37°27.611'	2088	93.5
919B	62°40.201'	37°27.618'	2086	147.0
919C	62°40.198'	37°27.625'	2086	60.1

ты, причем наиболее мелководная из них (917) вскрыла толщу базальтов мощностью около 780 м, подстилаемую тонким прослоем (14 см) грубозернистых кварцевых песчаников, возможно, аллювиального происхождения. Ниже вскрыта толща деформированных слабо метаморфизованных, углистых, пиритсодержащих аргиллитов и песчаников, накопившихся, по мнению участников экспедиции, скорее всего, в анаэробных условиях внешнего шельфа. Возраст этих образований неизвестен, но по составу они близки палеоценовым породам формаций Райберг и Вандфалдаден, обнажающимся в пределах восточной Гренландии.

В разрезе базальтовых лав выделяются три толщ, различающиеся морфологией, химическим составом и мощностью потоков. Самая нижняя толща (444 м), сложенная массивными потоками средней мощностью 12.7 м, представлена ба-

зальтами и оливинowymi базальтами. Лавы средней толщи (193 м) формируют потоки средней мощностью 8.1 м и по составу отвечают более зрелым базальтам и дацитам. В верхней толще (около 142.1 м), образованной потоками средней мощностью 4.2 м, преобладают оливиновые базальты и пикриты. Наличие красной окисленной корки на верхней поверхности потоков, горизонтов везикулярных (пористых) лав и пирокластики, а также прослоев палеопочв и аллювиальных осадков внутри разреза лав свидетельствует в пользу их субазарально-го излияния. Аналогичное происхождение имеют базальты, вскрытые в рейсе другими скважинами. Соотношение редких элементов показывает, что все лавы близки к истощенным базальтам срединно-океанических хребтов, при этом базальты нижней и средней толщ характеризуются высокими значениями отношения

Ba/Zr, что указывает на внедрение магмы в континентальную кору. Полученные материалы исключают какое-либо влияние источника истощенной магмы, аналогичного тому, который питает современный вулканизм Исландии.

Наиболее древние осадки, перекрывающие лавовый разрез, имеют раннеэоценовый возраст и представлены мелководными морскими фациями, фиксирующими начало погружения континентальной окраины Гренландии в то время. В целом осадочный разрез, имеющий мощность от 30 до более 245 м на шельфе и 1188.5 м — во впадине, сложен терригенными образованиями с незначительным количеством прослоев наупланктонного писчего мела и известковистых глин. В осадках впадины Ирмингер нередки прослои турбидитов. В верхней части разрезов всех скважин, за исключением самой восточной глубоководной скважины 919, часто присутствуют горизонты грубообломочных образований, сложенных материалом ледового разнота. По мнению участников рейса, наиболее древние валуны и гальки имеют позднемиоценовый возраст (7 млн. лет). Эта оценка удвояет принятое ранее время начала оледенения в Северной Атлантике по крайней мере на 3—4 млн. лет и показывает, что зарождение ледового покрова в Северном полушарии могло быть приурочено к южной Гренландии.

В рейсе сделано и другое важное наблюдение: в разрезе скважины 918 обнаружены глауконитовые хардграунды внутри миоценового писчего мела. Это указывает, что североатлантическая глубинная водная масса начала проникать в

бассейн Ирмингер (через погружающийся Гренландско-Исландский хребет) 11—13 млн. лет назад.

© И. А. Басов,
доктор
геолого-минералогических
наук
Москва

Океанология

Секреты океанического дна

Исследования последних десятилетий показывают, что наиболее распространенным видом рельефа на нашей планете являются абиссальные холмы — череда возвышенностей на дне глубоководных областей Мирового океана. Они занимают от 60 до 70 % площади Земли, но, несмотря на распространенность таких холмов, механизм их возникновения остается загадкой.

Некоторый свет на данную проблему проливают наблюдения на морском дне, выполненные в январе 1994 г. в ходе погружений американской научно-исследовательской подводной лодки "Алвин". Они совершались в пределах Восточно-Тихоокеанского поднятия, в 1 тыс. км к юго-западу от побережья Мексики в районе Акапулько. О выводах, сделанных при обработке собранных данных, доложили на конференции Американского геофизического союза, состоявшейся в июне 1994 г. в Балтиморе, К. Макдональд, Р. Александер (К. MacDonald, R. Alexander; Университет штата Калифорния, Санта-Барбара) и П. Дж. Фокс (P. J. Fox; Университет штата Род-Айленд, Наррагансет).

Известно, что Восточно-Тихоокеанское поднятие

представляет собой часть Мировой рифтовой системы. Оно служит границей между плитами земной коры, расходящимися друг от друга со скоростью несколько сантиметров в год (8—16 см). По образующимся в ходе этого раздвижения трещинам расплавленные глубинные породы поднимаются к поверхности и здесь, остывая и затвердевая, образуют молодое дно океана.

Часть специалистов предполагает, что абиссальные холмы возникают при вулканических извержениях, происходящих вдоль гребня срединно-океанических хребтов. Другие считают, что холмы образуются в результате растрескивания самой коры. Информация, полученная при погружениях "Алвина", позволяет построить новую, "комбинированную" теорию такого процесса.

По мере формирования молодой земной коры и ее продвижения в стороны от оси хребта она подвергается растяжению, что сопровождается ее растрескиванием. Некоторые из возникающих при этом блоков проседают, порождая долины, а другие остаются на поверхности дна в форме холмов с крутыми склонами. Затем свежие потоки лавы из расщелин срединно-океанического хребта заливают часть образовавшихся трещин и склоны холмов, сглаживая рельеф.

Подобный двухэтапный процесс, по-видимому, достаточно правдоподобно объясняет ход образования абиссальных холмов в Тихом океане и других регионах; где плиты земной коры в процессе спрединга расходятся с наибольшей скоростью. Не исключено, что в других местах, где спрединг идет медленнее,

абиссальные холмы формируются иным образом.

Science News, 1994. V. 145. № 25. P. 397 (США).

Сейсмология

Сейсмологический мониторинг со спутника

Новый метод обработки данных радиолокационных съемок поверхности Земли



Увеличенный фрагмент интерферограммы местности к северо-западу от Ландерса (период с 24 апреля 1992 г. по 18 июля 1993 г., включающий дату толчка). Черным пунктиром показаны ранее определенные разломы; белой сплошной линией — аторичные разломы со сдвигами, наблюдаемыми на интерферограммах. Четыре кольца в левом углу окружают эпицентр толчка, происшедшего 4 декабря 1992 г. (показан крестом).

в районах землетрясений — построение расчетных картин интерференции по двум радиолокационным изображениям, полученным со спутников в разные моменты времени, — расширяют информацию о поверхностных деформациях коры и их развитии во времени.

Даже в таком насыщенном геодезическими станциями регионе, как Калифорния, данных наземных наблюдений часто оказывается недостаточно для описания сейсмического процесса в целом. Так, в 1992—1993 гг. произошла серия землетрясений в Калифорнии у ее границы со штатом Невада; толчок в Ландерсе¹ (28 июня 1992 г.) породил сложную систему разломов длиной 85 км, продольное смещение достигало 6 м. В последующий за этим толчком постсейсмический период произошло смещение до 6 см, но лишь на 15 станциях были зарегистрированы эти деформации; со станций не удалось зарегистрировать ответные сдвиги к западу от первичного разлома. В решении таких задач может помочь наблюдение со спутников; еще более важно оно для труднодоступных сейсмически опасных районов.

В предложенном методе² определения деформации строятся интерферограммы на основе двух

разнесенных во времени изображений одной и той же местности, которые сняты со спутника методом радиолокации с синтезированной апертурой. В результате получается контурная карта изменения дальности, совпадающего в данном случае с изменением вектора смещения коры, точнее, составляющей этого вектора в направлении на спутник. О знаке изменения можно судить по последовательности цветов интерференционных полос. Сравнение с наземными измерениями показывает, что точность определения по интерферограмме указанной составляющей доходит до 4 см. Расчет интерферограммы требует лишь двух радиолокационных изображений, но при этом необходимо иметь также цифровую топографическую модель высот. Если такая модель для исследуемого района отсутствует, ее можно построить различными способами, например по двум изображениям поверхности в отсутствие деформаций.

Для уже упоминавшегося района Калифорнии ошибка в карте высот, по данным геологических служб США, составляет около 30 м. Ее влияние на формирование интерференционной карты зависит от соотношений орбит спутников, снимающих используемые изображения, — от так называемой высоты неопределенности. Этот параметр представляет собой ту ошибку в высотной модели, которая приведет к образованию одной интерференционной полосы. Чтобы уменьшить искажения интерферограммы из-за ошибки в высотной топографии, для синтеза выбирают пары изображений, полученные при наибольших значениях высоты неопределенности (т. е.

при благоприятных ориентациях орбит спутника). В калифорнийском эксперименте геометрия интерференции была такова, что полный цветовой цикл (одна интерференционная полоса) на интерферограмме соответствовал 28-миллиметровому изменению расстояния между спутником и точкой отражения на Земле. Поэтому для орбит с высотой неопределенности в 220 м ошибка карты высот в 30 м могла дать погрешность интерферограммы порядка 4 мм.

Чтобы проследить развитие деформаций после толчков, для построения интерферограмм брались два различных типа пар изображений: пара изображений до и после землетрясения и пара изображений, снятых после толчка. Для землетрясения в Ландерсе были получены интерферограммы, включающие дату толчка и охватывающие периоды в 40 дней и 14 месяцев (первый тип пары), а также периоды с 5-го по 180-й и с 40-го по 355-й день после толчка (второй тип). Их детальное сравнение помогло отделить особенности интерференционной картины, действительно связанные со смещением коры, от артефактов и проявлений атмосферных процессов, а также определить величины сдвигов вблизи известных разломов (сдвиги при этом считаются горизонтальными и параллельными линиям разлома) и установить временной период их образования. Ряд полученных таким образом результатов совпал с известными наземными данными (например, измерение сдвигов вблизи разлома Ленгвуда), а другие дали новую информацию (так был обнаружен сдвиг в 19 мм у разлома Гарлока). Оказалось, что большая

¹ Сейсмическая обстановка в Калифорнии осложнилась // Природа. 1993. № 6. С. 117—118.

² Massonnet D. Etude de Principe d'une Detection du Mouvements Tectoniques par Radar (Centre National d'Etudes Spatiales, Toulouse, 1985); Gabriel A. K., Goldstein R. M., Zebker H. A. // J. Geophys. Res. 1989. V. 94. P. 9183—9191.

часть постсейсмической деформации происходит в течение первых 40 дней после толчка. Это подтверждает предположение об экспоненциальном затухании сейсмического процесса с постоянной времени 48 дней.

Nature. 1994. V. 369. № 6477. P. 227—230 (Великобритания).

Сейсмология

Землетрясение было неожиданным

Жители американского штата Калифорния хорошо информированы о высокой сейсмичности своего региона. И все-таки землетрясение, обрушившееся на городок Нортридж в долине Сан-Фернандо 17 января 1994 г., оказалось для них неожиданным. Этот толчок магнитудой 6.6 по шкале Рихтера был самым сильным в данной местности за последние 23 года. Он повлек за собой разрывы газо- и водопроводных линий, обвалились пешеходные мосты над автострадой, потрескались стены многих домов, а одно трехэтажное жилое здание обрушилось, похоронив 16 мирно спавших человек.

Необычно то, что землетрясение связано не с известным разломом земной коры Сан-Андреас, от которого ждут крупной катастрофы в Лос-Анджелесе и его окрестностях, а со слабо различимым на поверхности разломом Фрю, едва знакомым даже сейсмологам.

Этот толчок, как и прочие в Калифорнии, вызван взаимодействием Тихоокеанской плиты, на которой находится западная часть Калифорнии, с расположенной вплотную к ней Северо-

Американской плитой; разлом Сан-Андреас, легко заметный с воздуха, является главным "участником" этих движений земной коры. Но в южной части Калифорнии присутствуют и другие, менее известные разломы, и вот теперь один из них внезапно дал о себе знать.

Причастность разлома Фрю к землетрясению была установлена сейсмологами после изучения глубины залегания эпицентров толчков и их афтершоков. Полагают, что разлом Фрю есть восточное продолжение другого, более крупного разлома, от которого можно ожидать существенной активности.

Фрю — пример так называемого надвигового разлома; он значительно отличается от разлома Сан-Андреас, который вспарывает поверхность земли в вертикальном направлении; участок, лежащий западнее Сан-Андреаса, соприкасается с лежащим к востоку от него, и их трение приводит к толчкам. Надвиговые же разломы возникают при движении одной плиты поверх другой. Такие разломы уже приводили в окрестностях Лос-Анджелеса к заметным сейсмическим событиям, включая землетрясение магнитудой 6.6 в районе Сан-Фернандо в 1971 г., унесшее жизнь 65 человек.

Последнее (1994 г.) землетрясение стало объектом глубокого изучения в Калифорнийском технологическом институте (Пасаде-на). Исследователи пришли к выводу, что толчок распространился из надвигового разлома, начинающегося на глубине почти 15 км и смещающегося в северном направлении по мере продвижения к поверхности. Верхний слой земли сдвинулся при этом на север приблизительно на 1 м и припод-

нялся на несколько сантиметров, что привело к "росту" расположенных рядом гор Сан-Габриэль.

Лос-Анджелесский бассейн богат надвиговыми разломами: протягивающийся главным образом с севера на юг разлом Сан-Андреас именно около Лос-Анджелеса делает изгиб в западном направлении, что и вызывает здесь особо сильные напряжения в коре. Специалисты признают все же, что о местонахождении и характере поведения надвиговых разломов в районе Лос-Анджелеса им известно недостаточно. Будучи перекрыты слоями пород, такие разломы трудно поддаются обнаружению и изучению; возникающие в их пределах толчки далеко не всегда прорываются на поверхность. За несколько часов до последней трагедии геологи К. Си и Дж. Долан (K. Sieh, J. Dolan; Калифорнийский технологический институт) совершили облет района Нортриджа, но ничего подозрительного, никаких свежих разрывов почвы не отметили.

Опасность этих разломов усугубляется тем, что они расположены в густонаселенных окрестностях Лос-Анджелеса, так что даже не очень сильные толчки могут оказаться весьма разрушительными.

New Scientist. 1994. V. 141. № 1909. P. 6 (Великобритания).

Вулканология

Рейнир — самый опасный вулкан Каскадных гор

На крайнем северо-западе США, в штате Вашингтон находится "дремлющий"

вулкан Рейнир. Судя по геологическим данным, эта гора в отдаленное время неоднократно обрушивалась под воздействием внутренних сил; мощные лавины и селевые потоки затопляли округу, где ныне проживает 100 тыс. человек.

В 1960-х и в начале 1980-х годов Геологическая служба США принималась всесторонне изучать этот район, но катастрофическое извержение вулкана Сент-Хеленс, расположенного поблизости, заставило прекратить работы и сосредоточить внимание специалистов на других потенциально опасных вершинах Каскадных гор. Считая прежнюю информацию о вулканологических, сейсмологических и геофизических особенностях Рейнира устаревшей, Национальный исследовательский совет США в 1994 г. поручил группе сотрудников из разных научных учреждений, которую возглавил геолог Р. С. Фиск (R. S. Fiske), возобновить исследования на современном уровне.

Их участница К. Л. Дриджер (C. L. Driedger; Каскадная вулканологическая обсерватория, Ванкувер, штат Вашингтон) полагает, что Рейнир сегодня является самым опасным из вулканов Каскадных гор. Причина заключается в мощном слое снега и льда, покрывающем его вершину и верхние склоны. В случае активизации вулканической деятельности они мгновенно растают, вызвав селевые потоки. Такая опасность стала особенно очевидной в 1985 г., когда сравнительно небольшое извержение в Колумбии привело к возникновению грязевых потоков, унесших 25 тыс. человеческих жизней.

Как показывают исследования, лавины и сели осо-

бенно характерны для Рейнира: сильный тепловой поток из недр и гляциальные воды уже привели к существенному метаморфизму геологических пород, местами превратив их в слабые глины. Последний по времени мощный сель сошел со склонов Рейнира всего 200 лет назад; мелкие случались в истекшие десятилетия многократно. В случае нового извержения или землетрясения может внезапно обрушиться все это горное сооружение.

В данный момент еще нет непосредственной угрозы, но самое время установить за вулканом фундаментальное наблюдение и провести разъяснительную работу среди населения близлежащих городов Сиэтл, Такома и их окрестностей. Предполагается разместить на склонах горы сеть сейсмометров, отслеживающих движения магмы под поверхностью. Возможно использование спутниковой глобальной позиционной системы (GPS), которая способна регистрировать малейшие движения земной коры. Планируется установить датчики, которые зафиксируют образование облаков пара и селевых потоков за много часов до того, как они начнут спускаться в населенные районы.

Science News. 1994. V. 145. № 22. P. 340 (США).

Метеорология

"Великая зеленая стена" оправдывает себя

В Китае с 1950 г. начались массовые лесопосадки. В основном их районе, широкой полосой протянувшейся с запада на восток параллельно Великой китай-

ской стене, было высажено около 300 млн. деревьев.

В 1994 г. климатические последствия этого гигантского мероприятия обследовала китайско-американская группа экспертов во главе со специалисткой по химии атмосферы Ф. Парунго (F. Parungo; Национальное управление по изучению океана и атмосферы США, Боулдер, штат Колорадо).

Проанализировав непрерывный массив данных, собранных двумя метеостанциями в Пекине и двумя — в городах к западу от столицы, ученые убедились, что за истекшие почти 45 лет частота и продолжительность столь характерных для западного и северо-восточного Китая пыльных бурь существенно сократились (пыльной бурей в Китае считаются условия, при которых несомые ветром частицы снижают горизонтальную видимость по крайней мере до 1 км).

В 50-е годы каждую весну в Пекине отмечалось от 10 до 20 пыльных бурь, полностью перекрывавших небо над городом на 30—90 ч. К началу 70-х годов таких явлений случалось не более пяти в год, а их продолжительность снизилась до 10 ч. в месяц. Хотя и сейчас сухая дымка стоит некоторое время над Пекином каждую весну, она редко достигает уровня, который позволяет метеорологам отнести ее к пыльной буре.

Вполне очевидно, что такому улучшению климатических условий способствовали массовые лесонасаждения. Деревья сдерживают силу ветра и сохраняют влажность почвы, уменьшая подвижность мелких частиц. В Китае высаживают быстрорастущие породы, которые в скором времени смыкают кроны, а про-

странство между их полосами обычно используется для сельскохозяйственных нужд из-за недостатка свободных площадей.

Участник обследования лесовод К. Андраско (K. Andrasko; Управление по охране природной среды США, Вашингтон) указывает, впрочем, что сокращению опасности пылевых бурь в Китае могут способствовать и другие факторы: совершенствование методов возделывания почвы, перераспределение поголовья домашнего скота в целях предотвращения перевыпаса, а может быть, и локальные перемены климата. Все это требует дополнительной проверки.

Руководительница же группы полагает, что климатические перемены в Китае могут, в принципе, иметь значение, далеко выходящее за пределы страны. Известно, что пылевые частицы, переносимые бурей, обнаруживаются по другую сторону Тихого океана — на Аляске и Гавайских о-вах. Однако наряду с отрицательными эффектами они приносят и пользу — питательные вещества, необходимые морским организмам; пылевые частицы служат также ядрами конденсации влаги при образовании дождевых облаков и т. п.

Geophysical Research Letters. 1. June 1994; Science News. 1994. V. 145. № 26. P. 406 (США).

Охрана природы

Метеоокеанологический проект отменен

В 1993 г. сотрудники Скриппсовского института океанографии (Ла-Холья, штат Калифорния, США)

выступили с предложением организовать крупномасштабный эксперимент в целях сбора метеорологической, климатологической и океанологической информации. Согласно разработанному ими плану, специально установленное под водой устройство должно шесть раз в сутки в течение десяти лет генерировать мощную (195 дБ) звуковую низкочастотную волну. Регистрируя скорость ее распространения в водах Мирового океана, ученые могли бы судить о температуре среды, через которую проходит звук, и делать выводы относительно глобального потепления и других климатических процессов. Стоимость проекта оценивалась в 35 млн. долл.

Проект вызвал резкий протест ряда общественных природоохранных организаций. Так, представители влиятельного американского движения "Народ за этическое обращение с животными" обратились к официальным органам с открытым письмом, в котором утверждается, что существуют иные методы изучения процесса глобального потепления, не связанные с нанесением ущерба жителям моря.

С другой стороны, вице-председатель Национального исследовательского совета США Р. Уайт (R. White) заявил, что никаких свидетельств вреда, который причиняли бы морским организмам подобные эксперименты, не существует. А глобальное потепление — слишком реальная опасность для всего человечества, чтобы пренебречь его тщательным изучением.

Из числа всех млекопитающих моря лишь у белухи и дельфина бутылконоса более или менее глубоко исследован слуховой аппа-

рат. Как работают эти органы у других морских животных, например у китов, каланов, вообще неизвестно.

В конце марта 1994 г. Служба морского рыболовства США отказала ученым в разрешении проводить подобный эксперимент до тех пор, пока не будут получены исчерпывающие данные о его влиянии на животный мир океана.

New Scientist. 1994. V. 142. № 1921. P. 3 (Великобритания).

Экология

Пыльца и загрязнение атмосферы

Увеличение числа аллергических заболеваний нередко связывают с ухудшением экологической обстановки. Неудивительно поэтому появление нового направления в науке, которое сформировалось на стыке экологии и аллергологии и официально было признано в 1990 г. в Мюнхене на III Международном симпозиуме аллергологов и в Стокгольме на IV Международной конференции по аэробологии.

Как оказалось, под влиянием антропогенных факторов может меняться форма, размер и симметрия пыльцы различных растений. Это в свою очередь способно вызвать непредсказуемые сдвиги в специфическом иммунном ответе, так как аллергенное действие загрязнителей усиливается при их адсорбции на любой поверхности, в том числе и на поверхности пылевых зерен.

Группа исследователей из НИИ профилактики и медицинской экологии (Бишкек, Киргизия) и МГУ им. М. В. Ломоносова (Москва,

Россия) изучала с помощью сканирующей электронной микроскопии морфологию пыльцы березы повислой и ежи сборной (семейство злаковых), полученной из экологически чистых районов и обработанной бенз(а)пиреном, сигаретным дымом, CO, NO₂, SO₂, а также ультрафиолетом.

Пыльца растений представляет собой довольно стабильную систему с двумя оболочками, защищенную от воздействия окружающей среды. Внешняя оболочка — экзина — весьма устойчива к действию различных химических веществ, температуре и другим разрушающим агентам благодаря спорополленину, состоящему главным образом из окисленных каротиноидов. Внутренняя оболочка — интина — содержит преимущественно полисахарид целлюлозу.

Несмотря на такую прочную защиту, загрязнители все же повреждают пыльцу. Так, сигаретный дым и бенз(а)пирен, сорбируясь на экзине, изменяют скульптуру поверхности пыльцевых зерен, способствуют их слипанию и образованию конгломератов. Ультрафиолетовое облучение (365—400 нм) сильно меняет форму пыльцы, но скульптуру поверхности не нарушает. Неорганические загрязнители (CO, NO₂, SO₂) оказывают множественное действие: изменяют поверхность и форму пыльцевых зерен и даже нарушают целостность их оболочек.

В реальной экологической обстановке (в отличие от экспериментальных условий) при сочетании разных загрязнителей эффект оказывается не просто аддитивным, но, видимо, и синергическим: пыльца в аэробioлогических образцах из

промышленных районов повреждена сильнее, чем обработанная в эксперименте. Так, пыльца растений из семейства маревых в образцах, взятых на территории Хайдаркенского ртутного комбината (концентрация ртути в воздухе превышает 200 ПДК), имеет неправильную, трудно классифицируемую форму, не свойственную нормальной пыльце этого таксона.

Выяснилось также, что пыльца ежи сборной чувствительнее к действию загрязнителей, чем пыльца березы. Вероятно, вообще пыльцевые зерна травянистых растений повреждаются загрязнителями сильнее пыльцы деревьев и кустарников. Авторы проведенного исследования считают, что пыльцу ежи сборной можно использовать как биоиндикатор загрязнения окружающей среды.

Иммунология. 1994. № 3. С. 43—45 (Россия).

Зоология

Зачем гремучей змее ее "погремушка"?

На хвосте у каждой гремучей змеи есть специальная "погремушка", о назначении которой герпетологи давно ведут споры. Предположение, что, сотрясая ею, змея предупреждает своих врагов (в первую очередь бизона и человека) о своем присутствии, было поставлено под сомнение в ходе многочисленных наблюдений.

Новое, аргументированное объяснение предложил зоолог У. Т. Вонстилл (W. T. Vonstill; Центр экологических наук в Уинтер-Парке, штат Флорида, США). Он утверждает, что змеи обладают "электроста-

тическим чувством": используют электростатические эффекты для нахождения добычи, воды, укрытий, а "погремушка" — часть этого механизма. Согласно гипотезе, тело ползущей змеи приобретает при трении о почву электрический заряд, подобный тому, что накапливается у человека, шаркающего ногами по сухому ковру; последующее соприкосновение с металлическим предметом вызывает разряд, и мы чувствуем "укол". Змеи способны накапливать большой заряд электричества благодаря тому, что их кожа очень суха и является отменным изолятором, а волосного покрова или перьев, которые способствовали бы разрядке этого живого аккумулятора, они лишены.

По мнению Вонстилла, "погремушка" за счет вибрации в воздухе вырабатывает статический заряд. Для подтверждения этой идеи он провел следующий эксперимент. Отрезанные "погремушки" прикрепились к нейлоновому пруту и к одному из концов пружины; второй ее конец закреплялся на пластиковой подставке, под которой помещался статический вольтметр. В состоянии покоя электрическое напряжение отсутствовало, но при сотрясении "погремушки" с частотой 60 раз в секунду между ней и землей возникала разность потенциалов величиной от 75 до 100 В; при вибрации в отсутствие "погремушки" напряжение оставалось нулевым.

Любопытно, что совсем молодые гремучие змеи и представители более мелких видов змей, будучи потревоженными, не издают при сотрясении хвоста характерных шумов, что также противоречит гипотезе отпугивания врагов. Правда, не

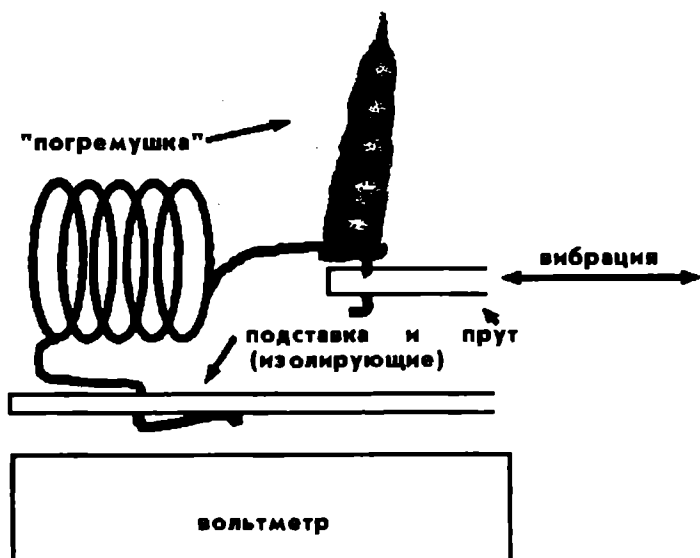


Схема эксперимента: "погремушка" змея подсоединена к пружине и пруту, продольное движение которого вызывает вибрацию; вольтметр регистрирует возникающую разность потенциалов.

исключено, что у крупных экземпляров работают оба механизма.

Вонстилл считает, что гремучие, а возможно, и иные змеи используют свой статический заряд для зондирования окружающей среды, например, чтобы обнаружить места с повышенной влажностью воздуха. Увлажненная воздушная струя обычно поднимается там, где находится водоем, или же сопутствует дыханию возможной жертвы змеи. Влажная струя легко "подбирает" с земли электрический заряд, и пресмыкающееся способно это почувствовать. Обследуя новую местность, змея то высовывает язык, то прячет его. Если тело змеи заряжено, нежные окончания ее раздвоенного языка или притягиваются к земле, или отталкиваются, в зависимости от электрического заряда

местности. Вероятно, у змеи имеются рецепторные клетки, воспринимающие всю эту важную для животного информацию.

Лабораторные исследования показали, что на изменение потенциала змея реагирует так же, как на изменение освещенности или запаха. Для окончательного подтверждения гипотезы об "электростатическом чувстве" змеи необходимы наблюдения в естественных условиях.

Nature. 1994. V. 370. № 6486. P. 184; New Scientist. 1994. V. 143. № 1939. P. 17 (Великобритания).

Ботаника

Лиственные наступают после пожаров

Процесс реколонизации деревьями участков леса и тундры, подвергшихся пожарам, изучали С. Ландхаузер и Р. Уэйн (S. Landhausser, R. Wein; Университет провинции Альберта, Эдмонтон, Канада). В районе Инувика (северо-западная территория Канады) они сопоставили ви-

довой состав растительности тех местностей, где огонь выжигал ее на протяжении последних лет, с теми, где лесной и травянистый покровы пожарам на памяти человека не подвергались.

Установлено, что в реколонизованных растительностью районах хвойные породы, и прежде всего ели (*Picea mariana* и *Picea glauca*), значительно менее распространены, зато листовенные — береза (*Betula papyrifera*) и тополь (*Populus balsamifera*) — становятся все более многочисленными.

Более того, эти листовенные породы в последнее время расширяют свой ареал и появляются в ранее безлесной тундре, куда хвойные не проникают совсем. Специалисты полагают, что способствует этому то обстоятельство, что в последние годы вегетационный сезон стал несколько более теплым и сухим, чем прежде.

Они предсказывают, что глобальное потепление позволит листовенным, в особенности тем из них, которые способны распространять семена на значительное расстояние, продвигаться понемногу все глубже в тундру после каждого пожара. Климатический сдвиг в сторону потепления и большей сухости делают пожары в этих областях частым явлением, усиливая тем самым подобную тенденцию.

New Scientist. 1994. V. 141. № 1910. P. 14 (Великобритания).

Палеогеография

Стена музея стала его экспонатом

В июле 1994 г. в Шотландском королевском



Фрагмент блока с вкраплениями окаменелых древесных остатков.

музее (Эдинбург, Великобритания) проводился очередной ремонт. Строительный рабочий Б. Харди (B. Hardy), которому было поручено пробить отверстия для новой проводки на стене здания, возведенного в 1889 г., заметил, что вдоль одного из блоков протянулись странные, но четкие темные полосы.

Немедленно вызвали специалистов, среди которых был палеобиолог Р. Бейтман (R. Bateman). Он установил, что песчаник включает вкрапления окаменелых остатков дерева, произраставшего здесь около 336 млн. лет назад. Дальнейшие исследования показали, что дерево принадлежало к группе ликопсид, процветавшей среди болот в далеком каменноугольном периоде.

Эти деревья — родст-

венники современных плаунов — достигали 35-метровой высоты; их ствол, покрытый мощной грубой корой, в толщину превышал 1 м; листья по виду напоминали разросшиеся иголки хвойных пород. Когда в конце каменноугольного периода наступило глобальное потепление и болота пересохла, ликопсиды вымерли.

При строительстве Шотландского королевского музея материал брали из крупных каменоломен в графстве Западный Лотиан. Ученые предполагали, что эта область свыше 300 млн. лет назад находилась вблизи экватора и была покрыта тропическими болотами. Теперь, благодаря открытию в стене музея "свидетелей" тех отдаленных времен, получены новые доказательства этой гипотезы. А музей отныне к числу своих экспонатов может отнести не только те, что лежат в шкафах и на полках, но и сами стены.

Помимо прочего, это

говорит о том, как хорошо, когда строительный рабочий достаточно образован и любознателен.

New Scientist. 1994. V. 143. № 1937. P. 11 (Великобритания).

Палеогеография

Глобальная катастрофа в конце мела: великий пожар и грандиозное цунами

Как известно, одна из гипотез связывает исчезновение на Земле динозавров, аммонитов и великого множества других морских и наземных животных с падением на Землю 65 млн. лет назад громадного небесного тела, метеорита или ядра кометы¹. Известно и место падения зловещего гостя: нынешний берег п-ова Юкатан, всю северную часть которого занимает половина огромного многокольцевого метеоритного кратера Чиксулуб. Южная половина кратера располагается здесь, на суше, и дуги четырех его колец (диаметр внешнего — почти 300 км) прослеживаются в рельефе и по аномалиям силы тяжести; северная же половина кратера погребена под осадками морского дна Мексиканского залива. Возраст кратера в точности совпадает с границей мела и палеогена — 64.98—65.07 млн. лет².

¹ См.: Природа. 1986. № 1. С. 53—60; 1986. № 11. С. 113; 1992. № 8. С. 113—114; 1994. № 3. С. 126—127; 1994. № 11. С. 34—42.

² Pope K. O. et al. // Nature. 1991. V. 351. № 6322. P. 105; Swisher C. C. et al. // Science. 1992. V. 257. № 5072. P. 954—958; Sharpton V. L. et al. // Science. 1993. V. 261. № 5128. P. 1564—1567.

Основные черты поздне-меловой катастрофы уже ясны, сейчас уточняются детали. Известно, что падение небесного тела вызвало на всей планете грандиозный пожар, пепел от которого найден в столь далеких от Юкатана местах, как Дания, Италия, Новая Зеландия³. Метеорит упал в море рядом с современным берегом. Его падение вызвало грандиозное цунами, следы которого обнаружены на Кубе, Гаити, вблизи Колумбии. Даже в Техасе, в 1200 км от места падения, высота волны цунами составляла 50—100 м⁴.

Недавно группа сотрудников Южно-Иллинойского университета в Карбондейле совместно с итальянским геологом А. Монтанари⁵ изучили мощный слой клас-тического (обломочного) материала в районе Арройо-эль-Мимбраль на северо-востоке Мексики, приблизительно в 100 км от Юкатана; этот трехметровый слой перемешанных обломков отложился как раз на границе мела и палеогена. Пробы, взятые непосредственно под слоем отложений, обогащенных иридием, который по всему миру маркирует эту границу, оказались состоящими в

основном (а органическое вещество — исключительно) из частиц ископаемого древесного угля. Химический анализ частиц угля показал, что их состав, в особенности преобладание высокоароматических и полициклических ароматических углеводородов, типичен для продуктов неполного сгорания древесины. Сам же этот слой осадков, содержащий наряду с остатками полусгоревшей растительности также тектиты (небольшие оплавленные осколки горной породы, разлетающиеся от кратера), отложился в море на глубине около 600 м.

Вырисовывается такой сценарий. Пролет метеорита через земную атмосферу вызвал мощную тепловую ударную волну и тепловое излучение, на два порядка интенсивнее солнечного. Возник колоссальный огненный шар. На громадном пространстве суши вспыхнула вся растительность. Затем поднялась грандиозная волна цунами. Она хлынула на берега, потушила пожар, увлекла гигантские массы обугленной и обгоревшей древесины в море и отложила ее на дно далеко от берега. Но там, куда волна не дошла, пожар продолжал расширяться. Сгорела четверть всей растительности суши. Атмосфера планеты была заполнена сажей и ядовитыми газами. Началась "метеоритная зима". Постепенно остатки сажи вместе с частицами иридия и других металлов, содержащихся в разметанной взрывом метеоритной пыли, осели на сушу и дно океанов, образовав иридиевую прослойку в отложениях. Атмосфера очистилась. Температура, которая сначала резко понизилась от затемнения, а затем повысилась из-за парникового

эффекта (фитопланктон морей и океанов на 90 % с лишним погиб и избыток CO₂ перестал поглощаться), постепенно пришла в норму, и жизнь на Земле восстановилась. Но это была уже иная жизнь.

© К. Н. Несис,
доктор биологических наук
Москва

Палеонтология

Найден "ходячий кит"

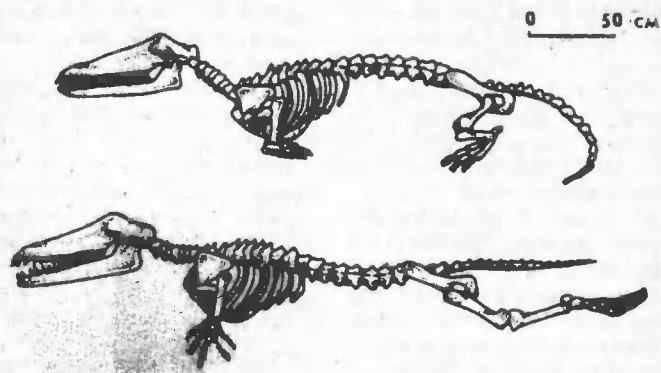
Биологами - эволюционистами давно установлено, что киты произошли от четвероногих млекопитающих, вернувшихся с суши в водную стихию, хотя детали этого "возвращения" оставались до сих пор загадочными. Палеонтологи неоднократно находили остатки как сухопутных, так и уже полностью морских предков кита, однако до сих пор им не попадались представители промежуточного эволюционного звена. И вот наконец ученые могут ознакомиться с древним китообразным, умевшим и плавать, и ходить по земле.

Американо-пакистанская экспедиция, возглавляемая палеонтологом Х. Тевиссом (H. Thewissen; Северо-Восточный университет штата Огайо, Рутстаун, США), обнаружила на территории Пакистана неплохо сохранившиеся остатки существа, жившего около 50 млн. лет назад. Ему дано название *Ambulocetus*, т. е. "ходячий кит". По размеру амбулоцетус сравним с крупным самцом современного морского льва, а масса его достигала 300 кг. Задние конечности были короткие и толстые, с крупными "ступнями"; бедренная и берцовая кости существенно длиннее, чем у мор-

³ Wolbach W. S. et al. // *Nature*. 1988. V. 334. № 6184. P. 665—669; Venkatesan M. I., Dahl J. // *Nature*. 1989. V. 338. № 6210. P. 57—60; Melosh H. J. et al. // *Nature*. 1990. V. 343. № 6255. P. 251—254.

⁴ Bourgeois J. et al. // *Science*. 1988. V. 241. № 4865. P. 567—570; Hildebrand A. R., Boynton W. V. // *Science*. 1990. V. 248. № 4957. P. 843—847.

⁵ Krige M. A. et al. // *Geochimica et Cosmochimica Acta*. 1994. V. 58. № 4. P. 1393—1397.



Скелет амбулоцетуса: сверху при движении по суше, внизу в воде.

ского льва, но короче в сравнении с обычными наземными животными. Охотясь в море, амбулоцетус изгибал тело подобно современному китообразному и подгребал перепончатыми лапами. И хотя плавание было основной формой его передвижения, он вполне мог ходить по суше, впрочем, по всей вероятности, весьма неуклюже — опираясь брюхом о землю.

Киты, после того как их предки окончательно покинули сушу, стали одной из наиболее специализированных групп среди всех млекопитающих. Передние конечности у них превратились в плавники, а задние почти полностью исчезли; только у некоторых видов китообразных сохранилась пара небольших костей, глубоко погруженных в мышечные ткани и напоминающих о давно утраченных задних конечностях.

Промежуточным видом между "ходячим" китом и современным "безногим" служил *Basilosaurus*, живший около 40 млн. лет назад. Его змееподобное 16-метровое тело имело рудиментарные задние конечности и очень малых размеров передние, которыми ни для

ходьбы, ни для плавания он пользоваться явно не мог.

Открытие амбулоцетуса существенно уточняет детали эволюции китообразных. Тот факт, что амбулоцетус, как и *Pakicetus* (живший около 52 млн. лет назад), был найден в Пакистане, подкрепляет гипотезу, согласно которой этот регион и был прародиной китообразных.

New Scientist. 1994. V. 141. № 1909. P. 9 (Великобритания).

Палеоантропология

Колумб не виноват

Среди множества грехов, приписываемых европейцам, хлынувшим в Новый Свет после Христофора Колумба, нередко называют заражение аборигенов неизвестными прежде для них болезнями, в первую очередь туберкулезом, косившим ряды индейцев в XVI—XVIII вв. Специалисты же по палеопатологии, подозревая, что такое обвинение несправедливо, затруднялись доказать это. Разумеется, туберкулез оставляет неизгладимые следы в организме, но существует еще несколько болезней, распространяемых микробами и грибами, деятельность ко-

торых приводит к сходным проявлениям. Были случаи, когда в мумифицированных трупах индейцев находили "подходящие" микробы, но уверенно различить, была ли *Mycobacterium tuberculosis* или нечто другое, всякий раз оказывалось невозможным.

Но вот теперь археологи, ведущие раскопки в южных районах Перу, открыли крупное захоронение, принадлежавшее народности чирибая, которая населяла эту область еще задолго до образования империи инков, не говоря уж об открытии белыми Америки. Эта местность — одна из наиболее засушливых на Земле, а потому тела умерших нередко успевают полностью мумифицироваться, прежде чем могли бы разложиться.

Изучить эти естественные мумии пригласили американского биолога А. Ауфдерхайде (A. Aufderheide; Университет штата Миннесота, Дупут) и его коллег из Чикагского университета. Среди объектов исследования была мумия примерно 40-летней женщины со следами туберкулезного поражения тканей легких и грудной клетки. Анализ ДНК из этих тканей с несомненностью подтвердил ее принадлежность микробам туберкулеза.

Участвовавший в работах антрополог Ч. Мербс (Ch. Merbs; Университет штата Аризона, Темпе, США) подчеркнул значимость этого открытия: зная, что туберкулез встречался среди индейцев доколумбова периода, ученые смогут определить, насколько он был тогда распространен и стал ли весьма частым заболеванием лишь в условиях скученности населения.

С помощью современных методов можно будет проследить за распростра-

нением вирусных заболеваний и проверить утверждения, согласно которым человеческие популяции в Новом Свете были до появления европейцев слишком малы для возникновения вирусных эпидемий. Возникает вероятность решения и такого старого спора: появился ли впервые сифилис в Америке или в Старом Свете. Наконец, есть некоторая надежда проследить, является ли вирус СГИДа "новинкой" или его просто ранее не умели обнаруживать.

New Scientist. 1994. V. 141. № 1917. P. 5 (Великобритания).

Антропология

Баски — древнейшие жители Европы!

Баски, населяющие север Испании и юго-запад Франции, говорят на языке, по-видимому, прямо не связанном ни с каким из живых языков мира. Это единственный доживший доныне язык из тех, на которых еще 6—7 тыс. лет назад говорили люди, переселившиеся в Западное Средиземноморье из Восточного и принешие с собой земледельческие навыки и технику обработки почвы.

В последнее время "особость" этого народа начала определяться и на генетическом уровне. Так, установлено, что баскам принадлежит первое место в мире по частоте встречаемости резус-отрицательной группы крови и последнее — по распространенности гена В в системе АВО.

Недавно Ф. Калафелль и Х. Бертранпти (F. Calafell, J. Bertranpetit; Барселонский университет, Испания) вы-

полнили статистический анализ ДНК басков. Оказалось, что представителям этого народа свойственно особое распределение и других "генетических черт". Однако в пределах компактно заселенной ими территории отмечено мало вариаций. Это может свидетельствовать о том, что в древности баски, хотя и перемещались по долинам Пиренейских гор, оставались в изоляции относительно остального мира, по крайней мере, до недавнего времени.

Ряд раскопок (а также сохранившаяся пещерная живопись) свидетельствуют, что довольно многочисленная человеческая популяция заселяла нынешнюю Страну басков в то время, когда ледниковый период шел к концу. Между 20500 и 16500 гг. эта популяция резко возросла, но с тех пор остается сравнительно постоянной. Не исключено, что в ее составе были отдаленные предки современных басков. Интересно, что даже античные авторы I тысячелетия до н. э. отмечали "странность" этого народа.

American Journal of Anthropology. 1994. V. 93. P. 201 (США); New Scientist. 1994. V. 141. № 1917. P. 17 (Великобритания).

Палеоантропология

Возраст Люси уточнен

Прошло около 20 лет с тех пор, как американский антрополог Д. Джохансон (D. Johanson) обнаружил в Эфиопии останки представительницы одного из видов гоминид — австралопитека афарского. Подруга предполагаемого предка человека получила имя Люси, но

точный ее возраст оставался до последнего времени неизвестным.

Недавно другой американский ученый Р. Уолтер (R. Walter; Институт происхождения человека, Беркли, штат Калифорния), применил высокоточную методику датирования, позволяющую анализировать отдельные зерна тех вулканических пород, которые сохранили эти ископаемые останки. Ему и удалось установить, что Люси жила 3.18 млн. лет назад.

Тем же способом он определил возраст и так называемой Первой семьи — 13 особей австралопитека афарского, среди которых были и взрослые, и дети (или следует сказать — детеныши?). Найденные неподалеку от Люси, они, тем не менее, оказались по возрасту несколько «старше» — 3.2 млн. лет.

New Scientist. 1994. V. 141. № 1908. P. 11 (Великобритания).

«Крик беотийцев» — шутка или реальность?

А. И. Серебряный
Москва

ДВА года тому назад «Природа» отметила 200-летие со дня рождения великого русского математика Николая Ивановича Лобачевского. В № 7 журнала за 1993 г. по этому знаменательному поводу была опубликована серия статей, содержащих немало интересных фактов и мыслей. Но одно высказывание из статьи Г. Е. Изотова «Легенды и действительность в биографии Лобачевского» вызывает возражения. Это высказывание относится не к Лобачевскому, а к его старшему современнику — Карлу Фридриху Гауссу (1777—1855).

Приходится напомнить, что неевклидова геометрия была открыта почти одновременно тремя учеными — К. Гауссом, Н. И. Лобачевским и Я. Больяи.

Выдающийся немецкий математик, астроном и физик Гаусс, который, кажется, опередил своих современников чуть ли не во всех областях математики, кроме проективной геометрии, к идеям неевклидовой геометрии приблизился также раньше других. Однако своих результатов так и не обнародовал.

«Вероятно, я еще не скоро смогу обработать свои пространственные исследования по этому вопросу», писал он Бесселю в 1829 г. — чтобы их можно

было опубликовать. Возможно даже, что я не решусь на это во всю свою жизнь, потому что боюсь крика беотийцев, который поднимется, если я выскажу свои воззрения целиком»¹. (Беотия — область в Древней Греции; афиняне считали беотийцев людьми некультурными и грубыми.) Что при этом имелось в виду?

Г. Е. Изотов рассуждает следующим образом: «Гаусс уже при жизни был так велик, что даже "беотийцы" не осмелились бы поднять крик, и высказывания Гаусса — скорее всего шутка».

Если это шутка, то отчего же Гаусс всю жизнь старался сделать так, чтобы его имя не связывалось с разработкой неевклидовой геометрии.

Утверждение Г. Е. Изотова, будто авторитет Гаусса был столь велик, что он мог ничего не опасаться, не убедительно. Действительно ли Гаусс жил в особое время и в таком месте, где власть настолько почитала своих мыслителей, что им ничто не угрожало?

Высказывание Г. Е. Изотова — не единственное утверждение, которого мы коснемся в этой заметке. Другие два сомнительных высказывания — утверждение, что из существования

неевклидовой геометрии следует, будто математика не априорна, и утверждение, что, не сообщив человечеству о великом открытии, Гаусс якобы нарушил моральные нормы ученого.

В Ганновере, в Геттингенском университете, где работал Гаусс, существовала господствующая идеология — вульгаризированная философия Канта.

Даже в первой четверти XX в. приходилось считаться с влиянием так называемых кантианцев. В 1919 г. А. Эйнштейн пишет М. Борну о М. Шлике: «...Нам надо бы подумать о профессорской деятельности для него... Но это будет нелегко, так как он не принадлежит к философскому лагерю кантианцев»².

К нашей теме имеют отношение следующие положения философии Канта: 1) невозможно мыслить без априорных знаний; 2) в их число входит математика; 3) частью математики является утверждение об истинности аксиом евклидовой геометрии.

Несомненно, неевклидова геометрия противоречит положению 2. Гаусс осознавал это. В 1817 г. в письме к астроному В. Ольберу он писал: «...геометрию приходится ставить не в один ряд с арифметикой, существую-

© Серебряный А. И. «Крик беотийцев» — шутка или реальность?

¹ Цит. по: Каган В. Ф. Лобачевский. М.; Л., 1948. С. 378.

² Эйнштейновский сборник. М., 1972. С. 13.

щей чисто а priori, а скорее с механикой»³.

Можно ли считать, что Гаусс опроверг философию Канта? Это уже зависит от того, как понимать Канта. «У каждого философа свой собственный Кант» — писал А. Эйнштейн⁴.

Некоторые математики и философы убеждены, что открытие неевклидовой геометрии навсегда покончило с концепцией априорности математики, а то и вообще априорных знаний. Но это неверно. Существование неевклидовой геометрии не противоречит положению об априорности математики. Совокупность геометрий с таким же успехом может быть априорна, как и одна геометрия. Гаусс не отвергал идею априорных знаний и по меньшей мере признавал, что арифметика априорна.

Если философ считает основным в кантовской философии положение 1, то признание неаприорности евклидовой геометрии не помещает ему сказать, что все-таки он «неокантианец». Но для кантианцев — современников Канта и Гаусса — приведенные положения (1—3) были неразрывно связаны между собой, и существование неевклидовой геометрии в их понимании подрывало всю философию Канта.

То, что открытие неевклидовой геометрии вызывало сомнение в истинности философии Канта, признают все, но мнение, что под «беотийцами» понимаются кантианцы, разделяется не

всеми. Автор биографического исследования о Гауссе В. Бюлер считает, что это просто «необразованные» люди. Такое утверждение неточно. Математики, отрицательно отзывавшиеся о геометрии Лобачевского, под это определение не подходят.

Ф. Клейн думает, что «для Гаусса причиной полного молчания ... была абсолютная безнадежность найти у широкой публики хоть какое-нибудь понимание столь парадоксально выглядящих вещей»⁵. Можно добавить, что кантианство послужило одной из причин «безнадежности найти у широкой публики хоть какое-нибудь понимание». Однако, на этот счет много более категоричных утверждений. Вот как высказывается по этому поводу И. М. Яглом: «Понятия пространства, времени и геометрии Кант считал априорными, заранее вложенными в наш разум и не подлежащими критике или замене какими-либо иными представлениями; высокий авторитет Канта укрепил эти ложные установки. Весьма вероятно, что именно нежелание вступать в конфликт с позицией столь высокочтимого в Германии философа побудило Гаусса не только воздержаться от публикации своих открытий в области неевклидовой геометрии, но и категорически запретить знающим об этом друзьям рассказывать кому-либо об его истинных воззрениях»⁶.

Я бы не стал утверждать, что все дело в

кантианской идеологии. Неевклидова геометрия противоречила как интуиции, так и существовавшей парадигме математики. Поэтому можно сказать, что дело тут в природе человека или в европейской культуре. «Беотийцы» — это не только кантианцы. Н. Г. Чернышевский был антикантианцем (он считал, что есть только один философ, у которого были правильные представления о вещах — Фейербах), но это не мешало ему оказаться среди «беотийцев». Вот какие рассуждения находим мы в его письме к сыновьям от 8 марта 1878 г.: «Гаусс был сбит с толку философией Канта и, когда пускался философствовать, завырался... И он принял за поправку Канта, оставаясь в сущности, — он, простодушная, невежественная деревенщина по этому «диалектическому», а вовсе не математическому вопросу, — по вопросу о достоверности наших чувственных восприятий, одурочен Кантом. Ему ли, неотесанному мужику из глухой деревни, бороться с Кантом? — Он даже не понял Канта; и, опровергая его, повторил его мысли в изуродованном виде... У Канта нет таких мужичьих несуразностей невежественной деревенской нескладной речи, как «пространство двух измерений» или «четырёх измерений»⁷.

Кантианское убеждение в априорности евклидовой геометрии было частью существовавшей парадигмы математики, и оно играло важную роль.

Высказывание взглядов, в чем-то противоречащих официальной идеологии, в

³ Цит. по: Лаптев Б. Л., Розенфельд Б. А. Геометрия // Математика XIX века. Геометрия. Теория аналитических функций. 1981. С. 60.

⁴ Цит. по: Пайс А. Научная деятельность и жизнь Альберта Эйнштейна. М., 1989. С. 307.

⁵ Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии. М., 1989. С. 73.

⁶ Цит. по: Клайн М. Математика. Утрата определенности. (Прим. к гл. IV.) М., 1984. С. 411.

⁷ Чернышевский Н. Г. Соч. в двух томах. Т. 2. М., 1987. С. 441—442.

разные времена преследовались по-разному. Конечно, нечего и сравнивать роль философии Канта в Германии XIX в. со значением католической религии в пору Галилея или диалектического материализма у нас во времена Сталина. Философия Канта и не служила официальной идеологией, а «чем-то вроде».

Разумеется, ни костер, ни ГУЛАГ Гауссу не угрожали. Но, может быть, что-то, помимо общественного мнения, все-таки угрожало?

Можно привести множество примеров преследования инакомыслящих в различных государствах Германии. Вот только один эпизод. В 1837 г. новый король Ганновера Эрнест Август отменил конституцию 1833 г. и восстановил конституцию 1819 г. Семь геттингенских профессоров отказались принести присягу, им было предписано в три дня покинуть пределы Ганновера. Братьям Гримм и историку Гервинусу пришлось тоже уехать. «Эрнест Август отнесся к происшедшему спокойно, заметив, что ему нанимать университетских профессоров так же легко, как балетных танцоров»⁸.

Гаусса эта история касалась близко. В числе семи профессоров был его зять, востоковед Эвальд, и друг, профессор физики Вильгельм Вебер. С уходом Вебера Гаусс «терял единственного коллегу в Геттингене, с которым у него когда-либо установились подлинные и взаимообогащающие творческие взаимоотношения»⁹. Памятник Гауссу и Веберу в Геттингене — свидетельство того,

сколько тесно связаны эти имена в сознании потомков.

Что же все-таки угрожало Гауссу? Возможно, что точно ответить на этот вопрос не смог бы и сам Гаусс. При совершении поступков, не одобряемых властями или обществом, часто трудно сказать, какие неприятности за этим последуют. Ведь даже для поездки в «ближнее зарубежье», т. е. в другие государства Германии, Гаусс должен был испрашивать разрешение у герцога. Могли и не пустить.

В случае, когда речь идет не о репрессиях со стороны властей, а об осуждении со стороны общества, неопределенность еще больше.

Можно предположить, что у Гаусса был некоторый опыт общения с «беотийцами». Об одном таком случае известно. В 1816 г. Гаусс печатно высказал мнение, что доказать пятый постулат Евклида невозможно. О том, как оно было встречено, известно из письма 1827 г. Шумахеру: «забросано грязью» («Es ist mit Kot danach geworfen») ¹⁰.

Итак, один пример «крика беотийцев» мы привели. События 1837 г. в Ганновере показывают, как короли относились к мыслителям. Поскольку общество не находилось в оппозиции к королевской власти, то естественно сделать соответствующие выводы.

Наше представление о почитании Гаусса, по-видимому, преувеличено. В Германии был культ философии, культ Канта, культ Гете, но не было культа Гаусса. Для королей он оставался директором об-

серватории. Это означает, что его авторитет был более слабой защитой, чем мы могли бы думать. Необходимо еще учесть характер Гаусса. Известно, что он стремился избегать конфликтов и заботился о своем спокойствии.

Некоторые из тех, кто считал объяснения Гаусса недостаточными, осуждали его, считая, что он нарушил долг ученого. Началось это с Яноша Больяи.

В соответствии с системой ценностей XX в. герои почитаются больше, чем подвижники ¹¹. И более всего те, кто шел на костер. Поэтому поведение Гаусса кажется странным. Между тем, с точки зрения ряда ученых, оно вполне естественно. Эйнштейн писал автору одной пьесы о Галилее, что с трудом может поверить, будто для зрелого человека есть какой-то смысл в том, «чтобы сделать найденную им истину достоянием толпы, поверхностной и запутавшейся в мелочных интересах» ¹². Иными словами, «есть ценностей незыблемая скала над скучными ошибками веков», и, следуя этой «незыблемой скале», ученых следует судить по тому, какие открытия они сделали, а не по тому, как они боролись за признание обществом своих идей.

Даже с появлением модели Бельтрами (1868), т. е. спустя 30 лет после открытия Лобачевского, «крики беотийцев» не прекратились. Австрийское министерство просвещения в 1871 г. запретило читать курс неевклидовой геометрии.

⁸ Бюлер В. Гаусс. М., 1989. С. 143.

⁹ Там же. С. 154.

¹⁰ Васильев А. В. Н. И. Лобачевский. М., 1992. С. 117, 132.

¹¹ Булгаков С. Н. Геронизм и подвижничество // Вехи. М., 1990.

¹² Цит. по: Зелиг К. Альберт Эйнштейн. М., 1964. С. 104.

Вниманию читателей!

Ф. СП-I	АБОНЕМЕНТ на журнал ПРИРОДА																				
	70707 (индекс издания)																				
	Количество комплектов																				
	на 1995 год																				
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12									
	Куда																				
	(почтовый индекс)						(адрес)														
	Кому																				
	(фамилия инициалы)																				
ДОСТАВочная КАРТОЧКА																					
70707 (индекс издания)																					
ПРИРОДА																					
на журнал																					
г.в.			место			ин-тер															
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 15%;">Стои-мость</td> <td style="width: 15%;">подписки пере-адресовки</td> <td style="width: 15%;">руб.</td> <td style="width: 15%;">коп.</td> <td style="width: 15%;">Количество комплек-тов</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>руб.</td> <td>коп.</td> <td></td> </tr> </table>												Стои-мость	подписки пере-адресовки	руб.	коп.	Количество комплек-тов			руб.	коп.	
Стои-мость	подписки пере-адресовки	руб.	коп.	Количество комплек-тов																	
		руб.	коп.																		
на 1995 год																					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12										
Куда																					
(почтовый индекс)			(адрес)																		
Кому																					
(фамилия инициалы)																					

Дорогие читатели!

Оформляя подписку на второе полугодие 1995 г., **ТРЕБУЙТЕ** на почте каталог издательства «Известия». Сведения о «ПРИРОДЕ» помещены на странице 29.

ПРОВЕРЬТЕ ПРАВИЛЬНОСТЬ ОФОРМЛЕНИЯ АБОНЕМЕНТА

На абонементе должен быть проставлен оттиск кассовой машины

При оформлении подписки (переадресовки) без кассовой машины на абонементе проставляется оттиск календарного штампа отделения связи. В этом случае абонемент выдается подписчику с квитанцией об оплате стоимости подписки (переадресовки).

Для оформления подписки на газету или журнал, а также для переадресования издания бланк абонемента с доставочной карточкой заполняется подписчиком чернилами, разборчиво, без сокращений, в соответствии с условиями, изложенными в каталогах Роспечати.

Заполнение месячных клеток при переадресовании издания, а также клетки "ПВ - МЕСТО" производится работниками предприятий связи и Роспечати.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Л. П. БЕЛЯНОВА
Заместитель ответственного
секретаря
В. И. ЕГУДИН

Научные редакторы
И. Н. АРУТЮНЯН
О. О. АСТАХОВА
М. Ю. ЗУБРЕВА
Г. В. КОРОТКЕВИЧ
Т. Ю. ЛИСОВСКАЯ
М. С. ПОКРОВСКАЯ
Н. А. ПОТАПОВА
К. Л. СОРОКИНА
Н. В. УЛЬЯНОВА
Н. В. УСПЕНСКАЯ
О. И. ШУТОВА

Литературный редактор
М. Я. ФИЛЬШТЕЙН

Художественные редакторы
Л. М. БОЯРСКАЯ, Е. В. СИНИЦЫНА

Заведующая редакцией
И. Ф. АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Е. Е. БУШУЕВА

Компьютерный набор
А. Г. ЕВСТИГНЕЕВ

Корректоры
Т. Н. МОРОЗОВА
Р. С. ШАЙМАРДАНОВА

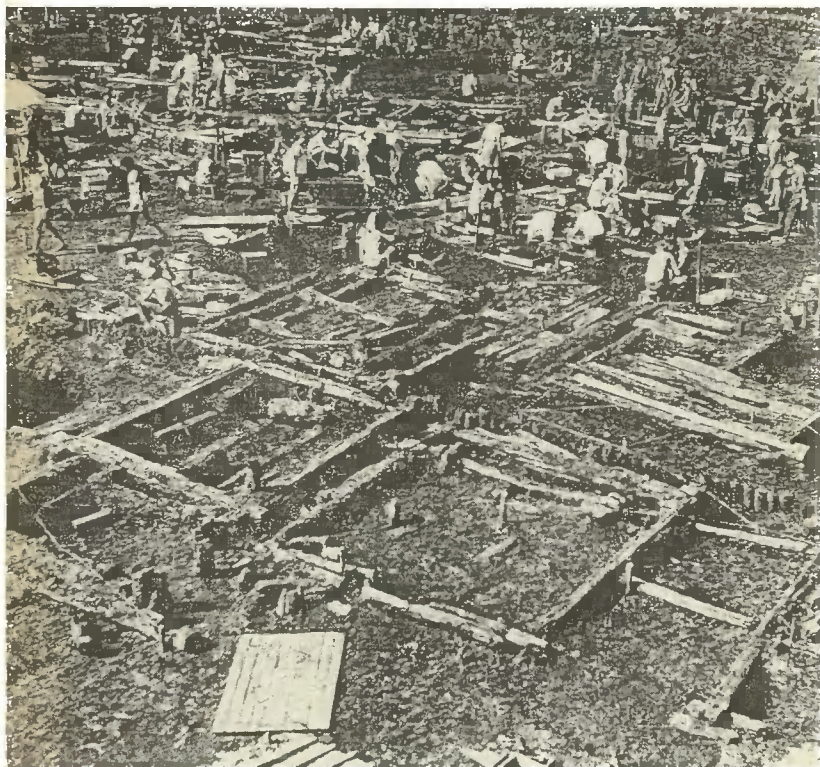
В художественном оформлении
номера принимали участие
В. И. ЕГУДИН
В. С. КРЫЛОВА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароховский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-23-33

Сдано в набор 13.02.95
Подписано в печать 27.03.95
Формат 70х100 1/16
Бумага типографская № 2
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 241,0 тыс.
Уч.-изд. л. 15,6
Тираж 9000 экз.
Зак. 191

Чеховский полиграфический комбинат
Комитета Российской Федерации
по печати
142300, г. Чехов
Московской области
тел. (272) 71-336
факс. (272) 62-536



Своего рода мостиками, ведущими из глубин археологического раскопа в летописный рассказ о многообразии жизни средневекового русского общества, стали новгородские берестяные грамоты, число которых ныне уже достигло 753. А найденная в июне 1994 г. свинцовая печать, на одной стороне которой помещено изображение святого Георгия, а на другой изображен погрудно воин с торчащими пиками усов, в островерхом шлеме и княжеской одежде, впервые раскрывает нам портретные черты молодого князя Ярослава Мудрого.

Янин В. Л. НОВГОРОД, ОТКРЫТЫЙ АРХЕОЛОГАМИ

