

ПРИРОДА

7-89



РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Главный редактор

академик

Н. Г. БАСОВ

Кандидат физико-математических наук

А. И. АНТИПОВ

Доктор физико-математических наук

Е. В. АРТЮШКОВ

Член-корреспондент АН СССР

Р. Г. БУТЕНКО

Доктор географических наук

А. А. ВЕЛИЧКО

Академик

В. А. ГОВЫРИН

Заместитель главного редактора

Ю. Н. ЕЛДЫШЕВ

Член-корреспондент АН СССР

Г. А. ЗАВАРЗИН

Академик

В. Т. ИВАНОВ

Доктор физико-математических наук

Н. П. КАЛАШНИКОВ

Доктор физико-математических наук

С. П. КАПИЦА

Доктор физико-математических наук

И. Ю. КОБЗАРЕВ

Кандидат физико-математических наук

А. А. КОМАР

Академик

Н. К. КОЧЕТКОВ

Доктор геолого-минералогических наук

И. Н. КРЫЛОВ

Доктор философских наук

Н. В. МАРКОВ

Ответственный секретарь

В. М. ПОЛЫНИН

Доктор исторических наук

П. И. ПУЧКОВ

Заместитель главного редактора

академик

Ю. М. ПУЩАРОВСКИЙ

Доктор философских наук

Ю. В. САЧКОВ

Заместитель главного редактора

доктор биологических наук

А. К. СКВОРЦОВ

Академик АН УССР

А. А. СОЗИНОВ

Академик

В. Е. СОКОЛОВ

Доктор геолого-минералогических наук

М. А. ФАВОРСКАЯ

Заместитель главного редактора

кандидат технических наук

А. С. ФЕДОРОВ

Заместитель главного редактора

член-корреспондент АН СССР

Л. П. ФЕОКТИСТОВ

Академик

В. Е. ХАИН

Доктор физико-математических наук

А. М. ЧЕРЕПАЩУК

Доктор физико-математических наук

В. А. ЧУЯНОВ

ПРИРОДА

ЕЖЕМЕСЯЧНЫЙ
ПОПУЛЯРНЫЙ
ЕСТЕСТВЕННОНАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
АКАДЕМИИ НАУК СССР

Издается с января 1912 года



НА ПЕРВОЙ И ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦАХ ОБЛОЖКИ.
Митра (XII в.), расшитая северным речным жемчугом. Водопад на р. Ареньге, притоке Варзуги; сюда доходит семга во время нереста. См. в номере: Незли Л. П., Зюганов В. В., Розанов А. С. От охраны вида к биосферному заповеднику.

Фото Л. П. Незлина.



— символ межправительственной программы ЮНЕСКО «Человек и биосфера» (The Man and the Biosphere). Этим символом обозначены материалы, которые журнал «Природа» публикует в рамках участия в деятельности этой программы.



© Издательство «Наука»
журнал «Природа» 1989

В НОМЕРЕ

3 ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ КОСМОЛОГИИ

Стала ли Вселенная сегодня понятнее, чем в начале века? Этот и другие вопросы космологии обсуждают в беседе с нашим корреспондентом крупнейшие специалисты из разных стран.

**19 Балыкин В. И., Миногин В. Г.
ЛАЗЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ АТОМОВ**

Как ни парадоксально, лазерное излучение может выполнять не только функции нагревателя, но и эффективного «холодильника».

**27 Медников Б. М.
ЕЩЕ РАЗ О ЗАКОНЕ ГОМОЛОГИЧЕСКИХ РЯДОВ В НАСЛЕДСТВЕННОЙ ИЗМЕНЧИВОСТИ**

Создавая свой закон, Н. И. Вавилов перенес название «гомологические ряды» из органической химии и утвердил сходство изменчивости фенотипа и не сходство генов.

**36 Добровольский В. В.
БИОГЕОХИМИЧЕСКИЕ ЗАМЕТКИ СО ШПИЦБЕРГЕНА**

Специфические процессы обмена химическими элементами между живыми организмами и средой характерны для арктических ландшафтов, и особенно Шпицбергена.

**46 Ионов И. Д.
ИММУННАЯ ЗАЩИТА ОТ ИММУНИТЕТА**

Почему эмбрион не отторгается материнским организмом, а опухолевые клетки не уничтожаются иммунной системой? Возможно, общая причина этих столь разнородных на первый взгляд явлений — анафилаксия.

**52 Незлин Л. П., Зюганов В. В., Розанов А. С.
ОТ ОХРАНЫ ВИДА К БИОСФЕРНОМУ ЗАПОВЕДНИКУ**

Восстанавливая численность европейской жемчужницы через взаимовыгодный паразитизм, можно вернуть русскому Северу его прежнее богатство — жемчуг и семгу.

**60 Зимин В. Л.
ЖИВОРОДЯЩАЯ РЫБА БЕЛЬДЮГА****62 Пономарев В. С., Трифонов В. Г.
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ**

Механические напряжения в земной коре — это не только проявление сил, возбуждаемых в глубоких недрах Земли, но и результат энергетических преобразований на всех уровнях структурной организации ее вещества.

**72 Шилов А. Е.
Н. Н. СЕМЕНОВ И ХИМИЯ XX ВЕКА**

Хотя роль Н. Н. Семенова была очевидна и при его жизни, обычно не учитывается, что он ввел в химию новый подход — химико-физический.

81 200 ЛЕТ СПУСТЯ: НАУКА В РЕВОЛЮЦИОННОМ ОБЩЕСТВЕ

Юбилей Великой французской революции 1789—1794 гг. дает повод историкам науки проанализировать судьбу научных идей и учреждений при социальных потрясениях.

Редонди П. ФРАНЦУЗСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И ИСТОРИЯ НАУКИ (82)**Юшкевич А. П. ФРАНЦУЗСКАЯ РЕВОЛЮЦИЯ И РАЗВИТИЕ МАТЕМАТИКИ В РОССИИ (91)****98 Китаев-Смык Л. А.
СТРЕСС И ПСИХОЛОГИЧЕСКАЯ ЭКОЛОГИЯ**

На состояние человека влияют все составляющие окружающей ситуации. Пренебрежение экологией «природной» приводит к ухудшению телесного здоровья, игнорирование экологии «психологической» — к моральной, культурной и интеллектуальной деградации.

**106 Олейник О. А.
ЗОЛОТЫЕ МЕДАЛИ ИМ. М. В. ЛОМОНОСОВА ЗА 1988 Г.— С. Л. СОБОЛЕВУ И Ж. ЛЕРЭ****109 НОВОСТИ НАУКИ****124 РЕЦЕНЗИИ****128 НОВЫЕ КНИГИ (97).**

CONTENTS

3 HOT BEDS OF COSMOLOGY

Do we know more about the Universe today than early in this century? The leading Soviet experts and their colleagues from other countries answer this and other questions.

19 Balykin V. I., Minogin V. G. LASER COOLING OF ATOMS

Paradoxical as it may seem laser radiation can be used both for heating and for effective cooling.

27 Mednikov B. M. ONCE MORE ON THE LAW OF HOMOLOGOUS SERIES IN AUTOGENOUS VARIABILITY

When formulating his law Nikolai Vavilov borrowed the term "homologous series" from organic chemistry and emphasised the similarity of phen variability rather than the similarity of genes.

36 Dobrovolsky V. V. BIOGEOCHEMICAL NOTES ABOUT SPITSBERGEN

The Arctic landscapes, Spitsbergen in particular, are marked by highly specific processes of chemical exchange between the living organisms and the environment.

46 Ionov I. D. IMMUNE PROTECTION AGAINST IMMUNITY

Anaphylaxis might be the cause of such widely different phenomena as the embryo being accepted by the mother organism and tumour cells not rejected by the immune system.

52 Nezlin L. P., Zuganov V. V., Rozanov A. S. FROM THE PROTECTION OF THE SPECIES TO A BIOSPHERE RESERVE

By restoring the number of pearl shells through mutually advantageous parasitism the Russian North may return its wealth—pearl and salmon.

60 Zimin V. L. THE VIVIPAROUS BLENNY

62 Ponomarev V. S., Trifonov V. G. TECTONIC SYSTEMS

Mechanical stresses in the Earth's crust are caused not only by the forces active deep in the bowels of our planet, but also by energy transformations occurring at all levels of the structural organization of matter.

72 Shilov A. E. NIKOLAI SEMENOV AND 20TH-CENTURY CHEMISTRY

Already in his life-time academician Semenov earned a place of his own in the scientific and technological revolution. Yet it is often ignored that he initiated an entirely new approach in chemistry — the chemical-physical approach.

81 TWO CENTURIES LATER: SCIENCE IN A REVOLUTIONARY SOCIETY

The bicentennial of the French Revolution of 1789—1794 caused historians of science to turn once more to the problem of scientific communities and institutions in the conditions of social upheavals.

Redondi P. THE FRENCH REVOLUTION AND THE HISTORY OF SCIENCE (82)
Yushkevich A. P. THE FRENCH REVOLUTION AND DEVELOPMENT OF MATHEMATICS IN RUSSIA (91)

98 Kitaev-Smyk L. A. STRESS AND PSYCHOLOGICAL ECOLOGY

Man keenly feels changes around him: disregard for a healthy ecological situation results in a deteriorated physical condition, while inattention to psychological ecology leads to moral, cultural and intellectual degradation.

106 Oleinik O. A. THE 1988 AWARDS OF THE LOMONOSOV GOLD MEDALS: S. L. SOBOLEV AND J. LERAY

109 SCIENCE NEWS

124 BOOK REVIEWS

128 NEW BOOKS (97)

ГОРЯЧИЕ ТОЧКИ КОСМОЛОГИИ

В июне прошлого года в Ленинграде проходила Международная конференция, посвященная 100-летию со дня рождения Александра Александровича Фридмана (1888—1925). В конференции приняли участие около 250 советских и зарубежных специалистов в области космологии, теории относительности, астрофизики, физики элементарных частиц, а также механики и метеорологии.

Хотя спектр обсуждаемых вопросов был очень широк, но, конечно, на первом плане была космология, ведь именно с ней прежде всего связано имя Фридмана. Созданная им теория расширяющейся Вселенной не сразу получила всеобщее признание, путь к нему был нелегок. Даже и теперь, спустя 67 лет с момента ее создания, делаются попытки оспорить некоторые ее положения, а иногда и вообще объявить ее несостоятельной.

А что думают об этом специалисты-космологи! Каков современный статус фридмановской космологии, как формулируются ее наиболее актуальные проблемы! С этими и другими вопросами наш корреспондент Н. Д. Морозова обратилась к крупнейшим специалистам из разных стран мира.

3 АЧЕМ, по вашему мнению, нужна космология и почему вы посвятили себя именно этой науке!

Р. Руффини. Космология, по моему глубокому убеждению, необходима каждому. В конце концов, мы живем только раз (правда, некоторые думают, что будут жить и после смерти, но лично я в этом сомневаюсь). Поэтому так важно понять наше место в жизни, нашу роль на этой планете, и, конечно, это очень трудно сделать. Возможно, гораздо проще ответить, как устроена Вселенная, описать ее объекты, их движение, понять механизмы, ими управляющие.

Более того, я считаю, что не две сотни специалистов, а все население планеты должно интересоваться этими вопросами. Просто удивительно, что космологией занимается так мало людей из 5 млрд жителей Земли!

Заниматься космологией в некотором смысле роскошь, но думаю, это необходимо, поскольку отличает человеческое существо, выделяет его во Вселенной прежде всего стремление понять окружающий его мир. Космология более, чем что-то другое, должна удовлетворять любопытство человека. Во всяком случае, больше, чем политика. Конечно, медицина тоже необходима для нашего существования, однако космология очень важна для цивилизации вообще,

поэтому должна, как минимум, развиваться на том же уровне. В конце концов, мы обеспечим наше выживание экономически и технически, но может возникнуть вопрос, в чем смысл всего этого. (Безусловно, это субъективная точка зрения.)

С другой стороны, это не только философский вопрос. Ведь понимание того, как мала наша планета, как хрупка по сравнению с другими объектами Вселенной, важно для перспектив человеческого существования. Если человек не поймет, как уникальна Земля с ее природой, он не будет заботиться о ее сохранении, а ведь только это гарантирует нам жизни! Тем самым космология приводит нас к пониманию не только Вселенной, но и нашей уникальности и даже возможного одиночества в ней.

Х. Сато. Зачем людям космология? Это очень сложный вопрос, потому что в конечном итоге он связан с исследованием самого общества. Ведь космология содержит наиболее фундаментальные представления о природе, которые иногда влияют и на идеи, которыми живет общество. Мы должны заботиться о том, чтобы такого рода идеи, связанные с самой природой, всегда существовали и развивались, иначе наше общество будет загнивать.

Что же касается того, почему я стал



Ремо Руффини, заведующий кафедрой теоретической физики Римского университета (Италия).



Хумитака Сато, профессор Университета Киото (Япония).



Майкл Тернер, профессор Чикагского университета; работает также в Национальной ускорительной лаборатории им. Э. Ферми (США).

заниматься космологией, то ответ прост — из любопытства. Конечно, я должен зарабатывать на жизнь и заботиться о семье. Но я рад, что та область науки, которая удовлетворяет мое любопытство, одновременно и «кормит» меня.

М. Тернер. Откуда мы пришли, куда идем? Это фундаментальнейшие вопросы, которые, я думаю, должны интересовать всех. Мои же научные интересы давно связаны с космологией, конкретно — с ранними фазами существования Вселенной. Сейчас мы можем рассуждать о самых ранних стадиях ее эволюции. Мы понимаем, как устроена Вселенная до времен 10^{-2} с после Большого взрыва, и имеем теоретический аппарат, который позволяет судить о том, что было еще раньше. Может показаться, что вопрос этот чисто академический. Но на самом деле это не так: существуют глубокие вопросы фридмановской Вселенной, на которые пока нет ответов. Однако мы знаем, что ответы на них заключены в событиях, происходивших через доли секунды после Большого взрыва.

М. Демьянский. На ранних стадиях развития Вселенной, когда пространственные размеры были очень малыми, взаимодействие между элементарными частицами происходило при сверхвысоких энергиях. И то, как протекали эти процессы тогда, можно наблюдать сейчас на больших масштабах. Напомню, что до конца 60-х годов главным источником информации об элементарных частицах были ускорители. А сейчас эту роль выполняет Вселенная. На Земле невозможно построить ускорители, которые бы позволили получить

энергии, характерные для ранних фаз эволюции, не хватает нескольких порядков. В этом смысле космология вне конкуренции: Вселенная становится лабораторией, в которой физики проверяют свои идеи.

М. А. Марков. Я долгие годы занимался, да и сейчас продолжаю заниматься, физикой элементарных частиц. Как уже отмечалось, проблемы строения материи, и в частности элементарных частиц, тесно переплетаются с проблемами начальной стадии эволюции Вселенной. В результате мой интерес к элементарным частицам и привел меня в космологию.

Вот лишь один пример такой связи. В замкнутой Вселенной вся энергия частиц компенсируется гравитационным дефектом массы, так что полная энергия и масса такой системы равны нулю. Пусть случайно дефект массы оказался меньше, чем полная масса частиц, тогда Вселенная в целом имела бы массу, отличную от нуля. Масса эта должна быть очень малой и, в принципе, может соответствовать массе элементарной частицы. Тогда для внешнего наблюдателя Вселенная предстала бы как элементарная частица, а для внутреннего — бесконечным миром с галактиками, звездами и цивилизациями. Метрика этого мира была бы фридмановской, поэтому я в свое время назвал такую систему фридмоном.

«Даже гений Эйнштейна был зачарован идеей стационарной Вселенной. Потребовалась огромная смелость для математического исследования эволюционирующей и расширяющейся Вселенной, что впервые было сделано А. А. Фридманом», — писал на стра-



Марек Демьянский, профессор Варшавского университета (Польская Народная Республика).



Моисей Александрович Марков, академик, заведующий лабораторией Института ядерных исследований АН СССР.



Андрей Дмитриевич Сахаров, академик, член Президиума АН СССР, главный научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР.

ницах «Природы» Я. Б. Зельдович¹. А как вы оцениваете значение работ Фридмана, что они дали космологии?

А. Д. Сахаров. Если в XIX в. человек понял, что жизнь на Земле эволюционирует, то в XX в. он осознал, что вся наша Вселенная представляет собой нечто изменяющееся, развивающееся. И тот, кто стоял у истоков этой идеи, был необыкновенным человеком.

Фридмановская концепция нестационарной Вселенной имеет огромное научное и общеполитическое значение. Среди проблем, сама постановка которых была невозможна в дофридмановский период, — барионная асимметрия Вселенной. Почему в наблюдаемой части Вселенной есть барионы и нет антибарионов? Чем определяется количественная величина барионной асимметрии? Мы ищем ответы на эти и другие вопросы мироздания.

М. А. Марков. Я бы сказал, что до Фридмана Вселенная Ньютона и Эйнштейна была безжизненным манекеном. Фридман вдохнул в нее жизнь — Вселенная ожила, у нее появилась история. И в этом он подобен Пигмалиону, «оживившему» статую Галатеи.

По существу, до Фридмана Вселенная была мертвой системой без внутреннего развития. Фридман открыл, что Вселенная расширяется, т. е. что у нее было начало и, следовательно, может быть конец; именно в этом смысле у нее появилась история. Конечно, при этом возникло много проблем: нужно было объяснить ее рождение, проис-

хождение элементов в ней, образование галактик, звезд, всей глобальной структуры.

М. Демьянский. Огромная заслуга Фридмана в том, что исключительно из математических уравнений он предсказал, что Вселенная должна изменяться во времени. Это был действительно огромный шаг вперед, так как до него некоторые исследователи хоть и задумывались над этим вопросом, но на них воздействовали, я бы сказал, философские ограничения, или стереотипы мышления.

Например, Ньютон, создавший теорию всемирного тяготения, в своих вычислениях уже имел возможность показать, что Вселенная должна расширяться. И тем не менее стереотип сработал. Даже Эйнштейн — столь независимый ум — все-таки не смог преодолеть этот стереотип. И только Фридман оказался способен сделать это. Но хочу подчеркнуть, что во времена Фридмана идея расширения Вселенной была хоть и гениальной, но гипотезой. А подтверждением ее стало открытие Хабблом разбегания галактик.

М. Тернер. Я очень высокого мнения о работах Фридмана. Они оказали глубочайшее влияние на науку в начале этого века. Хочу подчеркнуть, что мы до сих пор имеем дело с моделями, которые были созданы более 60 лет назад.

Во время конференции я узнал, что в СССР недавно вышла книга о Фридмане². С удовольствием и интересом прочту о нем.

¹ Зельдович Я. Б. Современная космология // Природа. 1983. № 9. С. 12.

² Тропп Э. А., Френкель В. Я., Чернин А. Д. Александр Александрович Фридман. Жизнь и творчество. М., 1988.



Игорь Дмитриевич Новиков, доктор физико-математических наук, заведующий сектором Института космических исследований АН СССР.



Стенли Дезер, профессор Гарвардского университета (США).



Брандон Картер, профессор Парижской обсерватории (Медон, Франция).

И. Д. Новиков. Открытие Фридманом нестационарных моделей Вселенной положило начало длительному развитию современной теоретической космологии на основе общей теории относительности (ОТО). В наши дни особенно бурно развиваются разделы космологии, пытающиеся понять загадку начала расширения Вселенной. Становится все очевиднее роль квантовых эффектов в рождении Вселенной. В этом начальном состоянии свойства пространства и времени могли кардинально отличаться от наблюдаемых в окружающем нас мире, скажем, число измерений и топология.

С. Дезер. Я не так много занимался космологией, гораздо больше времени посвятил ОТО, и мне бы хотелось отметить, что Фридман был одним из первых в мире, кто по-настоящему понял глубину, значимость ОТО.

Сознаюсь, до сих пор я очень мало знал о самом Фридмане. Несколько лет назад познакомился с краткой публикацией о нем в «Успехах физических наук», всего одна страница на английском языке (я не знаю русского). Там содержалось несколько интересных фактов, например сообщалось о его работах по теоретической метеорологии. Я совершенно не знаком с этой наукой, но моя дочь хорошо разбирается в ней, она-то и помогла мне.

Итак, если бы даже Фридман сделал только то, о чем сообщалось в этой маленькой заметке, этого было бы более чем достаточно, чтобы считать его великим ученым.

Б. Картер. Фридмановская формула из его первой работы, опубликованной в 1922 г.,

представляет собой формулу номер один. Когда вы начинаете преподавать космологию студентам, первое, что они должны понять,— это формулу Фридмана.

Что означает имя Фридмана для широкой публики на Западе!

Б. Картер. Я не думаю, что это имя знакомо широкой публике. (Но оно хорошо известно всем профессиональным космологам.) И дело, я думаю, в том, что профессиональные ученые не слишком большое внимание уделяют широкой публике. Ведь и другие великие ученые нашего века (исключение составил, возможно, только Эйнштейн) не очень известны. Быть может, в России публика лучше знакома с историей науки, яснее понимает ее значение.

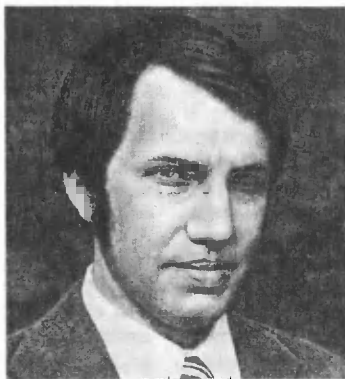
Итак, Фридман «оживил» Вселенную, вдохнул в нее жизнь, или, как еще говорят, подобно Копернику, «заставившему» Землю обращаться вокруг Солнца, Фридман «заставил» Вселенную расширяться. С момента появления двух его основополагающих работ [1922—1924] прошло много лет. Какие открытия с тех пор в космологии, я имею в виду и теорию, и наблюдения, вы бы отнесли к наиболее важным, фундаментальным!

С. Хокинг. Открытие микроволнового реликтового излучения, предсказанного на основе Фридмановской космологии.

Однозначно ответить на вопрос (о наиболее фундаментальном теоретическом результате.— Н. М.) трудно, но думаю, что это теорема о существовании сингулярности и, пожалуй, теория инфляции³.



Стивен Хокинг, профессор кафедры математики Кембриджского университета (Великобритания).



Андрей Дмитриевич Линде, доктор физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Физического института им. П. Н. Лебедева АН СССР.

М. Демьянский. Наверное, многие отметят, что, во-первых, это открытие Хабблом расширения Вселенной, и неудивительно, поскольку это действительно замечательное достижение.

А с точки зрения физических свойств Вселенной я бы выделил открытие микроволнового реликтового излучения. И здесь тоже сработал стереотип мышления наблюдателей. Ведь первым предсказал, что Вселенная должна быть горячей на ранней фазе, Гамов, ученик Фридмана. Он даже сделал оценку того температурного фона, который должен был дойти до нас. По его расчетам, эта температура составляла примерно 5 К.

С. Дезер. Я познакомился с Гамовым, когда он приехал в США. Тогда его работы не были замечены — мне кажется, они слишком опередили свое время. Но я считаю, что его теория Большого взрыва была абсолютно оригинальной.

М. Демьянский. Потом И. Д. Новиков и А. Г. Дорошкевич сделали очень важный шаг. Казалось, что этот реликтовый фон погружен в радиоизлучение галактики и звезд, т. е. почти невыделяем из них. Однако, подсчитав вид спектра, советские исследователи установили, что есть возможность наблюдать реликтовый фон, причем точно указали, в каком диапазоне длин волн. И опять этого никто всерьез не воспринял. Поэтому открытие фонового реликтового

излучения можно назвать в некотором роде случайностью.

Х. Сато. Я тоже считаю, что наиболее важными после Фридмана были работы Гамова. Я хочу остановиться на проблеме происхождения химических элементов на ранних стадиях Большого взрыва, сформулированной Гамовым. Мой учитель Хиосиро Хаяси внес важный вклад в решение этой проблемы после того, как Гамов предложил свою модель нуклеосинтеза. Это было в 1948 г. Дело в том, что в знаменитой работе Альфера, Бете и Гамова содержалась ошибка: рассматривая первичный состав вещества, они начинали свои расчеты с чистых нейтронов, т. е. предполагали, что вещество состоит из одних нейтронов. Именно эту ошибку и исправил Хаяси. Учителем Хаяси был профессор Юкава, он и обратил внимание Хаяси на работу Гамова.

А из наблюдательных результатов наиболее важными я считаю открытие Хабблом разбегания галактик, а также обнаружение Пензиасом и Вильсоном микроволнового реликтового излучения.

Р. Руффини. Наиболее выдающийся результат после Фридмана — понимание того, что Вселенная первоначально была очень горячей. Важным было открытие нуклеосинтеза во Вселенной. Но здесь я боюсь быть слишком субъективным. В этой работе, о чем многие сейчас уже забыли, участвовал Ферми, который впервые применил теорию ядерных реакций в космологии.

Обращаясь же к более близкому времени, я бы хотел сказать об исследованиях, проведенных тартуской группой под руко-

³ Лаконичность С. Хокинга станет понятной читателю, когда он познакомится с рецензией Я. А. Смородинского на его книгу в этом номере «Природы».

водством Эйнасто по изучению крупномасштабной структуры Вселенной. Если бы лет 10 назад вы спросили, является ли вся материя во Вселенной такой же, как и на Земле, т. е. протонами, нейтронами и электронами, многие, и среди них известные физики, ответили бы утвердительно. А сейчас — и мне кажется, это самый фундаментальный результат — ясно, что на долю обычной материи приходится не более 10 % вещества во Вселенной, поскольку остальные 90 % — это «темная», или невидимая, материя. Что она собой представляет? Возможно это, как говорит Игорь Новиков, разнородные «ино» (фотино, глюино, гравитино и т. д.). Сейчас мы пытаемся, в основном теоретически, идентифицировать эти «ино», т. е. оценить, какие у них массы, спины и т. д.

Все эти экзотические «ино» предсказываются современными теориями элементарных частиц. Кроме того, эти теории предсказывают и несохранение барионного заряда, что очень важно для космологии. Насколько я знаю, Андрей Дмитриевич, ваша работа 1967 г. была первым шагом к решению проблемы барионной асимметрии Вселенной. А как обстоят дела сейчас?

А. Д. Сахаров. В настоящее время мы имеем скорее избыток различных сценариев происхождения барионной асимметрии. Все они обладают как определенными достоинствами, так и существенными недостатками. Выбрать какой-либо один в качестве предпочтительного мне не представляется сейчас возможным. По-видимому, это дело будущего. Но принципиальных трудностей здесь нет.

Все существующие схемы возникновения барионной асимметрии основываются на трех известных предпосылках: отсутствие закона сохранения барионного заряда, и следовательно, распад протона; отличие частиц от античастиц, проявляющееся в нарушении СР-инвариантности; нестационарность Вселенной. Если два последних положения не вызывают сомнения, то с нестабильностью протона дело обстоит сложнее. 20 лет назад единственным аргументом в пользу этой гипотезы был факт барионной асимметрии Вселенной. С тех пор появились теории Великого объединения, в которых несохранение барионного заряда возникает естественно. Однако экспериментально обнаружить распад протона пока не удалось.

Кажется, вопросов в космологии сейчас гораздо больше, чем ответов, которые она смогла пока дать. Но можно ли, тем не ме-

нее, выделить те узловые проблемы, горячие точки этой науки, которые необходимо изучать в первую очередь? Естественно, субъективизм в оценке здесь неизбежен.

С. Хокинг. Проблема космологической постоянной и вопрос о том, почему пространство-время четырехмерно.

М. А. Марков. Очень важен в космологии вопрос о существовании темной материи. В 1963 г. я опубликовал заметку о том, что если у нейтрино есть масса, то могут существовать нейтринные звезды, обладающие колоссальной плотностью. При массе нейтрино 30 эВ, данные группы ИТЭФ, этого достаточно, чтобы составить из них всю темную материю. Но, может быть, масса нейтрино меньше, как предполагают сейчас некоторые исследователи. В этом случае нам могут помочь другие экзотические частицы, например максимоны⁴, если они на самом деле существуют, ведь их вклад в скрытую материю может быть существенным.

Р. Руффини. Полагаю, я вправе сказать, что актуальны те проблемы, над которыми я работаю сейчас, иначе бы я занимался чем-нибудь иным. Меня интересуют проблемы скрытой массы во Вселенной, крупномасштабной структуры, которая, я думаю, описывается так называемым фрактальным законом, и, наконец, проблема устойчивости галактик. Удивительно, но еще лет 10 назад считалось, что задача об устойчивости системы, состоящей из большого числа гравитационно связанных тел, почти тривиальна. Сегодня ясно, что это далеко не так. Можно провести параллель с электромагнетизмом. В нем задача о движении одной заряженной частицы в электромагнитном поле решается просто. Но если заряженных частиц много, как в плазме, то возникают сложные, так называемые коллективные взаимодействия, и найти решение очень нелегко. То же можно сказать и о галактиках, состоящих из огромного числа взаимодействующих звезд. В них также возникают коллективные моды, типичным примером которых являются спиральные рукава. Думаю, это одна из наиболее интересных проблем, над которой сейчас работают специалисты.

М. Демьянский. Нерешенных вопросов в космологии много. Но прежде всего я бы от-

⁴ Максимоны — элементарные частицы большой массы, сравнимой с планковской ($\sim 10^{-5}$ г.); возможно, они представляют собой элементарные черные дыры. Понятие о максимоне впервые введено М. А. Марковым.

метил, быть может, не самый важный, но наиболее близкий к решению вопрос — проблему происхождения галактик. Несмотря на применимость современных физических теорий к изучению этой проблемы, как образовались галактики, пока еще до конца не ясно. Специалисты находятся, я бы сказал, в странном состоянии — ведь нет никаких тайн с точки зрения физики; казалось бы, все понятно, но связать совокупность данных в единую теорию не удастся.

А к самым важным проблемам современной космологии я бы отнес проблему «начала» Вселенной.

Х. Сато. На мой взгляд, наиболее значимые проблемы космологии сейчас — инфляция и квантовое рождение Вселенной. Думаю, ситуация с теорией Великого объединения в настоящее время очень деликатна. Девять лет назад, когда эта теория создавалась для объединения всех сил в рамках единой теории, ситуация казалась более обнадеживающей. Сейчас на создание подобного объединения возлагается не так много надежд. Оно не получило пока конкретных экспериментальных подтверждений. Так, на установке «Камиока» не удалось наблюдать предсказанный этой теорией распад протона. Правда, с ее помощью был обнаружен нейтринный всплеск от сверхновой 1987А.

И все-таки я отношусь к теории инфляции и квантовому рождению, Вселенной с некоторым скептицизмом, поскольку в лаборатории мы еще не обнаружили ни скалярных, ни хиггсовских частиц. Но пока у теории инфляции нет конкурентов, и, конечно, она должна интенсивно развиваться.

В чем суть теории инфляции? После пионерской работы Гуса она стала стремительно развиваться, и сейчас на нее возлагаются большие надежды. Как вы считаете: теория инфляции — это уход от Фридмана или логическое развитие его идей?

А. Д. Линде. В конце 70-х годов во фридмановской космологии назрела кризисная ситуация, когда, по мнению многих специалистов, существующая теория эволюции Вселенной стала несовместимой с теорией элементарных частиц.

Все началось в 1978 г., когда Зельдович и Хлопов показали, что, согласно единой теории слабых, сильных и электромагнитных взаимодействий, в горячей Вселенной Фридмана должно рождаться недопустимо много сверхтяжелых частиц — магнитных монополей. Попытки решить эту проблему в рамках стандартной космологической тео-

рии оказались безуспешными. При переходе к более сложным теориям элементарных частиц трудности не уменьшились, а, наоборот, увеличились, возникла, например, проблема реликтовых гравитино и ряд других.

Специалисты по теории элементарных частиц стали припоминать и другие неясные моменты фридмановской космологии и задавать вопросы, которые раньше казались почти метафизическими. Что было до начала расширения Вселенной? Почему Вселенная однородна и изотропна? Почему разные ее части, далеко удаленные друг от друга, так похожи, хотя формировались независимо?

Еще несколько лет назад казалось, что ответы на эти вопросы выходят за рамки целей и возможностей науки. Именно поэтому столь большой интерес вызвала предложенная в начале 80-х годов теория инфляционной, раздувающейся, Вселенной, в которой одновременно удалось и решить проблему монополей, и ответить на большую часть приведенных вопросов.

Общая черта различных вариантов инфляционной теории — существование стадии очень быстрого (экспоненциального) расширения Вселенной в вакуумоподобном состоянии с огромной плотностью энергии. Эта стадия и называется стадией инфляции. После нее вакуумоподобное состояние распадается, образующиеся при этом частицы взаимодействуют друг с другом, устанавливается термодинамическое равновесие, и лишь вслед за этим Вселенная начинает эволюционировать согласно стандартной теории горячей Вселенной Фридмана.

Роль вакуумоподобного состояния может взять на себя, например, достаточно однородное медленно меняющееся классическое скалярное поле. Поля такого типа часто используются для нарушения симметрии между различными типами взаимодействий в единых теориях элементарных частиц (так называемые поля Хиггса). Все проявления такого постоянного однородного скалярного поля выглядят одинаково как для движущегося, так и для покоящегося наблюдателя. В этом смысле однородное скалярное поле отличается от любой другой материальной среды и по сути является лишь несколько измененным вакуумным состоянием. Однако оно может обладать большой плотностью энергии, от величины которой зависит скорость расширения Вселенной.

В типичных моделях инфляции стадия раздувания продолжается всего 10^{-35} с, но за это время раздувающиеся области Вселенной успевают увеличить свой размер в $10^{10^5} - 10^{10^{10}}$ раз. (Точные цифры зависят от

выбора конкретной теории элементарных частиц и механизма, обеспечивающего раздувание.) Затем геометрия пространства внутри раздувающейся области Вселенной становится почти неотличимой от евклидовой геометрии плоского мира, так же как свойства поверхности воздушного шара по мере увеличения его объема все меньше отличаются от свойств плоскости.

Растяжение пространства выбрасывает монополи и другие неоднородности за пределы наблюдаемой области Вселенной размером 10^{28} см. Это одновременно решает и проблему однородности Вселенной, и проблему монополей. А поскольку вся наблюдаемая часть Вселенной образовалась за счет раздувания одной причинно-связанной области ничтожно малого размера, нет ничего удивительного, что свойства различных удаленных друг от друга областей видимого нами мира оказываются в среднем одинаковыми.

«Сглаживая» исходные неоднородности, раздувание одновременно приводит к генерации других неоднородностей из начальных квантовых флуктуаций. А они, в свою очередь, порождают неоднородности плотности, необходимые для последующего образования галактик. Кроме того, любая область раздувающейся Вселенной, содержащая достаточно большое скалярное поле, может постоянно порождать новые и новые раздувающиеся области с большим полем, и этот процесс продолжается бесконечно.

В таком сценарии эволюции Вселенной в целом не имеет единого конца и может не иметь единого начала, до которого пространства и времени вообще не существовало.

Таким образом, наши представления о ранних стадиях эволюции Вселенной и о ее свойствах в предельно больших масштабах могут кардинально измениться. Инфляционная теория предсказывает большое разнообразие глобальных структур Вселенной и в то же время объясняет, почему теория Фридмана правильно описывает структуру той ее части, которая доступна наблюдениям. Иначе говоря, исследования последних лет приводят не к опровержению фридмановской космологии, как опасались в конце 70-х годов, а к ее дальнейшему развитию и обобщению, подобно тому как это произошло с классической механикой при создании квантовой теории.

А. Д. Сахаров. Обращаясь к прошлому Вселенной, можем ли мы сказать с полной уверенностью, что вначале она была очень плотной, горячей? Если говорить о временах порядка 1 с после начала, то она, безусловно,

была очень горячей. Но если речь идет о времени 10^{-44} с, то тут мы пока еще ничего определенного не знаем. Возможно, в этот момент был абсолютный вакуум, абсолютная пустота, т. е., наоборот, было очень холодно. Однако не нужно забывать, что это не простая пустота со всеми ее свойствами изотропии и равной нулю температуры, а это — вакуум, обладающий энергией и отрицательным давлением.

Сейчас это лишь одна из тех веточек на нашем древе познания, которая, быть может, соответствует действительности, а возможно, мы должны «вырастить» совсем другие веточки, двигаясь назад во времени, и именно их оставить на древе. Идея красивая, но, к сожалению, природа не всегда стремится к такой элементарной красоте, иногда она находит еще более высокую красоту, о которой мы и не подозревали. Но в общем мне нравится идея начального вакуума.

Стандартные инфляционные модели предсказывают, что средняя плотность вещества во Вселенной должна с высокой степенью точности быть равна критической плотности (т. е. $\Omega=1$). Сейчас известно, что плотность видимой материи во много раз меньше критической. Поэтому, если $\Omega=1$, то основной вклад в массу Вселенной должна вносить темная (невидимая) материя. Каковы перспективы обнаружения этого темного вещества во Вселенной? Существуют ли вообще какие-либо эксперименты, которые могли бы подтвердить или, наоборот, опровергнуть инфляционную модель!

М. Тернер. Имеется «провокационная» идея, согласно которой большая часть темной материи состоит из экзотических частиц — фотино, аксионов, нейтрино с ненулевой массой покоя и т. д. Нужны эксперименты для проверки этой идеи.

В США уже создана установка для поиска аксионов. Это большой резонатор. Если через него проходит аксион, то с малой вероятностью он может превратиться в фотон с энергией 10^{-3} эВ. Иными словами, аксион возбудит СВЧ-колебания в резонаторе. Уже получены предварительные результаты, но пока чувствительность установки недостаточна.

Ведется еще один эксперимент — по поиску фотино. Для этого используется детектор общей массой около 10 кг, охлаждаемый до 10^{-3} К. Если фотино пройдет через детектор, то оставит в нем энергию порядка 1 кэВ (в эксперименте фиксируется всплеск температуры).

Кроме того, в горах Италии строится огромный детектор для поиска монополей, гораздо больше того зала, в котором проходит наша конференция.

Хочу напомнить, что в СССР выполнен эксперимент по определению массы покоя нейтрино. Это очень красивый и сложный эксперимент, и мне бы хотелось, чтобы его удалось повторить в других лабораториях. Есть указания, что масса покоя нейтрино около 10 эВ. Пока это предварительный результат. Сейчас над проблемой работают группы в Швеции и Японии. Но, повторяю, эксперимент очень сложен.

Еще одна проверка теории инфляции — непосредственное измерение средней кривизны пространства на расстояниях, превышающих расстояния между галактиками. Кроме того, нужно проводить подсчеты числа галактик N в зависимости от величины красного смещения Z , так как характер распределения $N(Z)$ зависит от кривизны пространства. Конечно, очень осложняют дело эволюционные эффекты. Поэтому сейчас астрофизики намечают перейти к ИК-частотам, где свечение галактик создается в основном старыми звездами и эволюционные эффекты менее значимы.

Итак, есть три неизбежных следствия простейшей версии инфляционной теории, которая, надо отметить, сейчас пышно расцветает:

полная плотность вещества во Вселенной равна критической ($\Omega=1$), т. е. Вселенная плоская;

имеют место адиабатические возмущения плотности, т. е. инфляционные модели предсказывают определенные спектры возмущения плотности, которые необходимы для образования галактик. В стандартной инфляционной модели — это адиабатические возмущения с плоским спектром, предложенным в свое время Зельдовичем, в котором характерная амплитуда возмущений одна и та же в разных масштабах;

и, наконец, при инфляционном раздувании должны рождаться гравитационные волны со специфическим нетепловым спектром — так называемое фоновое реликтовое гравитационное излучение. Мы уже знаем, что существует микроволновое реликтовое излучение, нейтринный фон; если верна инфляционная теория, мы должны зарегистрировать и гравитационный реликтовый фон.

Время идет очень медленно, и приходится долго ждать результатов экспериментов. Но те из них, которые будут ставиться в США по поиску темной материи, возможно, дадут результаты лет через десять. А может быть, и раньше.

Все космологические теории основаны на ОТО. Но ведь есть и другие теории гравитации. Какую космологию предсказывают они? Вообще, как вы относитесь к альтернативным теориям гравитации?

М. Тернер. Мы четко знаем, что на коротких расстояниях и малых временах ОТО должна быть заменена квантовой теорией гравитации. Однако на классическом уровне я не вижу ничего, что могло бы сравниться со стандартной ОТО. Классический уровень соответствует временам, превышающим 10^{-43} с. И насколько мы понимаем космологию, и в частности теорию инфляции (правда, возможно, мы ее неверно понимаем), инфляция имеет место при временах, больших 10^{-43} с. Поэтому классическая гравитация адекватна для описания всей истории Вселенной, начиная с инфляции.

С. Хокинг. ОТО — единственная приемлемая теория гравитации, по крайней мере, при энергиях вплоть до планковских.

С. Дезер. Моя позиция в этом вопросе такова — нет состоятельных альтернативных теорий. ОТО — единственная самосогласованная теория из предложенных до сих пор. Я очень рад, что на эту тему у вас были написаны статьи такими учеными, как Фаддеев, Зельдович и Гришук.

М. Демьянский. Мне кажется, ответ на этот вопрос касается внутренних взглядов исследователя. Я бы привел такую аналогию: смотря на одну картину, люди по-разному воспринимают ее. То же я бы отнес и к альтернативным теориям. Мой взгляд таков — я руководствуюсь принципом ограничений: пока нет наблюдательных фактов и экспериментальных данных, которые бы противоречили ОТО, не имеет смысла всерьез рассматривать отклонения от нее, поскольку никто еще не наблюдал их. А в теоретическом плане, если отказаться от общего фундамента ОТО, возможностей так много, что непонятно, в какую сторону идти. Тем более, применительно к столь сложной системе, как Вселенная. Прежде всего мы должны исследовать все возможности описания Вселенной в рамках ОТО, и если окажется, что этого недостаточно, следует подумать о какой-то альтернативной теории. Но я считаю, что пока такое время не настало.

Р. Руффини. Я работал с очень умным человеком, это был Иордан. Он предложил альтернативную теорию, за которой последовала теория Дикке. Его мнение состояло в

том, что обе эти теории еще больше подчеркнули красоту теории Эйнштейна.

Мне тоже кажется, что альтернативные теории помогают понять, насколько хороша стандартная теория Эйнштейна. Вообще же нужно дождаться решения проблемы ее квантования, но, думаю, сейчас нет особых оснований отказываться от этой теории.

Поскольку речь зашла о соответствии существующих теорий той совокупности наблюдательных данных о Вселенной, которую мы имеем на сегодня, мой следующий вопрос — профессору Картеру. Вы один из авторов антропного принципа⁵. Не может ли он помочь выбрать «хорошую» теорию!

Б. Картер. Действительно, в свое время я ввел этот термин, который с тех пор стал даже более популярен, чем я мог себе представить. Однако сейчас он далеко вышел за рамки того первоначального значения, которое я ему придавал. Его используют в различных формулировках, не со всеми из которых я могу согласиться.

Поэтому я хочу прокомментировать антропный принцип в его первоначальном, более ограниченном смысле. На мой взгляд, антропный принцип особенно важен как принцип отбора различных физических теорий. Согласно ему, мы не должны а priori отвергать теории, в которых условия возникновения Вселенной, подобной нашей, маловероятны. Потому что есть такие Вселенные, пусть и в небольшом количестве, в которых жизнь все-таки возможна. И мы живем в такой Вселенной постольку, поскольку в другой Вселенной жизнь невозможна и некому задавать подобные вопросы.

В данном случае антропный принцип накладывает ограничения на константы в современных теориях элементарных частиц. Не исключено, что он также будет полезен в оценке «жизнеспособности» тех теорий, согласно которым могли рождаться отличающиеся по своим свойствам Вселенные; я имею в виду, в частности, работы Линде и других.

Хочу подчеркнуть, что следует быть особенно осторожным, когда решается, какая теория является «хорошей». Ведь иначе исторически, в первую очередь, на основе критерия правдоподобия следовало бы отвергнуть теорию Большого взрыва (что, кстати, и сделал Дирак), поскольку для ее реализации потребовалось совпадение боль-

ших чисел⁶. Например, числа протонов внутри видимой Вселенной (10^{80} , с квадратом отношения констант электромагнитного и гравитационного взаимодействия, оно равно 10^{40}). Проще всего было бы объяснить это совпадение, отвергнув стандартную эйнштейновскую теорию и заменив ее теорией с переменной гравитационной постоянной.

Согласно антропному принципу в моей формулировке, это число, 10^{80} , связано с конкретным моментом времени, не случайным, а характеризующим стадию звездной эволюции, итогом которой, можно сказать, стало возникновение жизни. Так что, скорее уж это число, 10^{80} , необходимо, чтобы возникла жизнь.

Вот вам пример того, как на основе даже столь удивительных совпадений больших чисел все же не стоит отвергать стандартные теории. И в этом, на мой взгляд, основное современное значение антропного принципа.

С. Хокинг. И все-таки, если бы фундаментальные физические константы чуть-чуть отличались, Вселенная была бы совершенно другой. Я не могу поверить, что она создана в конечном счете для возникновения и воспроизводства «обезьян» на маленькой планете у средней заурядной звезды.

Как вы считаете, сегодня «устройство» Вселенной нам понятнее, чем во времена Фридмана, иными словами, количество оставшихся без ответа вопросов уменьшилось или увеличилось!

С. Хокинг. Конечно, со времен Фридмана мы узнали очень много, но сегодня мы понимаем, как много на самом деле нам непонятно.

Х. Сато. Число нерешенных проблем увеличивается и будет продолжать увеличиваться, пока мы будем изучать Вселенную. Я не думаю, что все проблемы найдут решение в будущем.

Р. Руффини. Эйнштейн говорил, что наиболее непостижимая особенность Вселенной — это то, что она постижима. Тот факт, что человек что-то узнает о Вселенной, делает его гораздо могущественнее. Это один из наиболее привлекательных аспектов в жизни современного общества. Кроме того, сегодня на Земле живет больше математиков и физиков, чем за всю историю человечества, это также вселяет оптимизм.

⁵ Подробнее см.: Казютинский В. В., Балашов Ю. В. Антропный принцип: история и современность // Природа. 1989. № 1. С. 23—32.

⁶ Там же. С. 26—27.

М. Демьянский. На этот вопрос трудно ответить однозначно. В некотором смысле глобальная картина эволюции Вселенной понятна: взрыв—расширение—образование элементов—отделение излучения от вещества—появление галактик, звезд и т. д. В таком общем сценарии уже почти никто не сомневается. Но в деталях его последней фазы (образования галактик, крупномасштабной структуры) много неясного. Кроме того, я уже говорил, что нет законченной теории «начала», имеются только различные гипотезы.

Не в связи ли с этим вы стали заниматься «многомерием»? Можно ли на «пальцах» объяснить, как проявляются «многомерные» эффекты?

М. Демьянский. Это сложно, потому что все наблюдения и лабораторные эксперименты практически не зависят от того, существуют ли добавочные измерения. Единственную возможность зафиксировать связь между дополнительными измерениями и наблюдаемыми эффектами дает космология.

Попытаюсь объяснить, в чем суть «многомерия». Эта идея возникла в теории элементарных частиц. Оказалось, чтобы простым способом описать взаимодействие элементарных частиц, построить теорию элементарных частиц как геометрическую (наподобие ОТО), удобно ввести многомерное пространство. К этому можно относиться по-разному. Либо считать это математической картиной, удобным способом описания, либо попытаться придать многомерному пространству физический смысл. Во втором подходе необходимо, правда, пояснить, почему в нашем 4-мерном пространстве-времени мы не наблюдаем дополнительных измерений. Единственное объяснение на сегодня — размеры мира вдоль дополнительных координат столь малы, что мы их практически не чувствуем, они ненаблюдаемы с помощью частиц и энергий, которыми мы располагаем. Но на ранних стадиях развития Вселенной существовало полное «равноправие» между всеми степенями свободы, т. е. между измерениями, которые мы наблюдаем теперь, и добавочными пространственными координатами.

И о каком же числе измерений идет речь?

М. Демьянский. В теории элементарных частиц их может быть, например, 9 или 11,

существуют разные варианты теорий. Но это непринципиальное различие, гораздо важнее, как они «свертываются», как сжимается пространство вдоль добавочных измерений, и как это может проявиться в наблюдениях.

На мой взгляд, единственный способ уловить их — следить за фоном гравитационных волн. Сам этот фон пока недоступен для наблюдений, но если он существует, то должен проявиться в анизотропии микроволнового реликтового излучения. Какова амплитуда этой анизотропии? Пока, к сожалению, есть только верхние оценки этой величины: $\Delta T/T \leq 2 \cdot 10^{-5}$. Главное сейчас — наблюдения, повышение чувствительности измерений этой анизотропии.

Надо сказать, что оценки величины ожидаемого эффекта зависят от многих параметров, часть из которых мы пока не знаем. Поэтому делается попытка решить обратную задачу: из отсутствия видимой анизотропии реликтового излучения получить ограничения на гравитационный фон.

Но если анизотропию обнаружат, станет ли это тем самым критическим экспериментом, т. е. докажем ли мы, что наш мир многомерен?

М. Демьянский. К сожалению, все не так просто. Существует много источников анизотропии, и их трудно различать. Необходима полная информация не только об амплитуде, но и о спектре искажений реликтового микроволнового излучения. Не говоря уж о том, что надо знать конкретную величину $\Delta T/T$, а не ее верхний предел.

Я же хочу обратить внимание на уникальность информации, которую можно получить с помощью гравитационных волн. Ведь «свертывание» дополнительных измерений на ранних фазах эволюции Вселенной не прямо связано с анизотропией реликтового фона. Вначале испускались космологические гравитационные волны, а уж потом — реликтовое излучение. Более того, фоновые гравитационные волны приносят информацию об этих событиях неискаженной, поскольку очень слабо взаимодействуют с веществом, в отличие от электромагнитного излучения, которое на своем пути из прошлого сильно «перерабатывается» веществом. Поэтому, если удастся обнаружить фон гравитационных волн, — это будет огромным шагом вперед на пути понимания ранних стадий эволюции Вселенной.

Планируются ли сейчас какие-либо эксперименты в этой области?

М. Демьянский. Уже ведется космический эксперимент «Реликт» (в Институте космических исследований АН СССР), одна из задач которого — определение анизотропии реликтового излучения. В готовящемся там же проекте «Радиоастрон» будет предпринята попытка обнаружить фоновые гравитационные волны. На основе двух радиоантенн (одна на Земле, другая в космосе) будет создан суперрадиоинтерферометр со сверхдлинной базой, обладающий огромной чувствительностью. С его помощью исследователи надеются обнаружить гравитационные волны, которые могут влиять на фазу волны, приходящей на интерферометр. По искаженному фронту волны можно получить по крайней мере верхнее ограничение на величину плотности космологических гравитационных волн.

Существуют также аналогичные американские проекты «Аэлиты» и «Коби».

Можно сказать, что в наши дни центр тяжести космологических исследований переместился к проблеме «начала», когда, по выражению Фридмана, «пространство было точкой», а время существования Вселенной не превышало 10^{-43} с. Чтобы понять, что происходило тогда во Вселенной, необходимы новые теории. Попытки их построения сейчас предпринимаются. Например, Вселенную рассматривают как некоторый квантовый объект, в котором на самом раннем этапе пространство и время не существовали. Вселенные могли рождаться «из ничего»⁷, и для этого не требовалось никаких усилий. Более того, наша Вселенная может быть лишь одной из многих. Что вы об этом думаете!

М. А. Марков. Сейчас считается, что в ранней Вселенной не было разнообразия материи. Вселенная возникла из вакуума, т. е. материя в начальной фазе существования Вселенной напоминала, как мне кажется, материю древнегреческого философа Анаксагора, определившего ее так: «Эта форма первичной материи лишена какой-нибудь способности движения. До начала космообразования бесконечно малая частица этой среды первоначально находилась каждая на своем месте, не изменяясь и не перемещаясь, ибо не было ничего, что бы побуждало их изменяться и перемещаться»⁸.

Когда, например, сейчас речь идет об

инфляционной Вселенной, то предполагают, что вся материя возникла в результате распада некоторой (ее называют иногда вакуумной) формы материи. Она лишена всякой структуры, какого-либо движения и в этом смысле близка, на мой взгляд, к материи Анаксагора. Я считаю, что материя произошла из распада этой праматерии и, если Вселенная замкнута, то при ее последующем сжатии все формы материи должны вернуться в исходное, первичное состояние. Как это может произойти и как избежать возникновения сингулярности при коллапсе Вселенной, т. е. состояния, в котором физические величины (плотность материи, кривизна пространства и т. д.) обращаются в бесконечность?

Я предположил, что плотность материи не может бесконечно расти, она имеет предельную величину — как скорость не может быть больше скорости света. Эту предельную (планковскую) плотность можно составить из универсальных констант: скорости света, гравитационной постоянной и постоянной Планка; ее значение равно 10^{93} г/см³.

Казалось бы, дальше все просто — Вселенная коллапсирует, плотность достигает предельного значения, и что-то должно произойти, возможно, снова начнется расширение. Правда, и тогда возникают сложности, связанные с гравитационным полем, поскольку из ограничений на плотность вещества в общем случае (при учете малой анизотропии Вселенной) еще не следует ограничения на кривизну. Вообще говоря, Вселенная и в случае существования предельной плотности может быть сингулярной, т. е. в некоторый момент времени кривизна в ней формально может быть бесконечной.

Думаю, существует несколько выходов из подобной ситуации. Например, можно предположить, что энергия, заключенная в гравитационных волнах, при коллапсе полностью «перекачивается» в энергию обычного вещества за счет рождения максимонов. При этом из ограничений на плотность могут следовать и ограничения на кривизну.

А можно с самого начала сформулировать более общее утверждение — конечна не плотность, а кривизна. Тогда ограничения на плотность получаются автоматически. Далее, надо как-то затормозить коллапс. Все современные теории ранней Вселенной основаны на том, что в начале расширения пространство было пространством де Ситтера. Для вакуумного состояния вещества в таком пространстве характерна

⁷ См., напр.: Зельдович Я. Б. Возможно ли образование Вселенной «из ничего»? // Природа. 1988. № 1. С. 16—26.

⁸ Цит. по: Рожанский И. Д. Анаксагор. М., 1983. С. 29.

антигравитация. Это связано с тем, что в ОТО «весит» не только плотность энергии E , но и давление p . В уравнение для гравитационной силы в сферически симметричном случае эти величины входят в комбинации $E+3p$. Для обычного вещества $0 < p < E$ и величина $E+3p$ положительна, т. е. гравитация является притягивающей, в то время как для вакуумного состояния $p = -E$ и $E+3p = -2E < 0$ при $E > 0$, т. е. гравитация отталкивает (это и есть антигравитация). Поэтому вакуумное состояние вещества может затормозить коллапс. В этом случае фридмановский мир при сжатии переходит в мир де Ситтера.

Но что же будет со Вселенной дальше? По моей гипотезе, замедлившись, а затем и остановившись, она опять начнет расширяться, и, таким образом, опять образуется Вселенная Фридмана. В некотором смысле коллапс Вселенной подобен коллапсу черной дыры. Что произойдет при коллапсе черной дыры (если справедливы выдвинутые гипотезы о предельной кривизне и вакуумном уравнении состояния при экстремальной кривизне пространства-времени)? Мы исследовали этот вопрос в нашей совместной с Мухановым и Фроловым работе. Оказывается, в центре черной дыры сингулярность не образуется, метрику черной дыры можно «сшить» с метрикой де Ситтера. А, распадаясь, это пространство де Ситтера может породить другую фридмановскую Вселенную, которая лежит в абсолютном будущем по отношению к нашему миру. Следовательно, в этом случае черные дыры служат источником новых замкнутых и полузамкнутых миров, которые образуются при коллапсе «внутри» черной дыры. Не исключено, хотя и маловероятно, что распад мира де Ситтера, возникшего при коллапсе вещества в нашей Вселенной, приведет к рождению «белой дыры» (т. е. выбросу вещества) в другой Вселенной.

Когда-то Амбарцумян предположил, что в центрах галактик имеются источники огромных энергий. Что они собой представляют? По давней гипотезе Новикова, а затем Неемана, наша Вселенная расширяется неравномерно — некоторые области на какое-то время задержались с расширением. Но оставалось неясным, в чем причина такой задержки. Если же предположить, что имеет место «просачивание» из другой Вселенной, тогда понятно, откуда источники огромных энергий в центрах галактик.

Но пока все это гипотезы. Согласно им, наша Вселенная может все время пополняться, т. е. возникают совершенно новые представления об ее эволюции. Кроме того,

по-новому ставится вопрос о множественности Вселенных, потому что каждая черная дыра при коллапсе может дать новую Вселенную, замкнутую или связанную с нашей узкой горловиной.

И. Д. Новиков. Уже первая космологическая модель Эйнштейна предполагала, что трехмерное пространство Вселенной замкнуто подобно сфере и отличается от бесконечного пространства Ньютона. Замкнутые трехмерные пространства рассматривались и в моделях Фридмана.

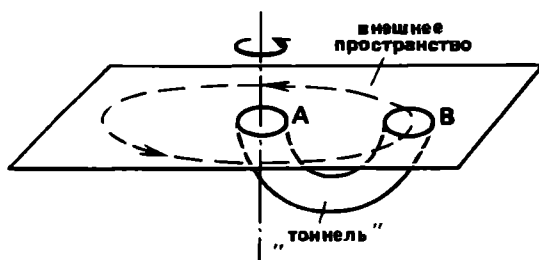
Когда такие пространства появились в теории, они казались очень необычными. Но сегодня физики к ним привыкли, такие теории уже не кажутся ни парадоксальными, ни экзотическими, и не исключено, что пространство нашей Вселенной именно такое. Поэтому вполне логично вслед за рассмотрением моделей Вселенных, в которых замкнуты пространственные направления (т. е. кратчайшая линия, соединяющая данную точку с какой-то другой и продолжаемая все дальше и дальше, обойдя мир, возвращается к исходной точке), рассмотреть мир, в котором замкнуто время. «Линии времени» в таком мире, продолжаемые в будущее, оказываются изгибающимися, возвращающимися в прошлое, замыкающимися на самих себя.

По-видимому, одной из первых моделей такого рода была модель Геделя, предложенная в 1949 г.: в ней расстояние между галактиками не меняется (т. е. Вселенная не расширяется). Тогда она рассматривалась как математический курьез, так как, во-первых, не согласовывалась с данными наблюдений о движении галактик, а, во-вторых, некоторые «линии времени» в ней оказались замкнутыми. Это означало, что частица, двигаясь вдоль такой линии, может вернуться в собственное прошлое. Иными словами, в таком мире невозможно отделить будущее от прошлого, что казалось физическим абсурдом.

С тех пор отсутствие замкнутых линий времени считалось обязательным свойством «добропорядочных» моделей пространства-времени. Это свойство как «очевидное» предположение часто использовалось в теоретических работах при доказательстве важных (и очень сложных) теорем о пространстве-времени внутри черных дыр. Но вот совсем недавно вопрос о возможности путешествий в собственное прошлое был поставлен вновь.

Профессор Калифорнийского технологического института Торн с сотрудниками, а затем я предложили два варианта такой

«машины времени», или, по образному выражению Торна, «кратовой дыры» в пространстве, которая позволяет путешествовать в прошлое. Оба варианта предполагают создание сначала сложной топологии трехмерного пространства. В этой конструкции есть два отверстия в пространстве, созданных сильнейшим полем тяготения коллапсирующего



вещества; отверстия соединены искривленным «тоннелем» — другим проходом из одного отверстия к другому, помимо обычного пути во внешнем пространстве. «Тоннель» можно сделать очень коротким по сравнению с расстоянием между отверстиями во внешнем пространстве. (Все это нелегко вообразить, так как мы не привыкли наглядно представлять искривленное трехмерное пространство.)

Чтобы превратить эту конструкцию в «машину времени», надо заставить одно из отверстий быстро двигаться по отношению к другому, например в предложенном мной варианте отверстие В быстро вращать относительно А. Тогда, с точки зрения путешественника во внешнем пространстве, как следует из специальной теории относительности, часы в В отстанут от часов в А; скажем, по часам А пройдет 5 лет, а по часам В — всего 5 дней. Но если смотреть из отверстия В на отверстие А через короткий «тоннель», то, поскольку часы А будут находиться все время рядом с В, их показания почти не будут отличаться.

Пусть теперь путешественник движется от А к В во внешнем пространстве. Он быстро достигнет В (часы там показывают в этот момент 5 дней); заглянув в это отверстие, он видит часы А, которые тоже показывают 5 дней (ведь это «тоннель»). Путешественник быстро перемещается по короткому «тоннелю» и выходит из отверстия А практически в тот же момент времени, т. е. когда часы А показывают 5 дней. Теперь вспомним, что стартовал он, когда на часах А было 5 лет, а вернулся, когда они показывают 5 дней, т. е. попал в прошлое. Обратный переход приведет его в будущее.

Таковы предсказания теории. Надо специально подчеркнуть, что до какой-либо экспериментальной проверки еще очень далеко. Все сказанное — чистая теория. Да и в теории еще совсем не все ясно; сама возможность создания такой «машины времени» будет проверяться и перепроверяться.

Но разве при этом не нарушаются причинно-следственные связи?

И. Д. Новиков. Действительно, возникают вопросы, кажущиеся парадоксальными. Например, в таких замкнутых «петлях времени» вообще нельзя делить события на прошлые и будущие, как нельзя в непрерывной веренице людей, движущихся по кругу, определить, кто идет впереди, а кто сзади; можно только уточнить, кто за кем следует. Так и в «петле времени» нет глобального прошлого и будущего, все события влияют друг на друга. Поэтому совсем по-иному выглядят причинные связи. Возможность получать информацию из будущего, связанная с необычной топологией пространства-времени, способна изменить саму форму законов движения тел и полей вблизи «машины времени»; в этих законах проявится, как говорят физики, нелокальность, обусловленная «петлями времени».

Мы заговорили о парадоксах времени. А что такое время вообще? Как на этот фундаментальный вопрос отвечают сегодня космологи?

С. Дезер. Время — отнюдь не то, что мы под этим понимаем в обычном смысле, хотя, естественно, каждый человек считает, что понимает, что такое время. Все зависит от масштабов. Так, мы легко можем представить себе, что такое расстояние порядка размера Земли (или меньше), что такое интервал времени порядка года (период обращения Земли). Но мы не в состоянии понять, что такое время в начале расширения Вселенной и время в конце ее жизни (т. е. интервал 10^{-43} с) — столь фантастически эта величина отличается от обычных мерок времени.

Очень легко, имея дело со временем, прийти к парадоксам. Например, можно написать уравнения, в которых время идет в обратную сторону. Или представьте себе, что мы находимся в нуле по оси времени, в логарифмическом масштабе — это бесконечность. Поэторю, мы не сможем объяснить, что такое время, используя обычный язык. Возможно это только на уровне того большого синтеза, который и есть наука, т. е. на уровне нашего понимания, что такое

мир, потому что именно наука пытается объяснить нам, как устроен наш мир за пределами обычных масштабов. Поэтому те концепции времени, которыми мы пользуемся, тоже должны зависеть от масштаба.

Скажем, квантовая механика не может быть последовательно описана в обыденных понятиях, т. е. на обычном классическом языке. В сущности, это справедливо для всех областей науки. Мы изобретаем язык, который должен быть логичным и четким и в котором термины что-то значат. Поэтому, чтобы понять, что такое время, нужно ставить вопрос в точной, адекватной форме.

Например, Сахаров использует понятие «стрелы времени» в направлении роста энтропии. В таком контексте время — макроскопическая величина, и в определенном диапазоне вполне допустимо пользоваться этим термином. Но для очень малых времен, мне кажется, уже нет такой связи: время — рост энтропии.

А. Д. Сахаров. То течение времени, которое мы наблюдаем в повседневной жизни, целиком и полностью связано со статистической необратимостью, т. е. с ростом энтропии. Пусть при $t=0$ имеет место состояние ложного вакуума с минимальной, нулевой, энтропией. Энтропия, по определению, всегда неотрицательна, т. е. при $t>0$ и $t<0$ она возрастает при удалении от точки $t=0$. Такое явление можно назвать «поворотом стрелы времени» при $t=0$. Что эта формальная возможность означает с философской точки зрения, я пока не знаю.

С. Дезер. У теоретиков существует свой язык, и он сильно отличается от обиходного. С другой стороны, мы обычные люди, и что-то поняв, хотим донести свое понимание до других. Впрочем, я не думаю, что знаю о том, что такое время, больше, чем мои коллеги.

А что, на ваш взгляд, способствует лучшему взаимопониманию среди самих ученых?

Р. Руффини. В арсенале космологии сегодня и космические аппараты, и межпланетные станции, и 6-метровый оптический телескоп, и огромные антенны радиотелескопов, и многое другое. Сюда же следует отнести и компьютеры. Если обратиться к истории, можно увидеть, что почти 20 веков потребовалось человеку, чтобы переместить центр Вселенной от Солнца. Затем для выдающихся открытий требовались десятилетия. А теперь открытия происходят каждый год, а иногда и чаще. И поэтому очень важна, особенно

для советских ученых, возможность быстро установить контакт с коллегами в любой точке земного шара. Ведь без этого неизбежно отставание уже «на старте».

Совершенно необходимо, чтобы ученый мог свободно передвигаться, имел доступ к компьютерам, к оперативному обмену данными. Надо, чтобы организационные формы сотрудничества ученых соответствовали тем огромным сдвигам в технике и технологии, которые происходят на наших глазах.

Хотелось бы также подчеркнуть важность научных школ. Ведь чтобы «производить» науку, необходима школа, ныне это не может быть индивидуальным актом. Для создания настоящей школы нужен учитель, средства, яркие студенты, хорошая библиотека, секретариат, причем все в одном месте. Необходима совместная работа над идеями. И это очень деликатный процесс. В истории науки много примеров того, как разрушались школы. А вот как они возникают, не вполне ясно. Для этого нужны не только материальные условия, но и мощные духовные стимулы. Тогда и рождается чудо научной школы. Мы должны работать вместе, творить эти чудеса.

М. Демьянский. Я работаю в Варшавском университете, но тесно связан с Коперниканским астрономическим центром АН ПНР. У меня широкие контакты с зарубежными научными центрами (в том числе и в СССР), наиболее стабильные — с Институтом релятивистской астрофизики в Риме, Центром теоретической физики в Остине и Принстонским университетом (США). Самое главное — возможность обмена не столько данными наблюдений, сколько идеями. Время, необходимое для возникновения идеи, — секунды, а на передачу ее стандартным путем (препринт, статья в журнале) уходят месяцы, если не годы. А общение с коллегами на уровне сегодняшних требований должно происходить тоже за секунды. Я надеюсь, что такие способы передачи информации будут развиваться. Расширение контактов среди ученых выгодно всем!

С. Дезер. Мне тоже хочется остановиться на значимости научных школ и необходимости широких международных контактов. Попытаюсь объяснить это на собственном примере. Моим учителем был Швингер (недавно я имел огромное удовольствие организовать конференцию по случаю его 70-летия). Я получил степень доктора за работы в области физики элементарных частиц, потом попал в Институт высших ис-

следований в Принстоне, где мне посчастливилось встречаться с Эйнштейном. Там же я познакомился с Опенгеймером. Затем два года работал у Бора в Копенгагене. Потом на год вернулся в Гарвардский университет, где работал Швингер. Таким образом, я получил образование в нескольких научных школах. Конечно, не могу утверждать, что сумел взять от этих школ все, но пользу такого «разностороннего» образования трудно переоценить.

Сейчас у меня несколько студентов (кстати, Швингер «репродуцировал» себя в 70 докторов. Это одни из лучших специалистов в США, у них самих уже есть научные «дети» и «внуки»). Я много сотрудничаю с исследователями из разных стран. Часто бываю восхищен работами советских ученых. По существу, физика стала полем международного сотрудничества. Если что-либо интересное опубликовано в Москве, не позднее, чем через неделю, мы узнаем об этом.

И в заключение нашей беседы: что вы думаете о будущем космологии, о возможных открытиях в ней! Можно ли фантазировать в этой и без того фантастической науке!

Р. Руффини. Однажды Чандрасекар сказал мне (и я с ним согласен), что выдуманное человеком никогда не было так фантастично, как сама реальность. Человек консервативен в своих фантазиях, реальность глубже и неожиданнее того, что мы способны себе представить. И если мы обратимся к предсказаниям фантастов, то увидим, что они менее интересны, чем то, что было потом реализовано. Нам нет нужды заниматься научной фантастикой, мы должны заниматься наукой!

М. Демьянский. Мне кажется, не следует ожидать в наших представлениях о Вселенной каких-либо изменений революционного характера, сравнимых с открытием Фридмана о расширении Вселенной. Но есть много возможностей уточнить эту картину. Прежде всего, я бы отметил проблему анизотропии реликтового излучения, обнаружения фона гравитационных волн, фона нейтрино и т. д.; таким образом, в экспериментальном плане перспективы весьма широкие.

Х. Сато. А мне кажется, что перспективы довольно туманны. В 1980 г. у меня было гораздо больше надежд. В то время теория Великого объединения казалась очень перспективной. Дальше виднелась теория Сверхвеликого объединения. Но сейчас все это мне представляется куда менее определенным.

Я внимательно слежу за развитием физики элементарных частиц. В теории Великого объединения считалось, что вплоть до огромных энергий не возникнет никакой новой физики. Говорили о «пустыне» между энергиями 10^3 и 10^{15} ГэВ. Но природа, возможно, устроена хитрее, и не исключено, что в этой «пустыне» нам предстоит обнаружить много интересного. Поэтому упрощенное представление о том, что за хромодинамикой идут теории Великого, а затем — Сверхвеликого объединений, может остаться только желанием. И, возможно, на самом деле все будет не так. Поэтому мы должны продвигаться шаг за шагом и ни в коем случае не «перепрыгивать» через такие интервалы энергий. Это и есть мои представления о будущем.

С. Дезер. Наука развивается от парадокса к парадоксу. Как только мы формулируем парадокс, мы делаем следующий шаг. Думаю, что новые ускорители, а также новые космологические и астрофизические наблюдения позволяют нам сформулировать новые парадоксы. Но все это очень не просто. И потому мы собираемся на конференции, подобные этой, и делаем на них то, о чем говорил Опенгеймер: «То, что мы не понимаем, мы объясняем друг другу». Именно для этого и проводятся конференции.

М. А. Марков. Хочу привести высказывание Фридмана: «К счастью, нам не дано видеть будущего». Ведь всякое представление о будущем содержит элементы сдерживающего нас настоящего. Действительность и история всегда богаче самой необузданной фантазии. Поэтому все, что может произойти, трудно предсказать заранее. И я не хотел бы выступать в данном случае в роли пророка, ибо мы мыслим о будущем на основе сегодняшних подходов. Это ограничивает наше мышление. Разве мог предсказать Максвелл, что возникнет в результате открытия им уравнений электромагнитного поля? Разве можно оценить в рублях и вещах то, что сделал Ньютон? Наша фантазия ограничена сегодняшними проблемами, о которых и шла речь.

А. Д. Сахаров. Но тем не менее фантазия очень нужна. Это наш метод работы.

М. А. Марков. Безусловно, фантазия нужна. Она может быть либо правильной, либо ошибочной. Но я хотел бы подчеркнуть, что в будущем сокрыто значительно больше неожиданных практических применений и прочих атрибутов фантастики, чем это видится нам сейчас.

В.И. Балыкин
В.Г. Миногин

Лазерное охлаждение атомов



Виктор Иванович Балыкин, кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник Института спектроскопии АН СССР. Область научных интересов — лазерная спектроскопия атомов, селективные фотофизические процессы в атомах.



Владимир Георгиевич Миногин, доктор физико-математических наук, ученый секретарь того же института. Специалист в области резонансного взаимодействия атомов с лазерным излучением. В соавторстве с В. С. Летоховым опубликовал монографию: Давление лазерного излучения на атомы. М., 1986.

Из многочисленных публикаций о разнообразных научных и технологических применениях лазеров читателю, возможно, известно, что одним из основных свойств лазерного излучения является его чрезвычайно высокая эффективная температура¹, которая даже для маломощных лазеров на много порядков превышает температуру Солнца. Это уникальное свойство лазерного света резко отличает его от света, испускаемого обычными тепловыми источниками (от всем привычных лампочек накаливания до яркой дуги электросварки или ослепительных вспышек молнии). Благодаря этому свойству лазерное излучение получило широкое распространение для тепловой обработки материалов, в том числе резки, сварки и закалки металлов, а в последние годы даже рассматривается возможность его использования для инициирования термоядерных реакций.

Вместе с тем, сейчас, по-видимому, только узким специалистам известно, что лазерное излучение может не только нагревать вещество, но и эффективно охлаждать его. На первый взгляд, это кажется трудно совместимым, тем не менее в последние 10 лет рядом исследовательских групп было убедительно показано, что лазером можно охлаждать атомы, свободно движущиеся в газе низкого давления или в атомном пучке. По последним данным, достигнуты температуры, отличающиеся от абсолютного нуля всего на миллионные доли градуса!

Несмотря на то что лазерные методы охлаждения не столь универсальны, как криогенные², они открыли чрезвычайно интерес-

¹ Под температурой лазерного излучения понимают температуру абсолютно черного тела, у которого спектральная интенсивность на частоте лазера равна интенсивности лазерного излучения.

² Обычные криогенные методы дают возможность охлаждать вещество как в газообразном, так и в твердом и жидком состояниях. Однако в этом подходе газ при охлаждении конденсируется в жидкую или твердую фазы, что резко уменьшает плотность газа. При лазерном охлаждении, примененном пока только к атомарному газу, такого уменьшения плотности не происходит. В этом смысле оно предпочтительнее обычных методов охлаждения.

ные перспективы применения холодных атомов в фундаментальных и прикладных исследованиях. С применением лазерного охлаждения связаны надежды на значительное повышение точности стандартов частоты и времени, постановку прецизионных экспериментов с использованием всего одного атома и даже на создание бозе-эйнштейновского конденсата атомов водорода — квантового вещества, существующего вблизи абсолютного нуля температуры.

В чем же суть физических эффектов, позволяющих лазерному свету охлаждать атомы?

ИДЕЯ ЛАЗЕРНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

В ее основе лежит способность лазерного света создавать давление на атомы, чрезвычайно чувствительное к частоте света и скорости отдельного атома. Эта особенность давления лазерного света значительно отличает его от светового давления тепловых источников света, в том числе и солнечного, которое, как показал еще на рубеже XIX—XX вв. П. Н. Лебедев, зависит только от плотности потока импульса, переносимого излучением.

Как известно, неподвижный атом может возбудиться при поглощении монохроматического лазерного света в том случае, когда частота света близка к частоте оптического перехода атома. Возбуждаясь, атом поглощает фотоны лазерного излучения, которые при этом неизбежно передают ему свой импульс. В результате, взаимодействуя со светом резонансной частоты, атом испытывает световое давление в направлении распространения лазерного луча. Резонанс между лазерным светом и атомом обычно чрезвычайно острый из-за узости линий поглощения атомов в оптическом диапазоне (типичное значение естественной ширины линии оптического перехода атома 10^7 Гц при частоте оптических переходов атомов порядка 10^{15} Гц). Соответственно, достаточно изменить частоту лазерного света всего на десятки миллиардных долей, как атом перестает возбуждаться и величина светового давления резко падает.

Существование крайне острого резонанса сохраняется и для движущегося атома, однако это движение привносит в описанную выше картину принципиально новую особенность — резкую зависимость величины светового давления от скорости атома.

В основе этого явления лежит широко известный по многочисленным проявлениям в самых разных областях физики эффект Доплера. Благодаря ему, частота лазерного

света, регистрируемая в системе движущегося атома, зависит от скорости атома: при движении навстречу лазерному лучу атом «воспринимает» свет как более высокочастотный, а при движении в направлении распространения луча — как более низкочастотный. И поскольку атом при разных значениях скорости «видит» лазерный свет разной частоты, то эффективность его взаимодействия со светом, а значит, и величина испытываемого им светового давления зависит от его скорости.

Атом с частотой внутреннего оптического перехода ν_0 , двигаясь вдоль оси лазерного луча частоты ν , испытывает максимальное световое давление при резонансной скорости $V^{рез} = (\nu - \nu_0)\lambda$, где λ — длина волны лазерного излучения. При $\nu > \nu_0$ резонанс возникает, если атом движется в направлении распространения луча, при $\nu < \nu_0$ — если движение происходит против распространения луча, а при равенстве частот резонанс имеет место для неподвижного атома. Очевидно, что при скоростях атома, отличных от $V^{рез}$, резонанс между светом и атомом ослабевает и, соответственно, падает величина светового давления. Значение резонансной скорости может легко варьироваться посредством изменения частоты лазерного света. Если последняя отличается от частоты атомного перехода на величину доплеровской ширины линии, то резонансная скорость совпадает со средней тепловой скоростью атомов, которая при комнатной температуре имеет значение, по порядку величины равное 1000 м/с. При типичной длине волны оптического лазерного излучения $\lambda = 5 \cdot 10^{-7}$ м и типичной естественной ширине линии резонансного оптического перехода атома $\Delta\nu_0 = 10^7$ Гц атом эффективно взаимодействует со светом, когда его скорость лежит вблизи резонансной скорости в области порядка $\Delta V^{рез} = (\Delta\nu_0/\nu)c = 5$ м/с. При большем отличии величина светового давления резко падает.

Таким образом, давление монохроматического лазерного излучения является селективной функцией скорости атома. Атом подвергается давлению со стороны лазерного луча в том случае, когда направление и величина его скорости удовлетворяют условию резонанса.

Теперь представим себе, как это впервые предположили в 1975 г. Т. Хэнч и А. Шавлов, что атомарный газ при комнатной температуре со всех сторон облучается лазерным светом, и допустим, что частота света меньше частоты оптического перехода атома. Находясь при этих условиях в постоянном хаотическом движении, атомы газа имеют самые

разные скорости — от нулевой до характерной тепловой (1000 м/с). Соответственно среди них всегда найдутся такие, которые, двигаясь навстречу одному из лазерных лучей, попадают в резонанс с ним и, подвергаясь значительному световому давлению, замедляются.

Таким образом, лазерный свет в состоянии безошибочно находить атомы со скоростями, близкими к резонансной, и, воздействуя на них силой светового давления, замедлять их. Как результат, в газе увеличивается количество медленных атомов, что и означает уменьшение его температуры³. Естественно, при этом охлаждается только небольшая доля атомов газа, скорости которых отличаются от резонансной не более чем на 5 м/с. Чтобы замедлить атомы из всей области теплового скоростного распределения (т. е. от 0 до 1000 м/с), необходимо лазерное излучение с шириной спектра, соответствующей ширине исходного скоростного распределения атомов. Тогда практически при любой скорости движения атомы будут в резонансе со светом, а значит, и замедляться им.

Охлаждение атомов лазерным светом чрезвычайно эффективно из-за большой величины резонансного светового давления. При каждом поглощении фотона направленного лазерного излучения импульс атома меняется на величину импульса фотона $h\nu/c$ (h — постоянная Планка, c — скорость света), а скорость атома с массой M — на величину скорости отдачи $\Delta V = h\nu/Mc$. Поскольку отдельный акт поглощения фотона всегда сопровождается релаксацией атома в исходное состояние, то в среднем поглощение фотона требует времени, равного времени спонтанной релаксации атома $\tau = (\Delta\nu)^{-1}$. Отсюда легко получить, что ускорение атома в поле резонансного излучения $a = \Delta V/\tau \approx \approx 10^8$ см/с² — в 100 тыс. раз больше ускорения свободного падения. Соответственно в резонансных условиях атомы с начальными скоростями около $V_{res} = 1000$ м/с охлаждаются светом всего за тысячные доли секунды.

³ Отметим, что рассмотренный микроскопический механизм лазерного охлаждения атомов находится в полном соответствии с законами термодинамики. Закон сохранения энергии выполняется, поскольку частота лазерного излучения меньше частоты атомного перехода. При этом на атомы действуют силы светового давления, направленные против скоростей атомов. Работа этих сил приводит к понижению трансляционной энергии атомов, т. е. к охлаждению газа. Выполнение второго закона термодинамики обеспечивается тем, что понижение энтропии газа при охлаждении компенсируется увеличением энтропии рассеянного лазерного света за счет расширения его частотного и углового спектров.

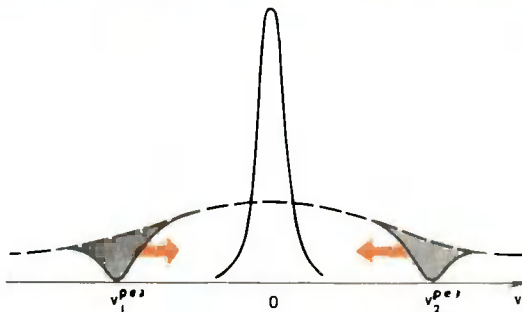
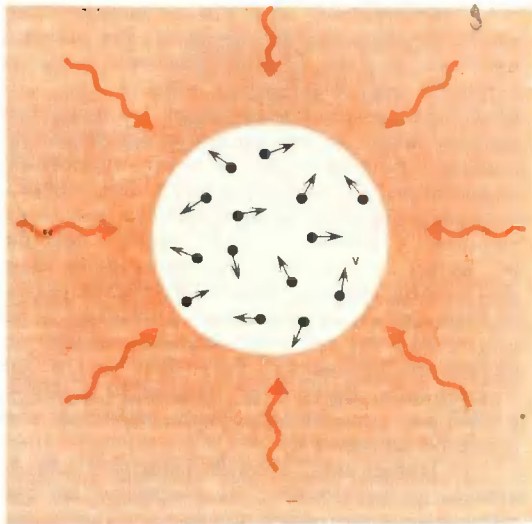


Схема изотропного охлаждения атомарного газа лазерным светом (вверху) и изменение распределения атомов по скоростям в результате такого охлаждения (внизу). Газ хаотически движущихся атомов облучается со всех сторон лазерным светом с частотой, меньшей частоты оптического перехода. При этом атомы, движущиеся навстречу лучу, испытывают действие светового давления и замедляются, т. е. происходит охлаждение газа. Первоначальное распределение атомов по проекциям скоростей на одну из произвольно выбранных пространственных осей показано пунктиром на рисунке внизу. Закрашенные области соответствуют двум группам атомов, которые наиболее эффективно замедляются лазерным светом. В одной из них скорости лежат вблизи

$$V_1^{res} = (v_0 - v_0)\lambda,$$

и они замедляются светом, распространяющимся навстречу выделенному направлению. Скорости атомов во второй группе сосредоточены вблизи

$$V_2^{res} = +(v - v_0)\lambda;$$

они замедляются светом, распространяющимся вдоль выделенного направления. В результате газ обогащается медленными атомами и распределение по скоростям принимает вид узкого пика (стрелками и указаны направления действия сил светового давления).

Любопытно, что столь высокая скорость охлаждения атомарного газа достигается при крайне низкой интенсивности лазерного излучения. Все дело в том, что атомы эффективно возбуждаются лазерным светом, если вероятность поглощения ими фотонов близка к вероятности спонтанной релаксации из возбужденного состояния в основное. Последнее имеет место при интенсивности лазерного излучения порядка $0,1 \text{ Вт/см}^2$. Поскольку для облучения газов или пучков атомов обычно используются лазерные лучи небольшого диаметра — порядка $0,1\text{—}0,3 \text{ см}$, площадь излучаемой поверхности составляет $0,01\text{—}0,1 \text{ см}^2$, и для охлаждения достаточно мощности 1 мВт — в 1000 раз меньше мощности лампочки карманного фонарика.

Охлаждение атомов лазерным светом всегда конкурирует с их нагревом за счет флуктуаций светового давления, обусловленных флуктуациями импульсов атомов при поглощении и испускании фотонов. Поскольку импульс фотона, а значит, и импульс отдачи атома постоянны, флуктуационное изменение направления испускания фотона или числа поглощенных фотонов всегда приводит к флуктуациям импульсов атомов. В результате конкуренции охлаждения и флуктуационного нагрева атомов в поле лазерного излучения в газе устанавливается температура, определяемая естественной шириной линии поглощения атома⁴: $T = \hbar \Delta \nu / k_B$ (k_B — постоянная Больцмана). Для типичных дипольных переходов атомов $T \sim 10^{-4} \text{ К}$.

Еще более глубокого охлаждения можно добиться, используя слабые переходы, например квадрупольные, с более узкими линиями поглощения. В этом случае, однако, уже приходится принимать во внимание, что скорость атома не может быть меньше его скорости отдачи за счет акта переизлучения им фотона. Это определяет ту предельно низкую температуру, которую можно достичь при охлаждении атомов лазерным излучением — 10^{-6} К

ПРОДОЛЬНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Принципиальная схема охлаждения атомов, будучи весьма простой, при практической реализации наталкивается на серьезную техническую трудность: она требует лазерных лучей большого диаметра. Дело в том, что атомы при охлаждении должны все время находиться в зоне действия лазер-

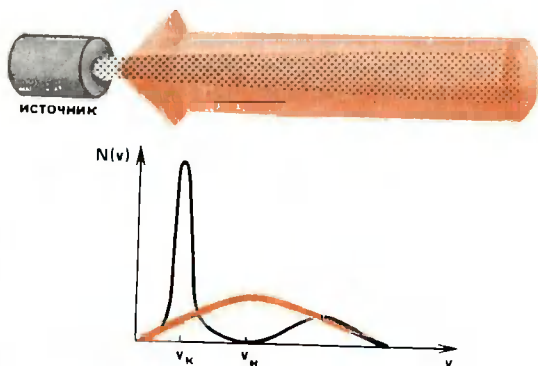


Схема продольного охлаждения пучка атомов встречным лазерным излучением (вверху) и распределение атомов по скоростям (внизу) до охлаждения (черная кривая) и после него [v_n — средняя продольная скорость атомов в начале области взаимодействия, v_k — в конце].

ного излучения, а поскольку тепловые скорости атомов достаточно велики, то даже за тысячные доли секунды, необходимые для их охлаждения, они успевают пролететь десятки сантиметров. Поэтому уже в первых исследованиях стало ясно, что проще всего охлаждать атомы в пучке. В этом случае при замедлении они могут все время оставаться в зоне действия лазера, что и обеспечивает высокую эффективность охлаждения.

Первый успешный эксперимент подобного рода был проведен с пучком атомов натрия⁵. Коллимированный пучок атомов натрия, испущенный из источника, облучался встречным лазерным лучом с частотой в пределах доплеровского контура линии поглощения. Поскольку спектр излучения был значительно уже доплеровской ширины, лишь небольшая часть атомов находилась в резонансе с полем излучения и только они эффективно замедлялись. Скорости же остальных атомов менялись незначительно. Замедление резонансных атомов продолжалось до тех пор, пока они не выходили из резонанса с излучением за счет появившегося доплеровского сдвига при их замедлении. Замедленные атомы образовывали узкую скоростную группу большой плотности на фоне остальных атомов. Этот процесс был назван скоростной монохроматизацией атомного пучка.

⁴ Летохов В. С., Миногин В. Г., Павлик Б. Д. // ЖЭТФ. 1977. Т. 72. С. 1328—1341.

⁵ Балыкин В. И., Летохов В. С., Мишин В. И. // Письма в ЖЭТФ. 1979. Т. 29. С. 614—618. Следует отметить, что выбор атомов натрия в качестве объектов исследования обусловлен тем, что для их возбуждения можно использовать надежно работающие лазеры на красителях.

Поскольку температура в ансамбле атомов определяется разбросом их скоростей, в данном случае можно говорить об эффективной продольной температуре образовавшегося ансамбля атомов. Эта температура обычно на несколько порядков меньше, чем первоначальная. Однако, в узком пике сосредоточены не все атомы пучка. Чтобы «собрать» значительную часть атомов в этот пик и сдвинуть его к нулевой скорости, использовались несколько методов. В одном из них частоту излучения меняли вслед за меняющейся частотой поглощения замедленных атомов. Это происходило синхронно с уменьшением скоростей атомов, чтобы замедляемые атомы были все время в резонансе с излучением. В другом методе использовалось двухчастотное лазерное излучение, обеспечивающее эффективное замедление атомов вплоть до очень малых скоростей. В результате значительную часть атомов пучка удалось охладить до эффективной температуры $T \sim 0,1$ К.

К настоящему времени идея охлаждения атомных пучков встречным лазерным излучением получила развитие как у нас в стране, так и за рубежом. Во многих лабораториях мира, в том числе в Национальном бюро стандартов, Объединенном институте лабораторной астрофизики и Исследовательских лабораториях фирмы «Белл» (США), в Боннском университете (ФРГ), реализованы различные схемы продольного охлаждения. В лучших экспериментах получены пучки атомов с температурами до 10^{-3} К.

ПОПЕРЕЧНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

При продольном охлаждении атомов увеличиваются их поперечные скорости. Причина этого — флуктуационный рост импульсов атомов из-за поглощения и испускания фотонов резонансного лазерного излучения. На определенной стадии охлаждения продольные скорости атомов становятся сравнимыми с поперечными, и для дальнейшего охлаждения атомов необходимо поперечное охлаждение пучка.

Эффективным методом решения этой проблемы является применение аксиально-симметричного лазерного излучения. В первом эксперименте по проверке этого метода также использовался пучок атомов натрия⁶. На сей раз он облучался лазером с частотой излучения меньше частоты атомного перехода, а необходимая геометрия лазерного поля

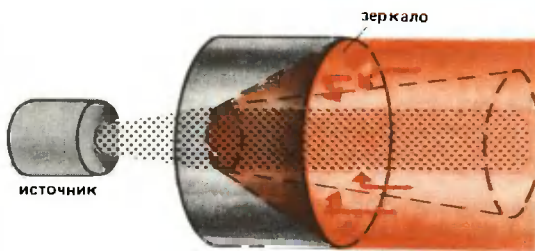


Схема поперечного охлаждения атомов. Лазерное излучение (красные стрелки), отражаясь от внутренней поверхности конического зеркала, распространяется перпендикулярно оси атомного пучка. Атом, движущийся в плоскости рисунка от оси пучка, взаимодействует с двумя встречными световыми волнами (одна из них распространяется к оси зеркала, другая — от нее). Частота лазерного излучения меньше частоты поглощения атома, поэтому благодаря эффекту Доплера он сильно поглощает ту волну, которая распространяется навстречу поперечному движению атома. Под действием светового давления, направленного к оси пучка, поперечная скорость атома уменьшается, что приводит к сужению пучка (его конфигурация без лазерного поля показана пунктиром).

достигалась отражением лазерного луча от конического зеркала, расположенного на оси пучка. В таком поле на атом, скорость которого направлена от оси пучка, действует сила светового давления в противоположном направлении. Как и в случае ранее рассмотренного изотропного излучения, это обусловлено влиянием эффекта Доплера на взаимодействие атома с отдельными световыми волнами, распространяющимися от поверхности конического зеркала к оси пучка. В результате, в аксиально-симметричном поле уменьшаются поперечные скорости атомов, иными словами, понижается поперечная температура пучка.

В атомных пучках поперечные скорости гораздо меньше продольных, поэтому как время, так и длина, на которых замедляются атомы, существенно меньше, чем при продольном охлаждении. Например, длина конического зеркала в описанном эксперименте составляла всего несколько сантиметров, а достигнутая поперечная температура ($3 \cdot 10^{-3}$ К) была лишь в 10 раз выше той минимальной, которая возможна для лазерного охлаждения при дипольных переходах.

ТРЕХМЕРНОЕ ОХЛАЖДЕНИЕ

Реализация идеи трехмерного охлаждения, которая исторически была сформулирована первой, оказалась технически наиболее сложной. Трудности здесь заключались как в создании центрально-симметричного светового поля, так и в необходимости

⁶ Балыкин В. И., Летохов В. С., Сидоров А. И. // Письма в ЖЭТФ. 1978. Т. 40. С. 251—253.

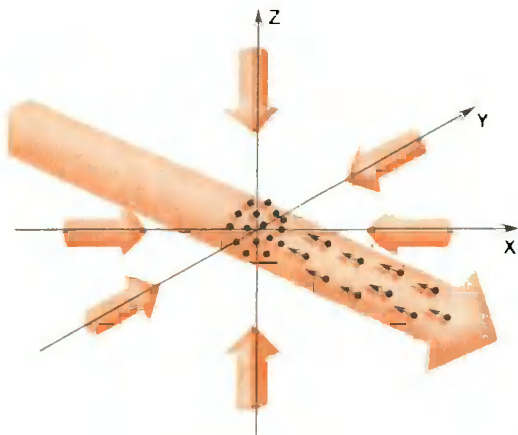


Схема трехмерного охлаждения атомов в световом поле шести лазерных лучей, направленных вдоль осей декартовой системы координат. Вблизи ее центра они формируют сферически-симметричное поле, в которое инжатируется пучок атомов. Для уменьшения продольной скорости атомов он дополнительно облучается встречным лазерным лучом.

разрешения уже отмечавшейся проблемы быстрого пролета атомами области охлаждающего поля.

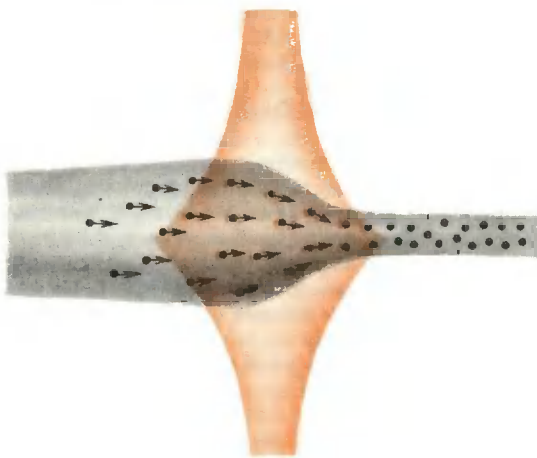
Для преодоления первой из этих трудностей был предложен относительно простой способ облучения атомов шестью лазерными лучами, направленными так, чтобы вдоль каждой из осей декартовой системы координат распространялись два встречных луча⁷. В области пересечения они создают световое поле тем более близкое к центрально-симметричному, чем ближе атом к центру системы координат.

Используя поле такой конфигурации, группа из Исследовательских лабораторий фирмы «Белл» выполнила первый успешный эксперимент по трехмерному охлаждению атомов натрия⁸. Чтобы избежать быстрого пролета охлаждаемых атомов через область лазерного поля, в эксперименте использовались атомы, предварительно замедленные в исходном пучке дополнительным встречным лазерным излучением. При частоте охлаждающего поля, меньшей частоты оптического перехода атома натрия на величину естественной полуширины линии $\Delta\nu/2$, в этой схеме эксперимента была достигнута температура $T=2,4 \cdot 10^{-4}$ К, по порядку величины совпадающая с теоретически установленным пределом для оптически охлажденных атомов натрия.

Осуществление идеи трехмерного лазерного охлаждения стало кульминацией десятилетних усилий экспериментаторов. Вместе с тем, как это всегда бывает с глубокими физическими идеями, разработка методов лазерного охлаждения атомов открыла весьма интересные перспективы их применения в оптике, атомной физике и спектроскопии, в частности в задачах пространственного ограничения движения атомов. Дважды яркими примерами здесь могут служить сжатие атомных пучков лазерным полем и стабильное трехмерное пленение атомов в оптических или магнитных ловушках.

СЖАТИЕ АТОМНЫХ ПУЧКОВ

Во многих областях физики широко используются пучки заряженных или нейтральных частиц. Точность экспериментальных исследований и эффективность применения пучков в значительной степени зависят от того, насколько удастся уменьшить разброс частиц по импульсам и уменьшить поперечные размеры пучков. Для характеристики сжатия пучка в пространстве импульсов и координат введено понятие фазовой плотности, равной числу частиц в единице объема и единичном импульсном интервале. Чем выше фазовая плотность, тем точнее измере-



Сжатие пучка атомов двумя расходящимися лазерными лучами. На оси пучка, где интенсивности излучения в двух лучах равны, силы светового давления каждого из них компенсируются. При смещении же атома от оси, например вверх, интенсивность в верхнем луче возрастает, а в нижнем падает, благодаря чему появляется результирующая сила светового давления, направленная к оси пучка. Она может сжать пучок атомов до размеров, сравнимых с длиной волны лазерного излучения (10^{-6} м).

⁷ См. сноску 4.

⁸ Chu S. et al. // Phys. Rev. Lett. 1985. V. 55. P. 48—51.

ния, которые можно проводить с таким пучком.

Проблема повышения фазовой плотности в значительной степени решена для заряженных частиц. Электрическими и магнитными полями удается ограничить пучки заряженных частиц в пространстве, а использование диссипативных электромагнитных процессов (радиационного трения, электронного охлаждения и т. п.) позволяет уменьшить разброс их импульсов.

До недавнего времени не существовало, однако, методов увеличения фазовой плотности пучков нейтральных частиц. Лазерное охлаждение, как было показано выше, позволяет сжимать пучки атомов в пространстве скоростей. Вместе с тем в последние годы выяснилось, что с помощью давления лазерного излучения можно уменьшить и поперечные размеры нейтральных пучков.

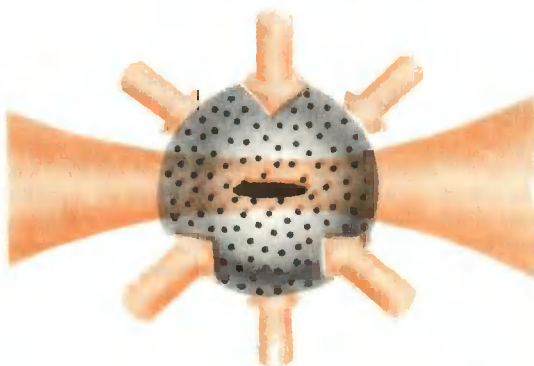
В основе метода сжатия пучков атомов давлением лазерного излучения, как и в основе других методов пространственной локализации атомов, лежит тот известный факт, что при охлаждении частиц, совершающих финитное движение в потенциальном поле, понижение их кинетической энергии автоматически уменьшает амплитуду колебаний частиц, что и приводит к пространственному сжатию ансамбля частиц.

Для пучка атомов сжатие достигается созданием поперек оси пучка потенциальной ямы и одновременным лазерным охлаждением. В простейшем случае потенциальная яма, ограничивающая поперечные движения атомов в пучке, может быть образована тем же лазерным полем, которое используется для поперечного охлаждения атомов⁹. В этой схеме расходящиеся лазерные лучи образуют потенциальную яму поперек оси пучка за счет действия на атомы силы светового давления, которая в таком поле равна нулю на оси пучка и увеличивается по мере отклонения от нее. Это же лазерное поле осуществляет охлаждение в поперечном к движению атомов направлении, в результате чего происходит сжатие пучка. Качественно этот эффект был продемонстрирован на пучке атомов натрия, охлаждаемых по описанной схеме¹⁰. По теоретическим оценкам, диаметр пучков атомов при лазерном сжатии может быть уменьшен до длины волны лазерного излучения ($\sim 10^{-6}$ м).

ПЛЕНЕНИЕ ХОЛОДНЫХ АТОМОВ

Существуют по крайней мере два обстоятельства, стимулирующие развитие методов локализации атомов. Одно из них состоит в том, что удержание частиц в области пространства, не ограниченной материальными стенками, обеспечивает длительное изучение их свойств и высокую точность измерений. Кроме того, на локализованных частицах могут проводиться спектроскопические и другие исследования свойств частиц без влияния на них соседних частиц или стенок.

Проблема локализации ионов решена давно с помощью различного типа ловушек, использующих неоднородные магнитные и электрические поля. Что касается удержания атомов в определенной области пространства, то с этим дело обстоит гораздо сложнее. Все известные силы природы, действующие на нейтральные атомы, слишком слабы, чтобы их можно было использовать для таких целей даже при криогенных температурах, не говоря уже о комнатных. Только лазерное охлаждение позволило уменьшить энергию газа атомов до таких величин, при которых стала возможной их пространственная локализация с помощью электрических и магнитных полей. В настоящее время реализовано несколько схем атомных ловушек. Для удержания атомов в них используется либо неоднородное магнитное поле, либо неоднородное лазерное поле, либо комбинация этих полей. Одной из эффектив-



Оптическая ловушка для атомов, образованная сильно сфокусированным лазерным лучом. Атомы, предварительно охлажденные шестью дополнительными лазерными лучами, захватываются потенциальной ямой сфокусированного луча и концентрируются в центральной области ловушки.

⁹ Миногин В. Г. // Оптика и спектроскопия. 1986. Т. 60. С. 1061—1064.

¹⁰ Bailykin V. I. et al. // J. of Modern Optics. 1988. V. 35. P. 17—34.

ных атомных ловушек является оптическая¹¹. Основу ее составляет сильно сфокусированный лазерный луч, в фокусе которого интенсивность излучения максимальна. Вне фокуса (как вдоль, так и поперек луча) интенсивность излучения уменьшается. На атом в таком поле действует так называемая градиентная сила, втягивающая его в область максимальной интенсивности излучения, т. е. к фокусу лазерного луча. Чтобы заполнить такую ловушку атомами, узкий коллимированный пучок атомов направляют к центру ловушки. На пути к нему атомы замедляются встречным лазерным излучением до скоростей, при которых они уже могут быть захвачены ловушкой. Для дальнейшего охлаждения локализованных атомов и концентрации их на дне ловушки применяется трехмерное лазерное охлаждение с помощью дополнительных шести лучей, в которые «погружена» атомная ловушка.

Атомы удерживаются в оптической ловушке в течение нескольких минут. Это время определяется их столкновениями с быстрыми молекулами остаточного газа в вакуумной камере, в которую помещена ловушка.

ПРИМЕНЕНИЕ ХОЛОДНЫХ АТОМОВ

Лазерное охлаждение позволило достичь рекордно низких температур для газа атомов, что открыло широкие возможности использования ультрахолодных атомов как в научных исследованиях, так и в практических целях. Остановимся на важнейших из них, другие же только перечислим.

Фундаментальными причинами, ограничивающими точность и воспроизводимость квантовых стандартов частоты и времени, являются уширения и сдвиги спектральных линий за счет эффектов Доплера первого и второго порядка, а также пролетное уширение, обусловленное большой скоростью

атомов при комнатной температуре. Для ультрахолодных атомов эти эффекты слабее, поэтому использование охлажденных атомов открывает перспективы повышения как точности, так и воспроизводимости атомно-лучевых стандартов частоты. По прогнозам многих специалистов, применение таких пучков позволит к концу века достичь в измерениях частоты точности порядка 10^{-15} . Погрешность атомных часов такой точности будет составлять 1 с за 30 млн лет.

Применение ультрахолодных атомов даст возможность повысить и точность измерения фундаментальных констант (h , c и т. п.), входящих в основные законы материального мира. При таких измерениях всегда используют ансамбли атомов, в которых неизбежен тепловой разброс скоростей. Поскольку от этого разброса в основном и зависит точность измерения величин, на основе которых определяются фундаментальные константы, уменьшение ширины скоростного распределения атомов позволит существенно повысить точность определения фундаментальных констант.

Достижение ультранизких температур в ансамбле атомов представляет также интерес для изучения столкновений атомов, образования химических связей и процессов конденсации. В этих исследованиях лазерные методы охлаждения позволяют продвигаться в область температур, существенно более низких, чем те, которые достигаются при охлаждении атомов в сверхзвуковых соплах.

Другие важные применения холодных атомов следуют из того обстоятельства, что они могут накапливаться и длительное время удерживаться в электромагнитных ловушках. Это позволит повысить точность ряда методов исследований в атомной и ядерной физике, спектроскопии, в частности проводить спектроскопические исследования радиоактивных атомов, получаемых в считанных количествах в ядерных реакциях.

¹¹ Chu S. et al. // Phys. Rev. Lett. 1986. V. 57. P. 314—317.

Б. М. Медников

Еще раз о законе ГОМОЛОГИЧЕСКИХ рядов в наследственной изменчивости



Борис Михайлович Медников, доктор биологических наук, главный научный сотрудник Межфакультетской проблемной научно-исследовательской лаборатории молекулярной биологии и биоорганической химии им. А. Н. Белозерского Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Занимается проблемами молекулярной и эволюционной генетики и общей биологии. Неоднократно публиковался в «Природе».

В ЮБИЛЕЙНОМ номере «Природы» (1987, № 10), посвященном памяти Николая Ивановича Вавилова, опубликована статья И. А. Захарова «Генетическая гомология: от Вавилова до геной инженерии». В ней автор, исходя из сравнительно-морфологической трактовки понятия «гомология» утверждает, что «Закон Вавилова... сейчас предстает как закон сохранения сходства генов и хромосом». Фактически вместо закона гомологических рядов И. А. Захаров рассказывает о тривиальном положении: у близких видов и сами гены, и порядок их расположения в хромосомах более сходны, чем у далеких. При этом остается без объяснений суть закона: почему при стохастичности мутационного процесса фенотипические признаки, слагающие гомологические ряды Вавилова, изменяются определенными путями. Считаю своим долгом еще раз вернуться к научному наследию Н. И. Вавилова, рассмотреть его закон в его собственной трактовке и подтвердить теми документальными данными, которые известны давно или получены в последнее время.

Из всех открытий Вавилова самая трудная судьба досталась закону гомологических рядов в наследственной изменчивости. Можно сказать, что она повторила судьбу автора — огромная известность вначале, а далее — попытки неправильно истолковать, искажения, порой злонамеренные, затем полное забвение и лишь сейчас — далеко не всегда удачные попытки его воскресить для теоретической биологии (практики о нем никогда не забывали).

И в наши дни это открытие, единственное в генетике после законов Менделя, получившее заслуженно ранг закона, трактуется порой неправильно. Большей частью разговоры о гомологических рядах сводятся к неинформативному спору: имеем ли мы здесь дело с гомологией или же с аналогией?

углеводороды	спирты	амины	кислоты
CH_4 метан	CH_3OH метиловый	CH_3NH_2 метиламин	HCOOH муравьиная
CH_3CH_3 этан	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH}$ этиловый	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{NH}_2$ этиламин	CH_3COOH уксусная
$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_3$ пропан	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$ пропиловый	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{CH}_2\text{NH}_2$ 1-пропиламин	$\text{CH}_3\text{CH}_2\text{COOH}$ пропионовая

формы виды	остистая	короткоостая	инфлянтная (вздутая)	безостая
мягкая пшеница				
твердая пшеница				
ячмень 6-рядный				

Гомологические ряды органических соединений (вверху) и форм злаков. Вавилов избегал говорить о гомологах, а предпочитал термин «гомологические ряды», имея в виду не гомологию в обычном сравнительно-анатомическом смысле, а термин, широко известный еще с XIX в. в органической химии — существование сходных по свойствам производных, получаемых из разных исходных веществ.

Напомню, что гомология в сравнительно-анатомическом смысле — родство элементов системы, пусть несходных, а аналогия — сходство элементов, даже неродственных.

Спор, на мой взгляд, чисто терминологический, не имеющий отношения к сути дела. Следовало бы перед началом спора все-таки уяснить: а что же сам Вавилов подразумевал под гомологическими рядами в наследственной изменчивости?

Полагаю, что далеко не все отдадут в этом отчет и порой, считая, что трактуют и развивают Вавилова, излагают нечто свое, ничего общего с законом гомологических рядов не имеющее.

ТОЧКА ЗРЕНИЯ ВАВИЛОВА

Вот как формулировал свой закон Вавилов:

«1. Виды и роды, генетически близкие между собой, характеризуются тождественными рядами наследственной изменчивости с такой правильностью, что, зная ряд форм для одного вида, можно предвидеть нахождение тождественных форм у других видов и родов. Чем ближе генетически расположены в общей системе роды и линнеоны (виды. — Б. М.), тем полнее тождество в рядах их изменчивости.

2. Целые семейства растений в общем характеризуются определенным циклом изменчивости, проходящей через все роды, составляющие семейство»¹.

Мало-мальски вдумчивый анализ сочинений Вавилова позволяет прийти к выводам, имеющим важнейшее значение для правильного понимания его закона.

1. Гомологические ряды Вавилова образованы идентичными или близкими фенонами — элементарными признаками, дискретными альтернативными вариациями признаков и свойств. Недаром закон гомологических рядов прекрасно вписался в фенетику, изучающую генетическую структуру популяций не через гибридологические эксперименты, а косвенно, через распределение фенотипов.

2. Идентичные феноны детерминируются, в свою очередь, идентичными аллеломорфными генами (аллелями) — формами существования одного гена. В то время их часто не различали. Да и сейчас, например, описывая опыт Менделя, говорят о «гене желтых горошин» и «гене зеленых

горошин». На деле это аллели одного из многих генов, детерминирующих окраску. Гомология в узком смысле слова здесь понимается как идентичность аллелей одного и того же гена, независимо возникшая в разных популяциях одного вида, в близких видах, родах, а то и семействах. Изменчивость каждого гена выглядит как бы канализованной, «протекает» не в любую сторону, а определенными путями-каналами (по терминологии К. Уоддингтона).

3. Бывают случаи, когда идентичные феноны у разных видов детерминируются и разными аллелями одного гена, и разными (неаллельными) генами. Это нетрудно доказать словами самого Вавилова: «Одинаковые изменения фенотипического порядка могут быть вызваны и разными генами... Нет сомнения, что под одинаковым внешним видом могут скрываться различные генотипы» (с. 92).

Вавилов приводит ряд примеров. Так, желтый цвет семян гороха, как и остистость пшеницы, могут наследоваться и доминантно, и рецессивно (разные аллели!), красная окраска пшеницы бывает обусловлена одним, двумя и тремя генами. Он указывает, что, по С. Харланду, гомологические ряды хлопчатника поразительны, но обусловлены различными генами. Теперь мы знаем несметное множество подобных фактов. Это разная генетическая обусловленность темной окраски дрозофилы, бесхвостости мышей, эпикантуса монголоидов и бушменов, водоотталкивающего слоя стеблей ячменя, и т. д., и т. п.

И тем не менее, зная о подобных фактах, указывая, что «с формальной точки зрения они могут быть только аналогичными, а не гомологичными» (с. 48), Вавилов писал: «мы сохраняем принятый нами термин, ибо, основное, что лежит в установлении Закона гомологических рядов, это сходство изменчивости у близких и родственных видов и родов, единство в наследственной изменчивости целых семейств» (с. 92). Не гены образуют гомологические ряды, а наследственные изменения фенотипов — истинная, ясная Вавилову, но, по-видимому, совершенно недоступная многим его современникам комментаторам.

Почему Вавилов предпочитал говорить о гомологических рядах, а не просто о гомологии? И почему в конце своей статьи он подчеркивает параллели с органической химией — гомологическими рядами углеводородов и их производных? Об этом он сам указывает, говоря о себе в третьем лице в статье для Большой Советской Энциклопедии: «Ряды форм в пределах

¹ Здесь и далее цит. по: Вавилов Н. И. Закон гомологических рядов в наследственной изменчивости. Л., 1987.

видов у растений и животных напоминают гомологические ряды углеводов в органической химии, откуда, по предложению Н. И. Вавилова, было перенесено в биологию и само название гомологические ряды»².

Если это так, то все разговоры о гомологии и аналогии теряют смысл. Спорить о роли аналогии в гомологических рядах, все равно что говорить о делении атомных ядер путем мейоза. Этот омонимический термин взят Вавиловым не из сравнительной анатомии, в этом у Вавилова есть предшественники — Дарвин и американский анатом и палеонтолог прошлого века Э. Коп, который строил «гомологические группы», возникающие конвергентно у многих животных, и сравнивал их с рядами спиртов и их производных.

ЗАКОН ВАВИЛОВА И МОЛЕКУЛЯРНАЯ ГЕНЕТИКА

Есть еще вопрос, в литературе практически не рассматриваемый: применимо ли морфологическое, сравнительно-анатомическое понятие гомологии к нуклеотидным последовательностям ДНК, которые мы называем генами? Я бы не стал торопиться с утвердительным ответом.

На уровне нуклеотидных последовательностей гомология соответствует идентичности. Достаточно протяженные последовательности нуклеотидов конвергентно, или аналогично, возникнуть не могут по чисто вероятностным причинам. Наличие у двух близких видов общих последовательностей ДНК означает, что эти гены гомологичны и происходят от гена-предшественника, имевшегося у предкового вида. Чем далее отстоят друг от друга виды, тем менее идентичны их гены, так как за время раздельной эволюции в них накапливаются мутационные различия. Это положение тривиально и к закону гомологических рядов отношения не имеет.

Труднее трактовать внутригеномные гомологии. Генетическая информация не возникает из ничего. Еще А. С. Серебровский постулировал схему дупликаций гена в эволюции. Сначала ген умножается в числе двукратно (дупликация) или многократно (амплификация). Повторяющиеся гены эволюционируют в геноме независимо: мутации изменяют гены, отбор оценивает детерминируемые ими продукты и в результате в клетке появляются функционально разные, но сходные по аминокислотным последо-

вательностям белки, кодируемые генами общего происхождения (т. е. гомологичными). Многие примеры таких дальних гомологий разительны. Так, белок плазмы крови гаптоглобин, связывающий гемоглобин распадающихся эритроцитов, гомологичен белку — фактору роста нервов, фактору роста эпидермиса и многим другим белкам, все они гомологичны сериновой протеазе (расщепляющей белковую цепь по остатку серина), которая, в свою очередь, имеет сходство с неспецифичной гидролазой и т. д.

Это относится и к последовательностям ДНК, белки не кодирующим. Например, один из самых распространенных повторов ДНК человека AluI (3—6 % всего генома, 300—500 тыс. копий) — не что иное, как дублированный гомолог повторов В-типа в ДНК грызунов. Все они гомологичны генам 4,5 S и 7 S РНК. Один из самых любопытных фактов: в гене фактора VIII системы свертывания крови три А-сегмента очень близки трем доменам гена церулоплазмينا — переносчика ионов меди. Эти гены, несомненно, имеют общего предка, т. е. гомологичны. Но мутации в одном гене вызывают гемофилию, в другом — болезнь Вильсона, которая возникает из-за дефицита меди. Автору доводилось слышать глубокомысленные утверждения вроде: «гомологичны только мутации гомологичных генов». Однако гемофилия и болезнь Вильсона отнюдь не гомологичные изменения фенотипа.

Спускаясь по эволюционной лестнице, мы в конце концов приходим к протогену: стохастической нуклеотидной последовательности, генопродукт которой — первичная полимеразы — катализирует синтез этого протогена в коацервате. Из него путем амплификации и последующей дивергенции возникла вся сложная гамма наших геномов. А это значит, что в конечном счете все гены гомологичны друг другу и различаются лишь степенью гомологии.

Вавилова подобные рассуждения не могли смущать не только потому, что в то время еще не была известна структура генов, но и потому, что он говорил не о гомологии самих генов, а о сходстве путей их изменчивости, приводящих к возникновению в фенотипе идентичных признаков. Однако отсутствие знаний о молекулярном механизме наследственности давало повод для толкования его закона в антидарвиновском духе, что не замедлил сделать Л. С. Берг в «Номогенезе»: «Своими наблюдениями и опытами Вавилов проводит идею номогенеза более успешно, чем это я делаю в настоящей работе»³.

² БСЭ. М., 1930. Т. 17. Стб. 586—587.

Концепция Берга неоднократно рассматривалась и критиковалась в литературе последних лет, в том числе и в «Природе». Поэтому упомяну о ней вкратце: Берг полагал, что, поскольку число аллелей гена ограничено и идентичные аллели встречаются у разных видов, наследственная изменчивость направлена и, так как приводит к появлению приспособленных к внешней среде форм — приспособительна. Не нужно дарвиновского отбора, достаточно направленной, массовой, приспособительной изменчивости в духе Ламарка. Любимое выражение Берга: «При таком понимании процесса эволюции нужда в гипотезе естественного отбора отпадает»³.

Книга Берга смутила многих. И сейчас неонимогенетики пытаются использовать закон гомологических рядов в качестве аргумента прогив Дарвина. У нас наиболее ярким представителем этого направления был А. А. Любищев. Но как относился к такой точке зрения сам Вавилов?

Можно допускать многое, но уж никак не то, что творец закона гомологических рядов оказался ограниченнее, если не сказать — глупее, последующих комментаторов и не заметил, что своим открытием опровергает дарвинизм. На этот счет есть прямое указание Вавилова, что закон гомологических рядов «подтверждает и развивает его» (дарвинизм.— Б. М.)⁵.

КАК ВОЗНИКАЮТ ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ?

Почему же один и тот же ген у разных видов часто бывает представлен одинаковыми аллелями? Еще в 1926 г. С. С. Четвериков ответил на этот вопрос. Если видообразование имеет популяционный характер, генетический полиморфизм может быть унаследован при переходе от вида к виду. Примером может быть полиморфизм групп крови (системы АВО и MN человека и человекообразных обезьян), полиморфизм j-цепей иммуноглобулинов человека и приматов, разная чувствительность человека и шимпанзе к вкусу фенилтиомочевины и многое другое. Возникновение гомологичного аллеля заново гораздо менее вероятно вследствие низкой частоты спонтанного мутирования. Так, если частота возникновения конкретного аллеля 10^{-5} на поколение,

то частота возникновения гомологии — 10^{-10} (частота возникновения гомологичной мутации равна частоте повторной). Поэтому идентичные аллели одного гена у разных видов, как правило, должны быть унаследованы от общего предка.

К сожалению, такой механизм возникновения гомологических рядов плохо согласуется с модными в наше время концепциями вроде «принципа основателя», «генетической революции», «нейтрального видообразования». Напомню, что все они основаны на предположении, что видообразование идет путем случайного изменения аллельных частот в ограниченных по численности популяциях. В таких популяциях редкие аллели должны теряться от поколения к поколению чисто случайно, без отбора, и виды должны отличаться друг от друга в первую очередь нейтральными признаками (точка зрения С. Райта и М. Кимуры). Но тогда полиморфизм генов не сможет быть унаследован от предкового вида. Молодые виды в этом случае окажутся более мономорфными, их генофонды не могут иметь запаса аллелей.

Но этого в природе не наблюдается: большинство исследованных видов оказались одинаково гетерозиготными. Значит, при формировании этих видов дрейф генов (случайное изменение частоты генов в популяции) не принимал никакого участия. Закон Вавилова не совместим ни с концепциями Райта и Кимуры, ни с «генетической революцией» Э. Майра (гипотезой, по которой родоначальником вида является популяция с минимумом генетического разнообразия).

Но гомологичные фены могут возникать заново, например в опытах с индуцированным мутагенезом. Ученик Вавилова А. Н. Лутков в числе первых получил безлигильные рентгеномутанты ячменя, гомологичные формам пшеницы и ржи, описанным его учителем. Теперь гомологичные формы, особенно у микроорганизмов, получают тысячами. Вавилов объяснял это так: «...признаки морфологические, равно как и физиологические, могут и при внешней однородности быть разнородны генетически...»⁶.

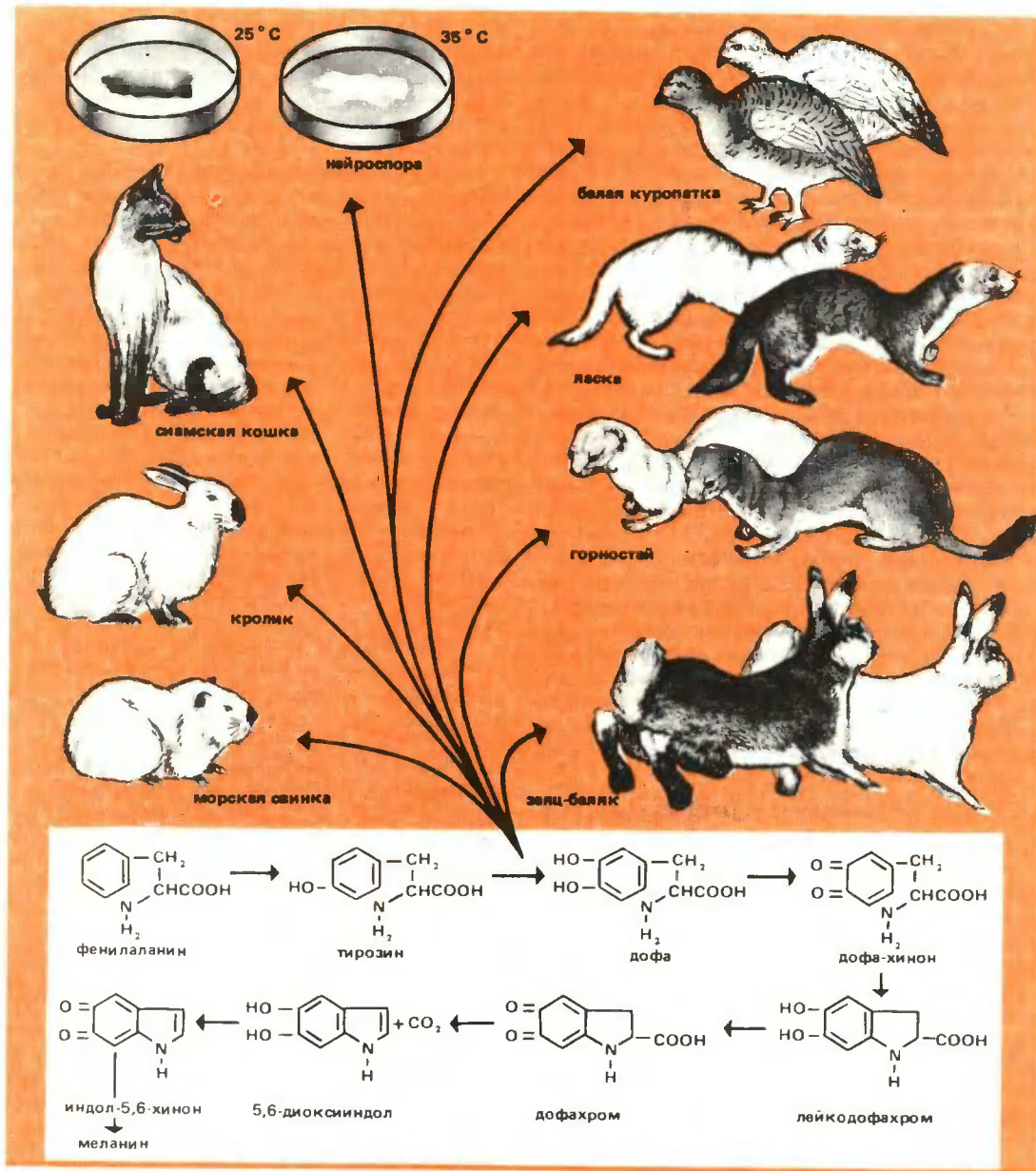
Иными словами, Вавилов понимал, что идентичные фены могут возникать как в результате действия идентичных аллелей генов, унаследованных от общего предка, так и, что гораздо менее вероятно, в результате идентичной мутации. Несомненно, он понимал, что гомология может быть и неполной, и ложной.

³ Берг Л. С. Труды по теории эволюции. Л., 1977. С. 224.

⁴ Там же. С. 228.

⁵ Вавилов Н. И. Роль Дарвина в развитии биологических наук // Учение Дарвина и марксизм-ленинизм. М., 1932. С. 67.

⁶ Вавилов Н. И. Письма к Г. С. Зайцеву // Природа. 1977. № 4. С. 98.



Примеры неполной гомологии у животных — частичных альбиносов. Обычно альбинизм возникает при мутации гена тирозиназы, превращающей тирозин в диоксифенилаланин (дофа) на второй стадии 10-стадийного синтеза пигмента меланина (см. схему превращений). Мутация в любом другом гене, контролирующем метаболический путь от фенилаланина к меланину, ведет к тому же фенотипическому эффекту. Но известны случаи альбинизма при активной тирозиназе и действующих ферментах на всех других стадиях. Некоторые аллели тирозиназы активны лишь при температуре ниже 37° C (так называемые C'-тирозиназы), и тогда пигмент синтезируется только на наиболее холодных частях тела и возникает гималайский тип окраски морских свинок, кроликов и сямских кошек. Сходные аллели обуславливают сезонную окраску шерсти зайца-беляка, горностая, ласки, пера белой куропатки. Гомологичная форма тирозиназы, теряющая активность при повышенной температуре, известна и у плесневого грибка нейроспоры.

Гомологические ряды двух форм строения челюстей у собак. Внешний вид и анатомическое строение всех позвоночных в значительной мере определяется активностью генов, контролирующей гормональную систему. Так,



французский
бульдог



сальюки



мопс



грейхаунд



брюссельский
гриффон



борзая



пекинес



фараонова
собака

если в гипофизе синтез соматотропина у какой-либо породы собак (старше 6-месячного возраста) заторможен, возникают **акромикрики** (слева) — животные с укороченными челюстями, если же усилен — **акромегалики**, собаки с удлинёнными челюстями и конечностями.

Будем называть неполной гомологией одинаковый признак, обусловленный действием разных аллелей одного гена. Хороший пример неполной гомологии — аномальные гемоглобины (С, D, E, S и др.) — продукты разных мутаций в аллелях глобинового гена. Так, в HbS происходит замена шестого с аминного конца остатка глутаминовой кислоты на валин, а в HbC — на лизин.

Механизм возникновения ложной гомологии легко понять, если учесть, что наследуются не признаки, а пути их возникновения — цепи биохимических и, как следствие, морфогенетических реакций, каждая из которых может контролироваться одним или несколькими генами.

Чем длиннее цепь биохимических превращений, ведущая к признаку, тем чаще возникает гомология и тем чаще она оказывается неполной или ложной (оба феномена нередко регистрируются совместно).

В гене уже упоминавшегося фактора VIII открыто 7 мутаций — от точковых до крупных делеций (потеря участков) в несколько тысяч пар оснований. Фенотипическое проявление этих мутаций — гемофилия разной степени тяжести. При этом фактор VIII становится неактивным или легко распадается в крови. Но известна и другая форма гемофилии (так называемая гемофилия В), вызываемая наследственным дефицитом другого белка — фактора IX, кодируемого другим геном. Это уже ложная гомология⁷.

ДЛЯ ЧЕГО НУЖНО ИЗУЧАТЬ ГОМОЛОГИЧЕСКИЕ РЯДЫ?

Когда Вавилов формулировал свой закон, различить категории полной, неполной и ложной гомологий можно было лишь путем гибридологического эксперимента, иногда — анализа родословных. Сейчас положение резко изменилось в связи с развитием новых методов биохимической и молекулярной генетики и генной инженерии. В генетике микроорганизмов наличие полных, неполных и ложных гомологий уже приходится учитывать в практических целях. Сейчас выращивание специализированных штаммов микроорганизмов на селективных питательных средах — один из главных методов генной инженерии. Например, существуют многие тысячи мутантных штаммов бактерии *Salmonella typhimurium*, способных синтезировать аминокислоту гистидин. Большинство этих штаммов следует

отнести к категории гомологий неполных или ложных, поскольку гистидин синтезируется за 10 стадий. Мутация в любом из 10 генов, контролирующих каждую стадию, приводит к образованию одного и того же признака — неспособности бактерии расти на среде без гистидина. Выявить, какой ген подвергся мутации и даже определить, какое изменение в нем произошло, сейчас можно с помощью новых методов. Молекулярные генетики, выполняя такие работы, порой и не подозревают, что они подтверждают и развивают закон гомологических рядов Вавилова.

Фенотипы многоклеточных организмов наряду с биохимическими признаками — маркерами характеризуются и морфологическими признаками — фенами. А их развитие определяется морфогенетическими реакциями, обусловленными последовательной и совместной экспрессией многих генов. Цепи от гена к фену оказываются длинными, поэтому неполную и ложную гомологию в мире многоклеточных можно встретить гораздо чаще, чем у прокариот и простейших. Причина этого — не направленность генетической изменчивости, а сходство путей развития фенотипов.

Могут возразить, что в данном случае мы имеем дело с аналогиями. Но Вавилов, как следует из приведенной уже цитаты, главным критерием считал идентичность фенотипов. Термин «аналогия» уместно оставить за теми случаями, когда возникают фены близкие, но не тождественные. Пример аналогии — ложные венчики из покровных листиков у цветов некоторых южноамериканских осок, ставших энтомофильными.

Постепенный переход от фенотипов и генов гомологичных к аналогичным — в морфологическом смысле этих терминов — делает споры об их применимости формальными. Как указывал Вавилов, для решения ряда важнейших проблем генетики и теории эволюции нужно знать, с какой гомологией мы имеем дело в каждом конкретном случае. В частности, крайне важно знать, какими гомологиями образован гомологический ряд. Я уже упоминал, что наследование генетического полиморфизма от вида к виду доказывает, что видообразование — процесс популяционный. В конечной мере, относительная частота полных и неполных гомологий позволяет оценить роль дрейфа генов в эволюции. Определение аминокислотных последовательностей белков и нуклеотидных последовательностей генов, ответственных за появление гомологий, может дать ответ на этот вопрос в ближайшем будущем.

⁷ Лон Р. М., Вихар Г. А. Молекулярная генетика гемофилии // В мире науки. 1986. № 5. С. 26—34.

А. В. Яблоков указывает, что принцип отбора по фенотипам при жестком соответствии «...фенотипа его генотипу означает возможность существования в природных популяциях внешне сходных, но генетически различных адаптаций»⁸. Так, устойчивость к зоокумарину у так называемых суперкрыс определяется аллелями семи разных генов. Широко распространены неполная и ложная гомологии и у насекомых, устойчивых к инсектицидам. Начиная с классической работы Дж. Б. С. Холдейна по окраске млекопитающих, гомологические изменения цвета покровов, а также радужной оболочки и дна глаз стали отмечаться у всех позвоночных. В этом нет ничего удивительного, так как цепь биохимических превращений от фенилаланина к меланину (10 звеньев), механизм транспорта пигмента, а также места и способы его локализации практически идентичны не только у позвоночных, но и, в значительной мере, у всех организмов на Земле. Если говорить о гомологии, то скорее о гомологии подобных метаболических путей, кодируемых совместным и последовательным действием многих генов. Именно гомологией метаболических путей от фенилаланина к меланину обусловлен частичный или полный альбинизм, сезонная смена окраски шерсти зайца-беляка, горностая, соболя, пера куропатки. Вопреки Г. С. Раутиан, это не «экзотипический параллелизм и внешнее подобие»⁹, а настоящая гомология, хотя вряд ли полная. Добавлю, что полный или частичный альбинизм может быть вызван и мутациями в системе синтеза меланоцитстимулирующего гормона гипофиза. Это все ложные гомологии. Частичный и сезонный альбинизм у животных могут возникнуть за счет термолabileй тирозиназы. Любопытно, что такая тирозиназа есть у ряда штаммов плесневого грибка нейроспоры. Это продолжение гомологии между признаками у кролика, кошки, плесени!

Гомологией метаболических путей обеспечивается окраска покровов и глаз членистоногих (пигменты образуются из триптофана) и растений (флавоны и антоцианы возникают из флавана).

Изучение молекулярных механизмов возникновения гомологических рядов часто имеет важное практическое значение. Остановлюсь лишь на одном аспекте. Меди-

цинских генетиков давно занимает парадокс высокой частоты встречаемости наследственных болезней; как правило, она существенно выше (порой в тысячи раз) средней частоты мутаций на локус. Таковы хорea Гентингтона, шизофрения, паркинсонизм, липидозы (нарушение обмена липидов) и многие другие наследственные недуги. По-видимому, мы имеем в каждом случае дело не с одной болезнью, а со множеством их, фенотипически проявляющихся одинаково. Это неполные и ложные гомологии. Механизм их возникновения в ряде случаев расшифрован. Так, при блокировке разных стадий синтеза тироксина результат один — обусловленная дефицитом тироксина наследственная зобная болезнь. Но если в питьевой воде не хватает йода, возникает ненаследственная болезнь, фенетически сходная с наследственной и распространенная в горах. Пока мы не разберемся в этих механизмах, мы вынуждены будем лечить такие болезни чисто симптоматически и с сомнительной надеждой на успех.

Но можем ли мы называть наследственные болезни фенами и строить на них гомологические ряды? А почему бы и нет — ведь с точки зрения генетики это обычные фены — видимые проявления наследственных нарушений того или иного метаболического пути. Они возникают независимо в разных популяциях и у разных видов (гемофилия — у мышей и кошек; диабет — у крыс; заячья губа и волчья пасть — у мышей, собак, свиней; карликовость или гигантизм — у всех позвоночных). Так что сфера действия закона гомологических рядов отнюдь не ограничивается систематической и селекцией.

Вавилов понимал, что гомологические ряды могут возникать не только в результате действия одинаковых аллелей, унаследованных от общего предка или возникших независимо. Гомологии в строении фенотипа возникают и в результате действия разных аллелей одного гена (неполная гомология), и разных генов (ложная гомология). Только гибель Вавилова и разгром советской генетики, последствия которого мы ощущаем до сих пор, остановили исследования в этом направлении на десятки лет и позволили толковать его закон на разные лады. Неплохо бы и будущим комментаторам исходить из понимания закона самим Вавиловым, а не подменять его собственными трактовками.

⁸ Яблоков А. В. Популяционная биология. М., 1987. С. 159.

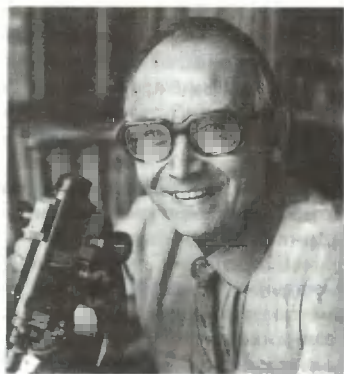
⁹ Раутиан Г. С. Гомологические ряды в окраске птиц // Природа. 1987. № 10. С. 66—74.

В. В. Добровольский

Биогеохимические заметки

со
Шпицбергена





Всеволод Всеволодович Добровольский, доктор географических наук, профессор, заведующий кафедрой геологии и геохимии ландшафтов и научно-исследовательской лабораторией геохимии ландшафтов Московского государственного педагогического института им. В. И. Ленина. Специалист в области почвоведения, геохимии ландшафтов, биогеохимии. Автор многих научных и популярных работ по этим вопросам, в том числе: География микроэлементов. Глобальное рассейние. М., 1983; Химия Земли. М., 1988. Заслуженный деятель науки РСФСР. Неоднократно публиковался в «Природе».

3

Характерный облик западной части Шпицбергена: горы, ледники, фьорды.

Фото В. С. Корякина.

Л ЕТОМ 1987 г., несмотря на мою неледовую специальность, я был включен в состав Гляциологической экспедиции Института географии АН СССР, на протяжении нескольких лет работавшей на Шпицбергене — самом крупном острове арктического архипелага Свальбард, принадлежащего Норвегии¹. Шпицберген — не только полигон норвежской полярной науки (здесь располагается Полярный институт), но и миниатюрное подобие Антарктиды, где работают экспедиции из разных стран мира. Мне предстояло заниматься биогеохимическими исследованиями, т. е. оценкой происходящего в арктических условиях массообмена химических элементов, и в частности металлов, между живыми организмами и средой.

Дело в том, что начиная с 60-х годов появляются многочисленные сведения о возрастающем содержании в атмосферных осадках полярных стран тяжелых металлов — железа, цинка, меди, свинца, никеля, кобальта, уже ставших опасными загрязнителями в отдельных районах Земли. Представляют ли они экологическую угрозу Арктике? На этот вопрос ответить пока сложно, так как наши знания о биогеохимии металлов в полярных ландшафтах, и даже о содержании в растительности, в которой сосредоточено 99,9 % массы живого вещества арктической суши, достаточно ограничены. Немного известно и о возможных источниках металлов. Без таких данных трудно разобраться даже в природных закономерностях, а не только в техногенном воздействии на среду.

В Арктике многие особенности биологических, а следовательно, и биогеохимических процессов обусловлены тем, что суша здесь — это острова, тепло и влагу которым несет океан.

Арктический бассейн основательно отделен материками и возвышенностями дна от теплых вод Атлантического и Тихого океанов. По краю шельфа Евразии от Чукотки на запад направлено холодное Трансарктическое течение; такое же течение вдоль шельфа Северной Америки идет на восток. У северо-восточной части Гренландии они соединяются в единый холодный поток, устремляющийся на юг. Здесь же, около Исландии, выходит на север теплое Северо-Атлантическое течение. В районе встречи двух мощных противотечений зарождаются циклоны. Они перемещаются к востоку, вдоль границы полярных льдов, постепенно

¹ В советской географической литературе архипелаг принято называть Шпицбергенom.

отдавая тепло и влагу. Значительная часть ее выпадает на западное побережье Шпицбергена, где количество осадков местами превышает 400 мм/год. К востоку оно уменьшается и составляет на Земле Франца-Иосифа 200—300, а на Северной Земле — 100—200 мм/год. Одновременно с запада на восток понижается зимняя температура воздуха. Столь же суров климат на островах Северо-Американского арктического архипелага и на северном побережье Гренландии, где осадков выпадает 100—200 мм/год, а температура января составляет от -30° до -38°C .

Значительная часть арктической суши — это своеобразная полярная пустыня. Небольшое количество осадков и твердое состояние воды на протяжении 10—11 мес в году способствуют появлению признаков, типичных для сухих степей и пустынь. Американский почвовед Д. Тедруу на островах Северо-Американского арктического архипелага обнаружил на обломках горных пород карбонатные корочки, характерные... для сухих степей Казахстана и пустынь Средней Азии. Растительность в таких полярно-аридных ландшафтах весьма скудна, а биологический круговорот химических элементов затруднен.

Но на западном побережье Шпицбергена на той же широте климат более мягкий. Более высокие температуры (среднеянварская от -7° до -17°C) и количество осадков создают здесь благоприятные условия для развития биологических и, следовательно, биогеохимических процессов в полярной зоне. Это обстоятельство и привлекло меня в этот район Арктики.

За полевой сезон, продолжавшийся 2,5 мес, удалось совершить плавание вдоль берегов Шпицбергена на исследовательском судне «Заря» и побывать во внутренних районах острова, куда нас доставляли на вертолете. Я, пожалуй, был первым геохимиком на Шпицбергене, изучавшим с биогеохимической точки зрения ландшафты, почвы, почвообразующие породы и, конечно, растительность.

При первой встрече Шпицберген поражает суровой экзотикой: острые черные пики гор западного побережья, благодаря которым остров получил свое название; птичьи базары на скалах Земли Принца Карла; сияющие под солнцем ледники, сползающие в голубовато-серые воды фьордов; огромные чаши ледниковых цирков; многометровые отвесные обрывы ледников, рядом с которыми наш корабль казался таким хрупким; глухие раскаты грома раскалывающихся ледников, вызывающие

первобытное чувство беспомощности перед мощью стихии.

Но Шпицберген — это не только ледники. На свободной от них территории существуют настоящие оазисы жизни с почвами и растительностью. С островершинными горами соседствуют плоские морские террасы и широкие долины, выработанные ледниками.

Широкие террасы, окаймляющие фьорды, и пологие склоны покрыты сплошным ковром из мхов и лишайников, стелящихся побегов полярной ивы, украшенным камнеломками, куропаточьей травой, полярными маками, лютиками. Лишь местами он разрывается на отдельные куртины в понижениях рельефа. Нет сплошного покрова почв и растительности на плато выше 400—500 м над ур. м. Здесь среди растений, покрывающих менее 10 % площади, на скоплениях мелкозема преобладают низкие мхи; на щебне горных пород растут кустистые лишайники.

Эти два типа водораздельных ландшафтов (террасы и плато) занимают независимое (автономное) положение в рельефе. Отсюда химические элементы выносятся вниз тальными водами. Фильтруясь сквозь почву и по ее поверхности они стекают в ледниковые долины, выходящие в фьорды. Плоские заболоченные днища долин покрывают пышные гипновые и сфагновые мхи, растущие на торфяно-мерзлотных почвах, мощность которых из-за близкой многолетней мерзлоты редко превышает 40 см.

В один из ясных дней в конце июля нас доставили на вертолете в большую ледниковую долину в южной части Земли Норденшельда. По ее плоскому дню петляют многочисленные рукава 50-километровой р. Рейн, точнее, Рейндальнэльвы (реки долины Рейна). При паводке они сливаются в широкое русло, заполненное буровато-желтой от взвесей водой. Река впадает в Ван-Мейен — фьорд, на противоположной стороне которого просматривается мощный 30-метровый обрыв ледника Решершбреен.

Наша группа состояла из гляциологов Л. С. Троицкого, Б. И. Втюрина и автора этих строк. Расположившись в норвежском охотничьем домике и наладив несложный экспедиционный быт, каждый принялся за выполнение своей программы. Заболоченное пространство между рукавами реки и крутыми склонами долины, выпавшей древним ледником, было испещрено мелкими термокарстовыми озерами, вокруг которых гнездились и сновали утиные выводки. Благодаря мерзлоте, залегающей на глубине 40—45 см,

и высоким резиновым сапогам, эта топь была вполне проходима. Вертолет, который должен был нас взять, долго не появлялся, и мы обстоятельно исходили болотистое пространство.

Долину пересекает выступ коренных пород, на поверхности которого располагается растительность, типичная для арктической тундры. У основания выступа, где просачивалась почвенная вода, я заметил темно-красные пленки. Обычно они формируются, когда вода содержит растворенные соединения двухвалентного железа, которое на воздухе окисляется до трехвалентного и выпадает из раствора в виде рыхлой губчатой массы. Анализ состава красной массы показал, что в ней содержится около 20 % оксидов железа, незначительная примесь морских солей, но основу составляют коллоидные взвеси.

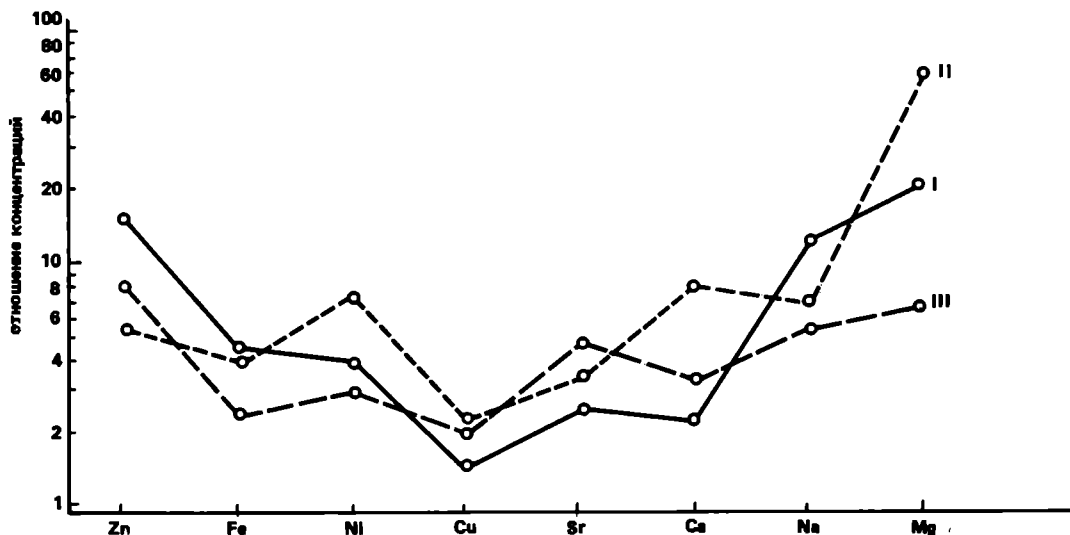
Именно эти мельчайшие частицы, которые оседают на поверхности мхов, покрывающих дно долины, резко увеличивают содержание в них минеральных веществ, остающихся в виде золы после сжигания растений.

Впрочем, таких веществ в арктических растениях даже автономных ландшафтов вовсе не так уж мало, как было принято считать ранее. Сюда минеральные вещества приносят не только талые воды, но и ветры. Так, при анализе собранных на Шпицбергене

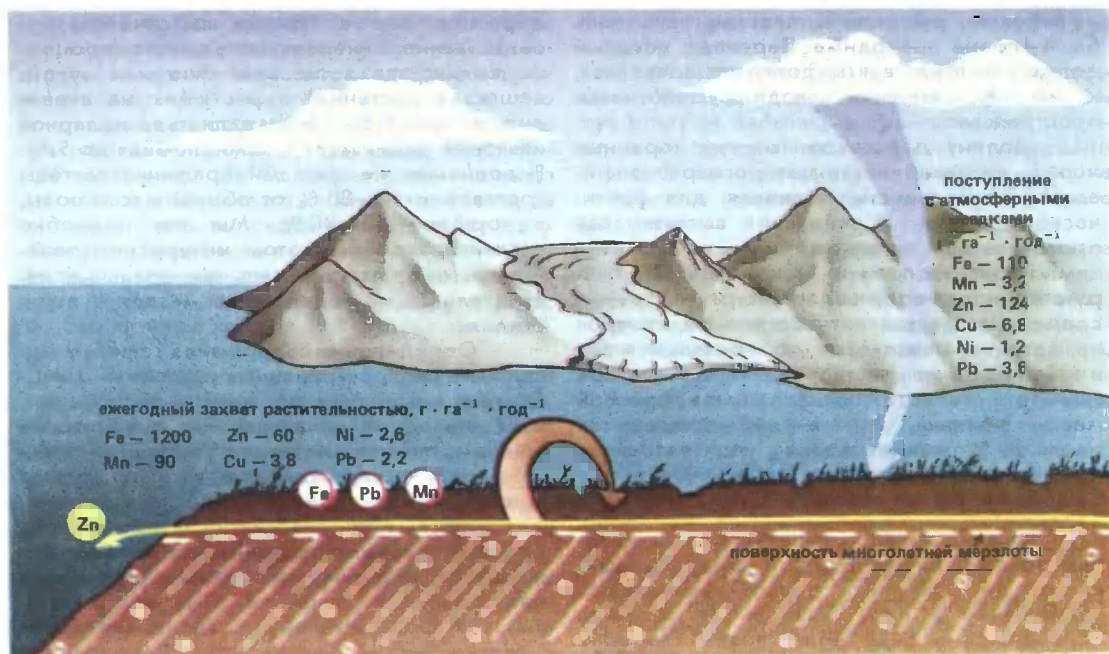
образцов уже в Москве выяснилось, что содержание минеральных веществ (процент от количества золы при сжигании сухого вещества растений) в растущих на скалах лишайниках 1,5—2,5 %, в листьях полярной ивы 5—4 %, во мхах и камнеломках до 9 %. В долинных же мхах минеральные частицы составляют 40—80 % от общей массы золы, в торфах — 60—80 %. Мы так подробно останавливаемся на этом интересном явлении потому, что примесь минеральных частиц влияет на содержание металлов в растениях.

Определение содержания тяжелых металлов в распространенных растениях Шпицбергена, выполненное атомно-абсорбционным методом, показало, что наибольшие концентрации свойственны железу — сотни и тысячи микрограммов в 1 г сухого вещества. Для цинка типичны десятки, для меди — единицы микрограммов. Очень большой разброс значений обнаружен для марганца: от единиц до сотен микрограммов на 1 г.

На фоне этих общих закономерностей заметна геохимическая специализация отдельных растений. Например, для лишайников характерна сравнительно высокая концентрация свинца (7,8—8,3 мкг/г), для полярной ивы — цинка (85,7—176,2 мкг/г) и меди (5,8—8,6 мкг/г). Растения на склонах и особенно в долинах выделяются повышенной концентрацией двух-трех металлов. Наи-



Соотношение концентраций химических элементов в водных экстрактах из самого верхнего горизонта почвы и рыхлых почвообразующих пород в различных ландшафтах Шпицбергена: I — в арктической тундре (низкая морская терраса залива Хорисунн); II — в арктической пустыне (высокогорное плато Хофъяллет); III — в низкоболоченном днище долины Грендален. Всюду в поверхностном слое содержание всех металлов повышено.



Биогеохимические циклы тяжелых металлов в ландшафте арктической тундры западного Шпицбергена. Поступление с атмосферными осадками масс Zn, Pb, Cu может полностью обеспечить биологический круговорот этих металлов. Биологический круговорот Fe, Mn поддерживается их преимущественным поступлением из почвы. Избыточные массы Fe, Mn, Pb аккумулируются в мертвом органическом веществе почвы, Zn в значительной мере удаляется с водным стоком.

более велика концентрация железа, марганца и свинца во мхах заболоченных долин. В растениях прибрежной полосы не только больше солей, но иногда и повышена концентрация цинка, меди, свинца, никеля по сравнению с такими же растениями, удаленными от берега. Это мне удалось обнаружить, работая в районе Польской полярной станции на террасах залива Хорн-сунн. С благодарностью вспоминаю гостеприимство и дружескую помощь польских коллег Г. Гжегожчика и А. Шиманьского.

Но откуда же в растениях автономных ландшафтов берутся металлы? На первый взгляд, как и в других природных зонах, из горных пород, тем более, что здесь их большое разнообразие. Архипелаг — форпост древнего материка, который включал в себя Скандинавию, Кольский п-ов и область нынешнего Баренцева моря. Этот участок земной коры пережил неоднократные всплески вулканической деятельности, погружался под воду и вновь поднимался, раскалывался на отдельные блоки. На Шпицбергене имеются образования почти всех геологических периодов: от докембрийских кристаллических пород до совсем

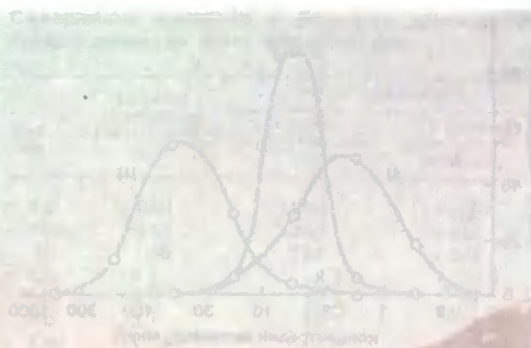
молодых голоценовых отложений, слагающих террасы фьордов. На небольшом расстоянии здесь можно встретить обогащенные оксидами железа красные песчаники девона, угленосные известняки карбона, песчано-глинистые отложения мезозоя, аргиллиты и серые песчаники палеогена, в которых также содержатся промышленные залежи каменного угля.

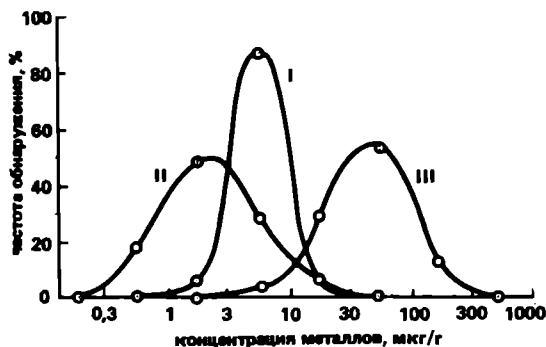
Но все это литологическое и геохимическое разнообразие малодоступно растениям. Отрицательная температура воздуха и почвы 9—10 мес в году подавляет разрушение минералов и затрудняет освобождение находящихся в них металлов. Даже в короткий летний сезон деятельность организмов в почве протекает в узком слое толщиной всего 30—45 см. Весьма ограничено во времени и пространстве взаимодействие растительности и минерального субстрата почвы. В связи с этим сильно возрастает значение фактора, играющего в других

Тундровый ландшафт, образующийся в нижней части плоских динч ледниковых долин.

Разрез арктической тундровой почвы.

Фото В. В. Добровольского.





Распределение концентраций Cu (I), Pb (II) и Zn (III) в растениях Шпицбергена. «Хаоты» кривых в области повышенных концентраций Pb и Zn, возможно, обусловлены ростом содержания этих металлов в атмосферных осадках.

природных зонах скромную роль: речь идет о поступлении химических элементов с атмосферными осадками.

Влияние океана на арктические острова не ограничивается перераспределением тепла и влаги. С воздушными массами переносятся морские аэрозоли, основную часть которых составляют водорастворимые соли. Хлопья падающего снега активно их захватывают и осаждают. Минерализация снега в Арктике близка к 10 мг/л. Следовательно, на большей части арктической суши, где количество атмосферных осадков составляет 100—200 мм/год, на протяжении года выпадает около 1—2 т/км² морских солей. На западном побережье Шпицбергена их количество доходит до 4 т/км².

Уже первые исследователи полярных почв с удивлением констатировали их засоление в Арктике. Известный немецкий почвовед Э. Бланк, посетивший в 1919 г. Шпицберген, обнаружил там на поверхности почвы соляные корки, состоящие в основном из водорастворимых сульфатов кальция, магния и натрия. Позже водорастворимые сульфаты кальция и магния обнаружили в почвах Земли Франца-Иосифа.

Известно, что в составе океанических аэрозолей преобладают водорастворимые сульфаты и хлориды щелочных и щелочно-земельных элементов. Среди них не только кальций, магний, натрий, но и более редкие — литий и стронций. Соли этих элементов поступают в почвы арктических островов со снегом и не успевают полностью вымываться за короткое полярное лето. Еще важнее, что в океанических аэрозолях в виде ничтожной, но постоянной примеси находятся цинк, медь, железо, марганец и другие тяжелые металлы. Происхождение

этих примесей до конца не выяснено, но обнаруживается все больше свидетельств в пользу их выделения из океана. Следовательно, тяжелые металлы в тропосфере так же естественны, как в морской воде или горных породах, хотя, конечно, в воздухе здесь их значительно меньше.

В литре снеговых осадков Шпицбергена содержится несколько десятков микрограммов железа и цинка, около 1—2 мкг марганца и свинца, десятые доли микрограммов никеля и кобальта. Сколько же металлов может перейти летом из почвообразующих пород и почв в водный раствор и поглотиться растениями? По моим определениям, концентрация одних металлов, например цинка и меди, в водных экстрактах из почвообразующих пород значительно (в 10—100 раз) меньше, чем в атмосферных осадках, у других же, скажем железа и марганца, это различие часто несущественно. В самом верхнем горизонте почв содержание водорастворимых форм цинка и других металлов больше, чем в почвообразующих породах, но меньше, чем в атмосферных осадках. Концентрация железа и марганца в водной вытяжке из самого верхнего горизонта почв такая же и выше, чем в атмосферных осадках.

Высокая концентрация в верхнем горизонте почв химических элементов явно морского происхождения — таких как соли магния, натрия, кальция — не вызывает удивления: они поступают на поверхность островов при осаждении морских аэрозолей и задерживаются растительностью и мертвым органическим веществом. Но такое же распределение ряда других металлов заставляет задуматься. Учитывая относительно высокую концентрацию в почвообразующих породах водорастворимых форм одних металлов (железо, марганец) и очень низкую других (цинк, медь), можно предположить, что первые поступают в фитомассу преимущественно из минерального субстрата, а вторые — главным образом за счет осаждения океанических аэрозолей, как и элементы морских солей. Это предположение, как увидим ниже, получило подтверждение.

Разумеется, не все химические элементы почвенного раствора могут быть поглощены растениями. В ковре плотно переплетенной растительности арктической тундры, неотделимой от мертвого органического вещества, происходят сложные превращения соединений металлов. Одни формы поглощаются растениями, другие мигрируют с водным стоком или закрепляются в почве.

Исходя из отношения концентраций металлов в растениях и водной вытяжке из почвообразующих пород, наиболее интенсивно из пород захватываются железо и марганец. Их высокая концентрация не только сохраняется, но и повышается в мертвом органическом веществе. Другие металлы, например цинк, не так активно задерживаются в органическом веществе и преимущественно мигрируют в воде.

Дифференциация металлов продолжается в процессе водной миграции. В ледниковых долинах, служащих главными трассами стока, мигрирующие формы железа, марганца, свинца захватываются мхами и накапливаются в торфе. Цинк же, как и стронций, лишь частично связывается в торфе, а преимущественно сбрасывается со стоком в море. В итоге такого перераспределения химических элементов концентрация железа, марганца и свинца, прочно фиксированных в торфе, превышает концентрацию их водорастворимых форм в 100 раз, а цинка, меди, стронция — в 10 раз. Несмотря на небольшую мощность торфяного слоя на Шпицбергене из-за близости многолетней мерзлоты, в нем содержится довольно много тяжелых металлов.

Учитывая структуру биомассы западного Шпицбергена, изученную известным геоботаником А. А. Тишковым, и наши исследования содержания тяжелых металлов в растительности этого района, можно говорить о важной роли мертвого органического вещества в регулировании биогеохимических циклов. Металл, выходящий из биологического круговорота и не вовлеченный в водную миграцию, прочно связывается в органическом веществе. Благодаря этому в арктических тундрах стабилизируются высокие уровни содержания тяжелых металлов, избыток которых может иметь отрицательные последствия для некоторых живых организмов (см. табл.).

Сопоставление ориентировочных оценок масс металлов, ежегодно вовлекаемых в биологический круговорот и поступающих с атмосферными осадками, позволяет выделить две группы металлов. Представители первой (железо и марганец) поступают с атмосферными осадками в количестве, в 100 раз меньшем, чем требуется для годового прироста растительности. Вторую группу образуют металлы, поступающие с осадками в таком количестве, что могут полностью обеспечить биологический круговорот. Некоторые из них поступают даже в избытке — цинк, свинец, возможно медь. Направляется вывод, что главным источником водорастворимых форм цинка,

Содержание металлов в биомассе арктической тундры западной части Шпицбергена

Металл	Среднее содержание в растительности, мкг/г	Масса металла, г/га	
		в живой растительности	в мертвом органическом веществе
Fe	2 000	5 800	19 200
Mn	150	435	1 440
Zn	60	174	576
Cu	6,3	18,3	60,5
Ni	4,3	12,5	41,3
Pb	3,7	10,7	35,5
Co	1	2,9	9,6

свинца, меди являются атмосферные осадки, а железа и марганца — минеральный субстрат почв.

Вернемся теперь к проблеме загрязнения Арктики тяжелыми металлами. Определения в лабораториях Нью-Йоркского, Гренобльского университетов и других исследовательских центров показали, что, несмотря на нарастающие выбросы тяжелых металлов в окружающую среду, их концентрация в снеговых осадках на северо-западе Гренландии изменилась слабо, всего в 3—4 раза для свинца и цинка, а для других металлов осталась практически неизменной².

Концентрации металлов в снеговых осадках на Шпицбергене выше, чем на северо-западе Гренландии. В какой мере это связано с природными, в какой с техногенными процессами, ответить сейчас трудно. По-видимому, на север Атлантики поступают с юга воздушные массы, содержащие аэрозоли, обогащенные тяжелыми металлами по сравнению с аэрозолями Американско-Гренландского сектора Арктики. Эти аэрозоли захватываются циклонами, двигающимися на восток, и выпадают с осадками на Шпицбергене. В настоящее время превышение концентраций металлов незначительно и не может оказать разрушительного действия на существующие экосистемы. Но обращает на себя внимание тот факт, что для металлов, поступающих в растения преимущественно из атмосферы, разброс концентраций одних (цинка и свинца) значителен, других (например, меди) невелик. Вполне возможно, что это связано с гео-

² BOUTRON C. Influence des aérosols d'origines naturelles et anthropogéniques sur la chimie des neiges polaires. Univer. Sci. de Grenoble, France. 1978. P. 283.



Водноледниковые потоки уносят тонкие взвеси, отлагая гальку и щебень.

Здесь и далее фото В. С. Корякина.

Сползающие во фьорды ледники. Их поверхность разбита трещинами.





Древние красные песчаники (на переднем плане) — свидетели пустыни, существовавшей на Шпицбергене в далеком прошлом.

химической специализацией растений, ведь представители разных систематических групп поглощают неодинаковое количество того или другого металла. Но не исключено, что разброс вызван постепенным увеличением поступления цинка и свинца и соответствующим усилением поглощения этих металлов отдельными растениями.

Биогеохимические циклы миграции способствуют выравниванию возможных отклонений, выводят «лишние» массы металлов в море или закрепляют их в мертвом органическом веществе. Система взаимосвязанных биогеохимических циклов пока поддерживает нормальное состояние окружающей среды Арктики как части общепланетарной биосферы. Более реальна опас-

ность загрязнения от местных источников — горно-промышленных предприятий, тепловых станций и т. п.

Администрация Свальбарда уделяет охране природы большое внимание. В нескольких крупных районах архипелага введен режим национальных парков и резерватов. Прибывающие в здешний международный аэропорт Лонгйр сразу же знакомятся с правилами поведения на архипелаге. Правда, они главным образом нацелены на охрану животных и растений, археологических и исторических памятников. Систему эколого-геохимического контроля за состоянием окружающей среды и здесь еще предстоит разработать.

И.Д. ИОНОВ

Иммунная защита от иммунитета



Илья Давидович Ионов, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник лаборатории клинической иммунологии Всесоюзного научно-исследовательского центра по охране здоровья матери и ребенка Министерства здравоохранения СССР. Основная область научных интересов — изучение проблемы биологической регуляции иммунных и аллергических реакций.

РОЖДЕНИЕ аллергологии как науки связано с открытием двух французских ученых П. Портье и Ш. Рише, которые в 1902 г. впервые описали явление сверхчувствительности и назвали его анафилаксией (от греч. *ана* — обратно, *φύλαξις* — защита). Термин «аллергия» (от греч. *αλλος* — другой и *εργον* — действие) появился чуть позднее, в 1905 г., и был введен в обиход австрийским исследователем К. Пирке. Сейчас аллергией называют самые различные формы сверхчувствительности, которые, однако, четко делятся на два типа: немедленный (т. е. собственно анафилаксию) и замедленный.

Со времени открытия анафилаксии прошло уже более 80 лет. За эти годы расшифрован ее молекулярный механизм, найдены принципиальные подходы к лечению тяжелых аллергических заболеваний¹, но осталось еще много белых пятен в этой проблеме. В частности, до сих пор не ясен физиологический смысл такой, казалось бы, парадоксальной иммунной реакции, вызывающей целый ряд тяжелых заболеваний. Почему возникла такая невыгодная для организма форма иммунного ответа, в чем ее биологический смысл?

Прежде чем мы попытаемся найти ответ на поставленные вопросы, необходимо вспомнить общую характеристику аллергической реакции немедленного типа.

ЧТО ТАКОЕ АНАФИЛАКСИЯ?

Суть анафилаксии состоит в том, что в ответ на специфический антиген в организме образуются особые антитела — иммуноглобулины — IgE, которые обычно присутствуют в организме в ничтожных количествах. Эти антитела имеют сродство к двум типам клеток — тучным, находящимся в соединительной ткани, и базофилам, циркулирующим в крови. Эти клетки объединяет одно общее свойство: они синтезируют

¹ Об этом см., напр.: Незлин Р. С. Аллергия на молекулярном уровне // Природа. 1986. № 11. С. 75—83.

ряд важных биологических активных соединений, в том числе гистамин. Прикрепляясь к поверхности базофилов и тучных клеток, IgE делают их чувствительными (сенсibilизируют) к последующему контакту с антигеном. Когда сенсibilизированные клетки соприкасаются с антигеном, который вызвал образование IgE, на их поверхности образуется комплекс «антиген — IgE», под влиянием которого из клеток выделяются биологически активные вещества. Попадая во внеклеточное пространство и распространяясь по всему организму, эти вещества, называемые анафилактическими медиаторами, вызывают типичные аллергические расстройства.

Однако анафилактический выброс медиаторов может происходить не только у страдающих аллергическими заболеваниями. Ведь в любом организме высших млекопитающих имеются все условия для анафилактической реакции: с одной стороны, в нем всегда присутствуют тучные клетки и базофилы, с другой стороны, все эти организмы могут синтезировать IgE-антитела. Как показано в последние годы, эти антитела образуются в любом организме в ответ на самые разные антигены при условии, что этих антигенов очень мало².

Таким образом, в организме, который иммунизирован малыми дозами антигена, возникают IgE-антитела и развивается анафилактическая сенсibilизация тканей. При повторном контакте с антигеном происходит анафилактическая реакция, в результате которой выделяются биологически активные вещества. В частности, анафилактическая реакция развивается тогда, когда антиген, инициировавший образование IgE, остается в организме длительное время.

Итак, в каждом организме есть механизм анафилактической реакции, срабатывающий при определенных условиях. А если это так, значит, анафилаксия должна иметь какой-то общебиологический смысл. По-видимому, анафилактический механизм, обеспечивающий выброс биологически активных медиаторов, необходим для какого-то физиологического процесса, который мы и пытаемся найти.

Зная основные свойства анафилаксии, вероятно, можно в общих чертах охарактеризовать тот неизвестный процесс, для которого нужен анафилактический выброс медиаторов. Во-первых, этот процесс должен происходить при контакте с антигеном; во-

вторых, он реализуется лишь при слабом антигенном раздражении; и, в-третьих, он необходим только высшим млекопитающим, поскольку только у них существуют IgE-антигены³.

Итак, у высших млекопитающих в ходе эволюции произошло важное изменение иммунитета: их иммунная система помимо своей основной функции — выявлять и уничтожать антиген — приобрела еще способность реагировать на него выбросом биологически активных веществ; т. е. анафилаксию можно рассматривать как новую форму иммунного ответа на появление какого-то антигена, отсутствовавшего на низших ступенях эволюции и присущего только высшим млекопитающим.

САМЫЙ НЕОБЫЧНЫЙ АНТИГЕН

Поиски такого специфичного для высших млекопитающих антигена заставляют в первую очередь обратить внимание на эмбрион. Если взглянуть на плод с позиций иммунологии, то его можно рассматривать как трансплантат, содержащий унаследованные им от отца антигены, чужеродные для материнского организма. И такой трансплантат не только не отторгается, но и длительное время растет, не повреждаясь иммунной системой.

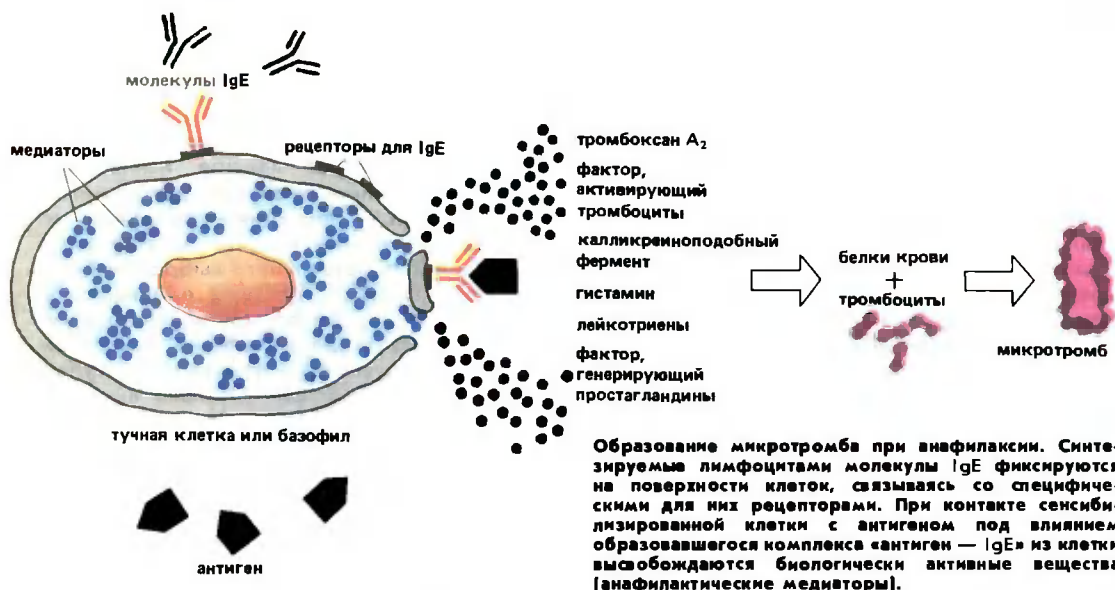
Все имеющиеся данные говорят о важной роли плаценты в ликвидации иммунологического конфликта. Однако физиологический механизм, защищающий эмбрион от иммунной системы матери, до сих пор не ясен.

Каков же должен быть принцип работы такого механизма? По-видимому, тормозить все иммунные реакции, протекающие в тканях эмбриона, нельзя. Ведь в этом случае иммунная система матери хоть и не повредит плод, но и не сможет бороться с инфекцией или со злокачественными опухолями. Значит, простое ослабление всех иммунных реакций опасно не только для матери, но и для развивающегося эмбриона. Необходим механизм, который обеспечил бы избирательное ослабление иммунной атаки именно на антигены эмбриона.

Технически самым простым было бы закрыть антигены экраном, непроницаемым для клеток иммунной системы и антител. Если бы высшие млекопитающие могли создать такой экран вокруг эмбриональных антигенов, защита плода от иммунной системы матери была бы обеспечена.

² Ионов И. Д. // Хим.-фармац. журн. 1984. № 9. С. 1085—1087; Taylor W. H. et al. Immunology. 1980. Vol. 39. P. 583—588.

³ Tada T. / Progress in Allergy. 1975. Vol. 19. P.122—194.



Образование микротромба при анафилаксии. Синтезируемые лимфоцитами молекулы IgE фиксируются на поверхности клеток, связываясь со специфическими для них рецепторами. При контакте сенсibilизированной клетки с антигеном под влиянием образовавшегося комплекса «антиген — IgE» из клетки высвобождаются биологически активные вещества [анафилактические медиаторы].

АНАФИЛАКТИЧЕСКИЙ БАРЬЕР

Как известно, вызываемые анафилактическими медиаторами эффекты служат причиной патологии и определяют симптоматику для аллергических болезней. Именно эти свойства медиаторов и составляют предмет пристального изучения.

Менее заметное место в симптоматике аллергических расстройств занимает такое характерное для анафилаксии явление, как изменение свертываемости крови. Еще в 1903 г. один из основоположников аллергологии М. Артюс заметил, что у кроликов и собак после анафилаксии изменяется свертываемость крови. Причины этого явления долгое время оставались неясными.

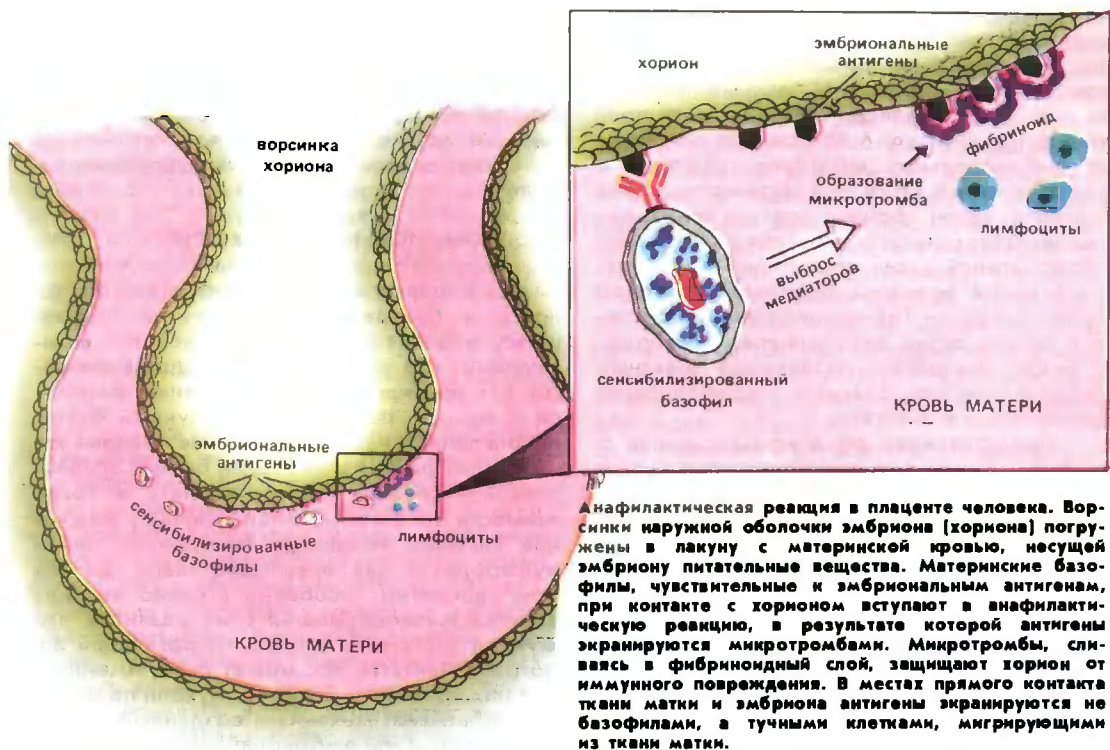
Только спустя 66 лет английские исследователи Дж. Вэйн и П. Пайпер сообщили об открытии нового, неизвестного ранее анафилактического медиатора. Им оказался продукт метаболизма простагландинов, вызывающий быструю агрегацию тромбоцитов и потому названный тромбоксаном. Обнаружение среди анафилактических медиаторов соединения, активирующего образование кровяного сгустка, привлекло внимание исследователей.

При изучении гемокоагулирующего действия других анафилактических медиаторов было установлено, что почти все они (кроме фактора хемотаксиса эозинофилов) повышают свертываемость крови, в результате чего в месте развития анафилактической реакции усиливается тромбообразование, приводящее к отложению фибрина⁴.

Значит, при анафилактической реакции благодаря гемокоагулирующему действию медиаторов в месте их освобождения из тучных клеток и вблизи от антигена, контакт с которым вызвал выброс медиаторов, должен образоваться микротромб. Если анафилактический выброс медиаторов вызван тканевым антигеном, находящимся на поверхности чужеродной для организма ткани, то, очевидно, образовавшийся микротромб станет экраном, способным предотвратить дальнейший контакт антигена с иммунной системой и, следовательно, защитит его от иммунной атаки.

Итак, анафилаксия может экранировать антигены тканей и тем самым продлевать их существование в организме. Это положение подтвердилось в экспериментах на животных. Опыты проводили на мышах чистых линий (так называют генетически однородных животных с идентичным набором тканевых антигенов), у которых была искусственно индуцирована IgE-анафилаксия к антигенам пересаженной им чужеродной ткани. Сначала мышам одной линии (реципиентам) многократно вводили клетки селезенки мышей другой линии (доноров), в результате чего получили IgE-антитела против тканевых антигенов донора. Изучая влияние этих антител на реакцию отторжения кожных трансплантатов у мышей-реципиентов, обнаружили, что эти антитела продлевают жизнь ткани, взятой у мышей-доноров.

⁴ Ионов И. Д. // Известия АН СССР. Сер. биол. 1987. № 4. С. 519—526; Werthil B. K. et al. // J. Immunol. 1987. Vol. 139. P. 2605—2614.



Анафилактическая реакция в плаценте человека. Ворсинки наружной оболочки эмбриона (хориона) погружены в лагуну с материнской кровью, несущей эмбриону питательные вещества. Материнские базофилы, чувствительные к эмбриональным антигенам, при контакте с хорионом вступают в анафилактическую реакцию, в результате которой антигены экранируются микротромбами. Микротромбы, сливаясь в фибриноидный слой, защищают хорион от иммунного повреждения. В местах прямого контакта ткани матки и эмбриона антигены экранируются не базофилами, а тучными клетками, мигрирующими из ткани матки.

Таким образом, было установлено, что IgE-анафилаксия против тканевых антигенов действительно защищает ткань, которая вызвала продукцию IgE-антител, от иммунного повреждения⁵. Очевидно, что подобные иммунные реакции были бы целесообразны в месте соприкосновения тканей матери с эмбрионом, т. е. в плаценте. По-видимому, есть все основания полагать, что этот процесс происходит в действительности.

ЧТО ПРОИСХОДИТ В ПЛАЦЕНТЕ?

Известно, что эмбрион развивается в условиях, чрезвычайно благоприятных для протекания анафилактических реакций. Так, при беременности в матке, изначально богатой тучными клетками, их содержание становится еще больше. Особенно много их вблизи эмбриона, где они и выбрасывают свое содержимое. Кроме того, установлено, что плацента выделяет в кровь матери гистамин. Эти факты наводят на мысль, что на границе между тканями матери и эмбриона идет типичная анафилактическая реакция.

Показано также, что в местах соприкосновения материнской крови с тканью эмбриона образуется так называемый фибриноид — слой вещества, по своему составу близкий к тромбам. Вероятно, этот слой возникает в результате тромбообразующей активности анафилактических медиаторов.

Таким образом, известные в настоящее время факты позволяют предположить, что на границе между тканями матери и эмбриона протекают анафилактические реакции, приводящие к образованию микротромбов и тем самым защищающие эмбриональные антигены от иммунной системы матери⁶. Это тромбообразование, по всей видимости, играет в развитии беременности важную роль.

В свете этих данных становятся понятными характерные свойства IgE-антител: их наличие только у плацентарных млекопитающих, а также высокая чувствительность IgE-синтезирующей системы к слабым антигенным воздействиям, что имеет особое значение для защиты плода. Ведь организм матери соприкасается с эмбриональной тканью сразу при имплантации зароды-

⁵ Ионов И. Д. // Известия АН СССР. Сер. биол. 1987. № 1. С. 142—145.

⁶ Ionov I. D. // Med. Hypotheses. 1985. Vol. 17. P.313—320.

ша в слизистую матки. В этот момент эмбрион состоит всего из нескольких десятков клеток. Антигенное воздействие его на организм матери, очевидно, весьма невелико, т. е. именно такое, чтобы вызвать продукцию IgE-антител. А постоянное присутствие эмбриональных антигенов приводит к анафилаксии и в итоге — к экранировке этих антигенов. Такой процесс идет на всем протяжении беременности. По мере разрастания эмбриональной ткани постепенно появляются все новые антигены. Вследствие высокой чувствительности IgE-синтезирующей системы к малым дозам антигена вокруг эмбриона будут постоянно развиваться местные анафилактические реакции, экранирующие эмбриональные антигены.

Представление об анафилаксии как о защитном механизме позволяет объяснить и способность анафилактических медиаторов активировать свертывание крови. Исключение, как уже отмечалось, составляет лишь фактор хемотаксиса эозинофилов, который способствует их накоплению в месте развития анафилактической реакции. По-видимому, физиологическая роль этого вещества заключается в локализации процессов, вызываемых другими медиаторами. Эозинофилы инактивируют биологически активные вещества, высвобождающиеся при анафилаксии. Скопление этих клеток в месте развития анафилаксии, вероятно, препятствует распространению анафилактических медиаторов в тканях и локализует тем самым тромбообразование — оно происходит только вблизи антигена, что совершенно необходимо для нормального функционирования плаценты.

Итак, анафилаксию можно рассматривать как полезный механизм, созданный эволюцией для защиты эмбриона от иммунной системы матери. Физиологическим сигналом для его включения служит встреча с эмбрионом, слабое антигенное воздействие которого оптимально для активации IgE-синтезирующей системы.

Но ни один механизм не может работать без сбоев и поломок. Таким нарушением в работе IgE-синтезирующей системы может быть ее включение от контакта с чужеродным веществом (не эмбриональным антигеном) и синтез большого количества соответствующих антител. Тогда при повторном контакте организма с этим антигеном будет выделяться большое количество медиаторов. Если этот процесс произойдет в тканях с высокой чувствительностью к патогенному действию медиаторов, начнутся серьезные функциональные нарушения, т. е. аллергическая болезнь.

Полезное при беременности свойство

медиаторов — способность экранировать тканевые антигены микротромбами — также может стать причиной болезни, если по ошибке будет направлено на защиту чужеродной ткани, которая, в отличие от эмбриона, не должна развиваться в организме. Речь идет о злокачественных новообразованиях.

ЭМБРИОН ИЛИ ОПУХОЛЬ

Здоровые клетки, приобретая способность к безудержному росту и превращаясь в злокачественные, становятся антигенными, т. е. по сути чужими для организма. Как правило, организм начинает бороться с ними — развивается иммунный ответ, направленный на их уничтожение. Однако эта иммунная реакция не всегда бывает эффективной — опухоль может уцелеть и тогда привести организм к гибели. Почему иммунная система не всегда уничтожает такую чужеродную для организма ткань, до сих пор непонятно. Особенно странно это для высших млекопитающих с их развитой иммунной системой, активно отторгающей аллотрансплантаты. Но, может быть, именно у высших организмов вокруг опухоли по ошибке срабатывает механизм, созданный природой для защиты эмбриона?

Обращает на себя внимание удивительное сходство условий контакта опухоли со здоровой тканью и эмбриона с тканями матери. Опухоль, как и эмбрион, при первом соприкосновении с иммунной системой хозяина состоит из небольшого числа клеток. В связи с этим специфический иммунный ответ против опухоли, очевидно, должен начаться с активации той системы, которая наиболее чувствительна к малым дозам антигена, т. е. с синтеза IgE.

Действительно, такие антитела появляются в организме при росте опухоли, и более того, они вызывают анафилактическую сенсibilизацию к опухолевым антигенам⁷. Тогда на границе между опухолевой и здоровой тканями должны развиваться анафилактические реакции, обязательным условием для которых должно быть скопление тучных клеток вокруг опухоли. Этот факт был впервые обнаружен еще в 1879 г. П. Эрлихом и впоследствии подтвержден многими исследователями. Более того, было показано, что тучные клетки, контактируя с опухолевой

⁷ Bartholomaeus W. N. et al. // J. National Cancer Inst. 1974. Vol. 53. P. 1065—1072; Broom B. C., Alexander P. // Immunology. 1975. Vol. 428. P. 1033—1040; Sweeney W. T., Seibel H. R. // Int. Arch. Allergy. 1973. Vol. 45. P. 789—794.

тканью, выделяют биологически активные вещества, иными словами, вступают в анафилактическую реакцию, в результате которой образуются микротромбы⁸.

Создается впечатление, что организм, приняв опухоль за эмбрион, отвечает на ее появление анафилаксией, что приводит к ее защите от иммунного повреждения. Если все это так, следует ожидать, что в условиях, способствующих анафилактическому тромбообразованию, рост опухоли усилится, а угнетение анафилаксии вызовет обратный эффект.

АНАФИЛАКСИЯ ПОМОГАЕТ ОПУХОЛИ

Усилить анафилаксию можно, либо увеличив количество тучных клеток, либо повысив содержание IgE-антител. Еще несколько десятилетий назад были получены косвенные доказательства того, что при увеличении числа тучных клеток рост опухоли усиливается. Тогда обнаружили, что частота возникновения опухолей и у животных, и у человека существенно зависит от питания и заметно увеличивается при избытке питательных веществ, т. е. в условиях, когда, как установил П. Эрлих, количество тучных клеток в организме резко возрастает⁹.

Недавно были получены и прямые доказательства важной роли тучных клеток в образовании опухоли. Ирландский исследователь У. Роше, изучая скорость роста клеток саркомы у крыс, обнаружил, что при введении животным смеси опухолевых и тучных клеток опухоль растет гораздо быстрее, чем при введении одних клеток саркомы¹⁰.

Рост злокачественных опухолей усиливается и под влиянием противоопухолевых IgE-антител. Еще в 60-е годы удалось установить, что анафилактическая сенсibilизация к опухолевым антигенам у больных раком молочной железы активирует рост метастазов и приводит к гибели¹¹. Позже это наблюдение подтвердили и другие исследователи.

Поскольку усиление анафилаксии облегчает рост опухолей, закономерно предположить, что угнетение анафилаксии и, соответственно, тромбообразование приведет к торможению роста опухолей.

По-видимому, есть две возможности повлиять на конечный результат анафилаксии, т. е. затормозить экранировку антигенов микротромбами: прекратить высвобождение медиаторов из тучных клеток или приостановить тромбообразование.

Широкие клинические и экспериментальные исследования показали, что препараты, угнетающие тромбообразование, тормозят рост опухоли, а в некоторых случаях приводят к её полному рассасыванию¹². Однако такой способ противоопухолевой терапии еще не нашел широкого применения, так как введение противосвертывающих средств угнетает гемокоагуляцию во всем организме, что само по себе опасно для жизни больного.

Реальнее попытаться приостановить рост опухоли препаратами, препятствующими выбросу медиаторов из клеток. Ведь при отсутствии беременности введение их в организм не должно привести ни к каким вредным последствиям. В литературе неоднократно поднимался вопрос о роли тучных клеток в патогенезе новообразований. В связи с этим ряд авторов исследовали влияние различных противоанафилактических средств на рост опухолей. Хотя все эти работы носили ориентировочный характер и в них не были строго обоснованы ни выбор используемого препарата, ни условия его применения, тем не менее в ряде случаев наблюдалось торможение опухолевого роста¹³. Использование специальной схемы применения противоанафилактических средств может существенно повысить их противоопухолевое действие, что установлено нами при изучении влияния препарата «интал» на рост опухолей молочной железы у крыс¹⁴.

Таким образом, к настоящему времени подтверждена принципиальная возможность использовать противоанафилактические средства для лечения рака, что делает целесообразным дальнейшие исследования в этом направлении. Возможно, глубокое изучение роли анафилаксии в процессах жизнедеятельности не только приведет к разработке эффективных способов лечения онкологических заболеваний, но и будет полезно в других областях биологии и медицины.

⁸ Hiramoto R. et al. // Cancer Res. 1960. Vol. 20. P. 592—593.

⁹ Tannenbaum A., Silverstone H. // Adv. Cancer Res. 1953. Vol. 1. P. 451—501.

¹⁰ Roche W. R. // J. Pathol. 1986. Vol. 148. P. 175—182.

¹¹ Городилова В. В. и др. // Вопр. онкологии. 1965. № 2. С. 22.

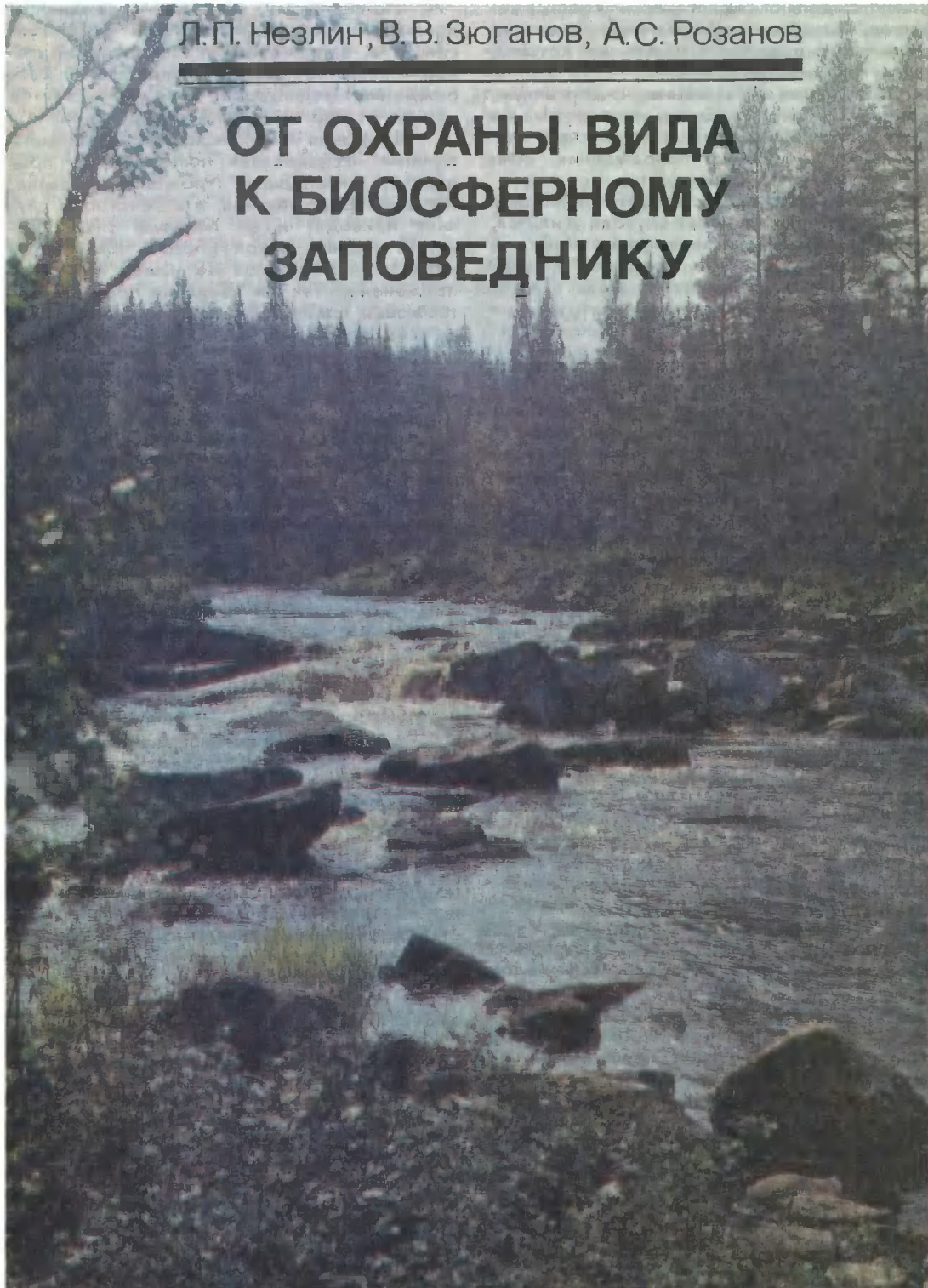
¹² Hilgard P., Thornes R. D. // Europ. J. Cancer. 1976. Vol. 12. P. 755—762.

¹³ Scott K. G. // Ann. N. Y. Acad. Sci. 1963. Vol. 103. P. 288—309; Nordlund J. J., Askkenase P. W. // J. Invest. Dermatol. 1983. Vol. 81. P. 28—31.

¹⁴ Ionov I. D. // Int. J. Cancer. 1988. Vol. 41. P. 777—778.

Л. П. Незлин, В. В. Зюганов, А. С. Розанов

ОТ ОХРАНЫ ВИДА К БИОСФЕРНОМУ ЗАПОВЕДНИКУ





Леонид Павлович Незлин, младший научный сотрудник Института биологии развития им. Н. К. Колцова АН СССР. Научные интересы связаны с изучением онтогенеза и физиологии беспозвоночных. В «Природе» опубликовал (в соавторстве с В. В. Малаховым) статью: Трихоплакс — живая модель происхождения многоклеточных (1983, № 3).

Валерий Валерьевич Эюганов, кандидат биологических наук, научный сотрудник того же института. Область научных интересов — генетика, экология, систематика и эволюция рыб, структура популяций водных животных. В «Природе» опубликовал (в соавторстве с Ю. А. Лабасом, В. В. Хлебовичем) статью: Ионные каналы, гены и эволюция (1987, № 9).

Александр Сергеевич Розанов, старший научный сотрудник Всесоюзного объединения морской геологии (Мурманск) Министерства геологии РСФСР. Область научных интересов — экология позвоночных животных.

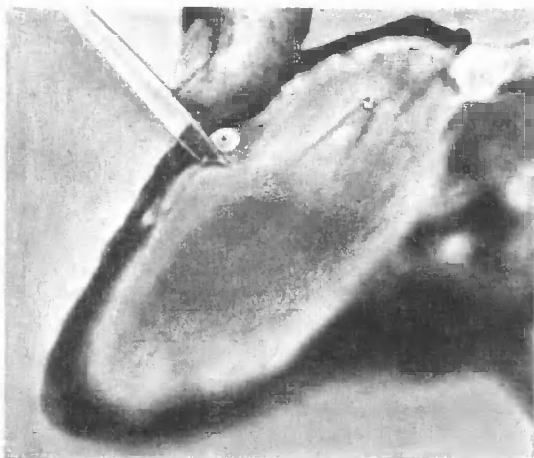
РУССКИЙ Север издавна славился ценнейшим пресноводным жемчугом и семгой. В России XV—XVIII вв. было распространено узорное жемчужное шитье по льну, шелку, бархату и парче, которое шло для украшения предметов церковного обихода, парадного царского, боярского и народного костюма. Из северных областей России обозами вывозили деликатесную рыбу — семгу. Теперь жемчуга нет вовсе, сильно оскудели и запасы семги. Может ли что-либо сделать наука, чтобы вернуть прежние северные богатства? Мы постараемся показать, что сделать это можно.

Начнем с жемчужницы — пресноводного двустворчатого моллюска, в теле которого развиваются жемчужины. В СССР 9 видов этих моллюсков, 8 относятся к роду *Dahurinaia* и живут в реках Дальнего Востока, а один — европейская жемчужница (*Margaritifera margaritifera*) — в реках Северной Европы. К началу XX в. в 75 ре-

ках Кольского п-ова и Карелии было немало жемчужницы, которую активно добывали ради жемчуга. Однако в дальнейшем из-за чрезмерного промысла и загрязнения рек отходами промышленных предприятий численность ее начала быстро сокращаться. Процесс принял такие масштабы, что сейчас вид занесен в «Красную книгу СССР» (остальные виды этого рода тоже) и в «Красную книгу МСОП» под грифом «уровень охраны — первый». Это значит, что европейская жемчужница находится под угрозой полного уничтожения. Большинство популяций немногочисленны и находятся в депрессивном состоянии. В Западной Европе за последние 30 лет исчезло около половины популяций, а подавляющее большинство оставшихся перестали воспроизводиться.

Не намного лучше обстоит дело с семгой. С 60-х годов ее уловы сократились втрое, фактически исчезли естественные популяции во многих реках северо-запада СССР: Ниве, Вороньей, Териберке, Керети и многих других. Попытки искусственного воспроизводства семги пока успеха не приносят.

Приток Варзуги — р. — Юлица — место нереста семги. Здесь и далее фото Л. П. Незлина.

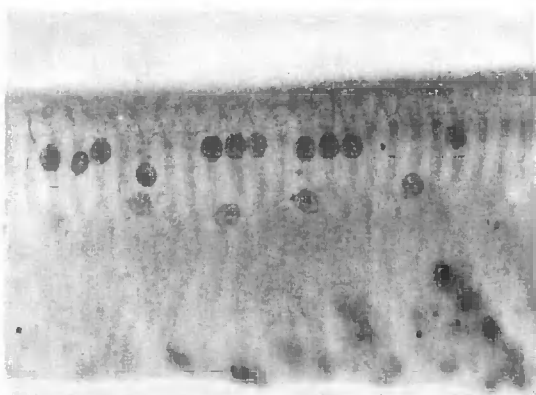


Такой способ добычи жемчужин стал одной из причин гибели жемчужницы.

Таким образом, реальна опасность безвозвратной утраты европейской жемчужницы, а вместе с ней, как оказалось, и семги.

Что же представляет собой европейская жемчужница? Обитает она в северных реках с быстрым течением, у порогов, перекатов и плесов с песчано-каменистым дном, избегает заиленных, со слабым течением плесов. Моллюск живет на глубине 0,3—2,5 м, зарывшись в грунт передним концом раковины и выставив наружу задний конец с сифонами. Жемчужница, как и многие моллюски, — фильтратор, т. е. питается одноклеточными водорослями и органическим детритом, которые извлекает из воды, профильтровывая ее через жабры, а неусваиваемую взвесь откладывает в грунт в виде псевдофекалий. Жемчужницы образуют колоссальные скопления, их колонии могут тянуться вдоль реки на несколько километров, а плотность заселения — достигать более 70 особей на квадратный метр. Способность фильтровать большой объем воды (каждый моллюск пропускает через себя более 50 л в сутки) в сочетании с высокой плотностью популяции превращает жемчужниц в важнейший компонент биоценозов северных рек, способный очистить воду до поистине кристальной прозрачности. Отметим, что в этих реках нет других фильтраторов, образующих столь же крупные скопления и так же эффективно очищающих воду.

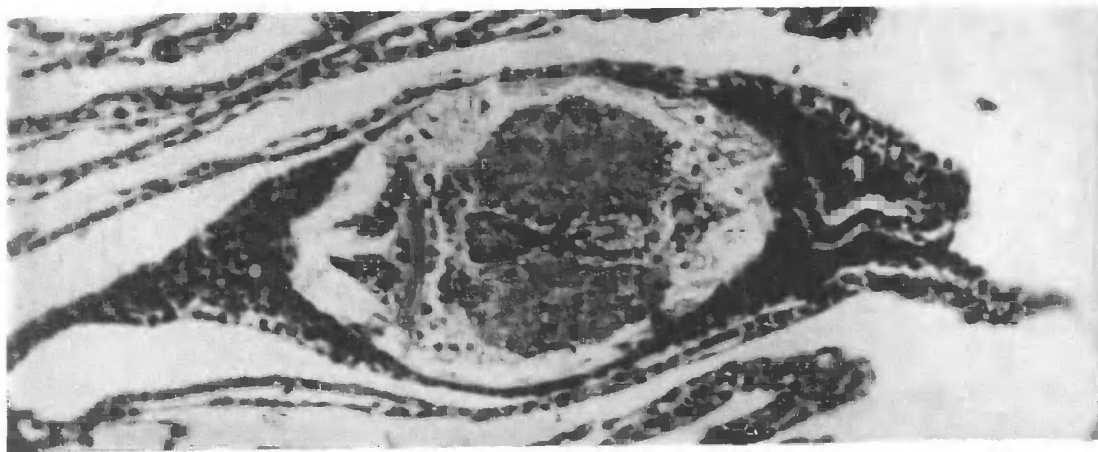
Европейская жемчужница — моллюск средних размеров (12×5×3 см) с овальной, вытянутой, почти черного цвета раковиной, с хорошо развитым перламутровым слоем на внутренней поверхности. Жемчужницы раз-



Глохидии европейской жемчужницы на вторичных жаберных лепестках семги через двое суток после экспериментального заражения.

дельнополы, органов оплодотворения не имеют; сперма с током воды попадает через сифон в специальные выводковые камеры, находящиеся в жаберной полости самки, и оплодотворяет яйца. Из них развиваются личинки — глохидии — размером 50—75 мкм, имеющие двустворчатую раковину с зубчиками. Каждая самка вынашивает до 3,5 млн глохидиев. В конце лета — начале осени в реках Кольского п-ова идет нерест — массовый выброс глохидиев в воду, где они могут прожить не более 2—3 сут, поскольку лишены осморегуляторных органов, и погибают, если не успели прикрепиться к жабрам рыбы. Но если это удалось, глохидий погружается в жаберную ткань, вокруг него образуется защитная оболочка — циста. В течение месяца он питается за счет хозяина, т. е. попросту паразитирует. В это время быстро дифференцируются ткани глохидия, он проходит метаморфоз и, превратившись в маленькую копию взрослого моллюска, покидает хозяина, падает на дно и начинает самостоятельную жизнь.

Глохидии европейской жемчужницы могут паразитировать, видимо, не на любых рыбах. Вероятность того, что их хозяевами станут лососевые — семга, форель, кумжа, хариус — наибольшая, поскольку эти рыбы обитают в тех же биотопах, что и жемчужница. Другие рыбы северных рек — щука, плотва, уклея, окунь, сиг, налим, предпочитающие тихие плесы, — вряд ли имеют высокие шансы быть зараженными. К тому же в опытах по заражению глохидиями различных видов карповых рыб выяснилось, что через 10—15 сут личинки жемчужницы отторгаются еще до окончания их метаморфоза.



Продольный срез гложидия через 18 сут после заражения им рыбы. Метаморфоз почти закончился, личинка превратилась в уменьшенную копию взрослого моллюска.

Примечательно, что из лососевых только в ареал семги и кумжи полностью вписывается ареал европейской жемчужницы. Эти виды благородных лососей (род *Salmo*) — проходные рыбы, их жизненный цикл делится на два периода: пресноводный (нерест и рост молоди) и морской (нагул взрослых рыб). Во время нереста, осенью, семга выбирает участки реки небольшой глубины с довольно быстрым течением, прозрачной водой и валунно-галечным грунтом. Здесь самки роют ямы, откладывают в них икру, оплодотворяемую самцами, и зарывают ее. Образуются так называемые нерестовые бугры. Весной выклевываются мальки (пестряки), жизнь которых связана с определенной территорией, на ней они добывают пищу (падающих в воду насекомых, личинок, мошек, ручейников и т. д.) и спасаются от хищников. И для охоты, и для защиты им служит зрение¹.

В период нереста и роста молоди семга весьма требовательна к чистоте воды. Норвежские исследователи установили, что при прочих равных условиях в прозрачных реках годовая продуктивность молоди семги на 250 % превышает таковую в умеренно мутных реках. Икра в нерестовых буграх гораздо лучше развивается в очищенной от взвесей воде, поскольку меньше поражается грибковыми заболеваниями. Кроме того, даже незначительная мутность снижает видимость в воде, а ведь именно хорошая видимость обеспечивает малькам удачную охоту и безопасность.

Только ли паразитизмом (который, кстати, в течение короткого времени — всего лишь месяца — особого вреда хозяину не наносит) связана жемчужница с семгой? Нет. Взрослые жемчужницы, эффективно очищая воду в реке, благоприятно влияют на воспроизведение лососей. Но жемчужница — не обязательный компонент рек, где нерестятся лососи, например в Печоре ее нет. Отношения жемчужницы и лосося — это протокооперация (необязательное сожительство), в которой моллюск сильнее зависит от рыбы, чем рыба от него: нам неизвестно ни одной популяции жемчужницы, обитающей в реках, где нет лососевых.

Сейчас семга нерестится в 33 реках Кольского п-ова, однако только в одной — Варзуге — она обильна и потому здесь добывается 70 % общего промысла, хотя площадь нерестилищ в этой реке составляет лишь 10 % от всей их площади. Почему Варзуга оказалась самой продуктивной? В 1986—1987 гг. мы обследовали Варзугу и обнаружили крупную популяцию жемчужницы — около 80 млн особей. Это не только самая крупная популяция в СССР, но и крупнейшая в мире, остальные насчитывают от 10 до 100 тыс. особей и находятся в угнетенном состоянии. Приблизительный подсчет показал, что популяция жемчужницы в Варзуге за сутки осаждаёт около 200 т взвеси и очищает воду до кристальной чистоты. И именно в этой реке многочисленна семга. Конечно, на ее обилие влияют и другие факторы: здесь не сплавляют лес, нет промышленных предприятий, река труднодоступна для массового браконьерства. Но на Кольском п-ове есть и другие

¹ Шустов Ю. А. Экология молоди атлантического лосося. Петрозаводск, 1983.



В мантийную полость жемчужницы вводится биологически активное вещество, чтобы раскрыть створки раковины, не повредив моллюска.

реки с такими же характеристиками, а огромная популяция жемчужницы — только в Варзуге. Напрашивается вывод, что в этой реке существуют оптимальные условия для обоих компонентов симбиотической системы, биоценоза жемчужница — лосось.

Между тем ни в одном литературном источнике мы не нашли упоминания о существовании подобного биоценоза в какой-либо другой реке, видимо, в Варзуге сложились для него особенно благоприятные условия. Если это так, ценность Варзуги возрастает неизмеримо. Как единственный высокопродуктивный биотоп река должна послужить не только источником и резерватом для семги и жемчужницы, но и эталоном, без изучения которого невозможно вос-

становить численность ни лосося, ни жемчужницы.

Рассмотрим возможные пути их охраны и восстановления. В первую очередь надо, очевидно, хорошо представлять себе причины вымирания жемчужницы и уменьшения численности семги. Их три: избыточный промысел моллюсков в прошлом, не менее избыточная добыча лососевой рыбы, изменение гидрологического режима и загрязнение рек. Значит, восстановить популяции жемчужницы можно только там, где влияние этих факторов не сказывается сейчас и не проявится в будущем. Следовательно, нереально ожидать, что удастся восстановить численность в густонаселенных районах с развитым сельским хозяйством и промышлен-



Наша нехитрая полевая лаборатория. Определяется количество глосидиев, чтобы потом приготовить суспензию и заразить семгу.

ностью. Надежда остается на малонаселенные места, где сведено к минимуму антропогенное воздействие, а также на реки с заповедным или полузаповедным режимом.

По данным Б. Ф. Голубева и А. Б. Есипова², кроме бассейна Варзуги жемчужница сохранилась в трех небольших речках бассейна Вадозеро, в р. Кереть и в небольшой речке Немина (бассейн Онежского озера). Жемчужница встречается также в ручьях бассейна оз. Имандра в Лапландском заповеднике. Велики ли надежды на увели-

чение популяций в этих местах? Вряд ли бассейн оз. Имандра может считаться благополучным — он загрязняется промышленными предприятиями Мончегорска и Апатитов, не лучше обстоят дела на р. Кереть: долгое время там велся молевой сплав леса и она загрязнена, а неконтролируемым ловом семги почти уничтожена ее популяция. Здесь же до начала 80-х годов велся промысел жемчужницы, поэтому сейчас биоценоз жемчужница — лосось сильно подорван. Может ли спасти дело заповедание бассейнов, где сохранилась жемчужница? Опыт Финляндии не дает таких надежд. Там ее охраняют с 1955 г., но сейчас осталось лишь около 25 небольших популяций, и все они,

² Голубев Б. Ф., Есипов А. Б. Запасы пресноводной жемчужницы некоторых рек Северо-Запада РСФСР // Тр. ВНИИ ювелирной промышл. 1973. Т. 3. С. 51—58.

кроме одной, перестали воспроизводиться — в них нет молоди менее 5 см длиной. Причины этого — кислотные дожди и разработка торфа, приводящие к загрязнению рек.

Следовательно, пассивная охрана рек не поможет восстановить этот вид. Даже в Варзуге, где жемчужница сохранилась и благодаря пассивной охране (река объявлена рыбохозяйственным заказником), популяция находится в опасности. По нашим наблюдениям, в районах интенсивного браконьерского лова семги количество молоди жемчужницы в 10 раз меньше, чем на строго охраняемых участках. Это означает, что оставшаяся семга не в состоянии обеспечить полноценное воспроизводство колонии. К тому же интенсивная рубка леса в верховьях реки ведет к заилению тех мест, где находятся колонии жемчужницы.

Значит, наряду с пассивной охраной нужны активные меры по восстановлению численности этого вида. Один путь — переселить взрослых особей жемчужницы в реки, где раньше она не обитала или откуда исчезла. Однако при этом необходимо учитывать не только пригодность водных биотопов, но и наличие в них естественных хозяев для глохидиев. Если не принять во внимание этот важнейший фактор, удачи ждать не приходится. Такой пример известен: в 1933 г. из ручья Жемчужный близ Кандалакши жемчужница была переселена в ручьи бассейна Пертозера, где лососевые не водились, и акклиматизация не удалась.

Сейчас есть возможность переселить жемчужниц из Варзуги в другие лососевые реки и восстановить утраченные популяции. Это не приведет к быстрому увели-

чению численности моллюска, кроме того, велика опасность подорвать основную популяцию. Мы считаем, что одновременно с расселением половозрелых жемчужниц нужно расселять их личинок — глохидиев. Из более чем 3 млн глохидиев, производимых одной самкой, в естественных условиях лишь несколько удастся прикрепить к жабрам рыб, а искусственное заражение рыб-хозяев глохидиями могло бы в тысячи раз увеличить эффективность воспроизводства.

Такая технология была разработана и применялась в США еще в начале века, но в силу особенностей биологии жемчужницы и семги нам пришлось существенно изменять метод. Жемчужниц собирали в колониях, с помощью разработанного нами метода раковины приоткрывали без повреждения, определяли пол и степень зрелости самок, метили их и содержали в садках до начала нереста. Полученных зрелых глохидиев отмывали от слизи, обрабатывали в растворе физиологически активного вещества, чтобы повысить их способность прикрепляться к жабрам рыбы, и вводили суспензию глохидиев в рот пойманной рыбе, не вынимая их из воды. Через 18 сут в гистологических препаратах, приготовленных из жабер, мы насчитывали от 2 до 4 тыс. закрепившихся на одном лососе личинок. Подобное заражение, по-видимому, безвредно для рыб — достоверных различий в формуле крови у подопытных и контрольных экземпляров мы не обнаружили. Таким образом, если заразить за сезон всего 100 рыб, в реку можно выпустить 200—400 тыс. молоди моллюска (без учета последующей смертности). Этим могли бы заниматься контрольно-



Ищем жемчужницу и считаем плотность ее популяции на Варзуге.

наблюдательные станции, расположенные у рыбоучетных заграждений в низовьях многих рек Карелии и Кольского п-ова, где в промысловый сезон отлавливают часть идущих на нерест лососей.

Восстановление численности жемчужницы можно совместить с возобновлением, как это ни парадоксально, добычи речного жемчуга. На наш взгляд, уже в ближайшее время есть возможность возродить этот древний поморский промысел, но на принципиально иной — экологической — основе, не убивая моллюсков и не оставляя на берегах кучи мертвых жемчужниц. Основы технологии, по которой можно прижизненно извлекать жемчуг, чтобы моллюск продолжал жить и размножаться, были разработаны и опробованы нашей экспедицией. Однако это дело будущего, а прежде надо начать восстановление численности жемчужницы и семги, которое немыслимо пока без усиленной охраны их главного места обитания — бассейна Варзуги.

В настоящее время этот бассейн обследует экспедиция Главохоты и Госкомприроды РСФСР, чтобы подготовить рекомендации для создания нового государственного заповедника «Варзуга». Но его организация осложняется тем, что в устье реки ведется промысел семги. Ясно, что промышленный лов и охрана несовместимы, а между тем именно Варзуга — основной поставщик этой деликатесной рыбы. Хозяйственные интересы здесь тесно переплетены с разными аспектами жизни не только района, но и области. Чтобы прекратить промысел в Варзуге, потребуется корректировка планов добычи семги в других местах. Но не только это тормозит организацию заповедника. Промысел семги — основной источник доходов для жителей с. Варзуга и пос. Кузюмень. Ликвидация промысла приведет к падению жизненного уровня населения и безработице, вынудит жителей переселиться. Противоречие настолько острое, что положение, на первый взгляд, кажется безвыходным. Однако выход существует. Решить проблему можно, создав не государственный, а биосферный заповедник. Если в обычном заповеднике запрещен любой вид хозяйственной деятельности, то в биосферном, наоборот, традиционное хозяйство рассматривается как неотъемлемая часть. Именно в биосферных заповедниках разрабатываются методы природосберегающего хозяйствования.

В нашей стране эти заповедники создавались путем простого переименования уже существующих государственных с их сложившимся режимом охраны. Поэтому пока у нас

нет ни одного подлинного биосферного заповедника³, «Варзуга» мог бы стать первым, если руководствоваться этой концепцией уже при его создании. Он мог бы стать полигоном для экспериментальных исследований, для разработки и внедрения научно обоснованных методов хозяйствования, природосберегающих и природовосстанавливающих технологий. Биосферный заповедник «Варзуга» мог бы взять на себя разработку технологии возрождения бывших лососевых рек Севера за счет реинтродукции в них высокопродуктивного биоценоза жемчужница — лосось, культивирования и добычи речного жемчуга; совершенствования технологии разведения семги и другие задачи, непосредственно связанные с экосистемой реки. Статус биосферного заповедника позволяет выделять на его территории зоны абсолютного покоя и научно обоснованного природосберегающего хозяйствования. Главное, чтобы только заповеднику принадлежала его территория и только он обладал бы правом регламентировать любые виды деятельности.

Мы рассмотрели особенности экологии и возможные пути восстановления биоценоза жемчужница — лосось, существующего сейчас, по-видимому, в единственной точке планеты — на р. Варзуге. К сожалению, биоценоз находится на грани безвозвратной утраты, а детальных знаний о нем у нас нет, не все мы знаем и о жемчужнице: неизвестны, например, все виды рыб-хозяев, пределы толерантности моллюска и т. д. Однако основная стратегия восстановления представляется все же ясной. Добавим, что кроме полукискусственного воспроизводства жемчужницы посредством заражения рыб глосидиями, необходимо разработать технологию ее искусственного выращивания методом зоокультуры. Европейская жемчужница — это не только экономически ценный вид, источник уникального пресноводного жемчуга. В Европе нет других пресноводных моллюсков, которые, как жемчужница, могли бы образовывать скопления высокой плотности в проточных водоемах и столь же эффективно очищать воду и делать ее пригодной для лососей. Если сейчас не принять срочных мер, мы рискуем потерять и уникальный биологический вид — европейскую жемчужницу и весь высокопродуктивный биоценоз северной реки.

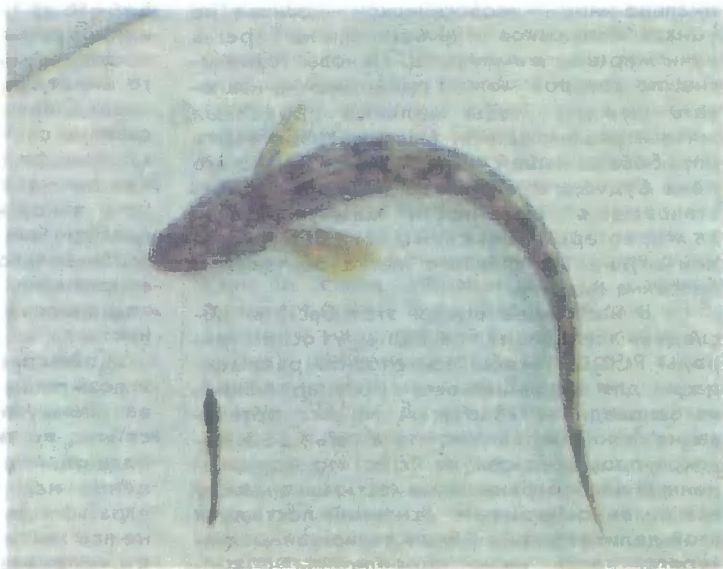
³ О принципах организации биосферных заповедников см.: Соколов В. Е., Пузаченко Ю. Г., Гунин П. Д., Зыков К. Д. Биосферные заповедники: цели и проблемы // Природа. 1988. № 1. С. 34—46.

Живородящая рыба бельдюга

В. Л. Зимин
Ленинград

В ПРИБРЕЖНЫХ водах Северной Европы (от Бискайского залива до Мурманского побережья) обитает обычная и в то же время удивительная рыба — европейская бельдюга (*Zoarces viviparus*). Она невелика — до 30, реже до 50 см длиной — обитает в придонной части, окрашена в маскирующий серовато-желтый цвет с оливково-бурыми пятнами. Рыбаки издревле знакомы с бельдюгой, о ней сложены многочисленные легенды. И все потому, что бельдюга — живородящая рыба (выметывает мальков также и восточная бельдюга, а третий вид — американская — мечет икру, впрочем, в последнее время ее выделяют в другой род — *Macrozoarces*). В легендах и суевериях способность бельдюги рожать мальков связывается с тайной рождения угрей. В средние века считали, что мальков угрей рожают самки бельдюги, это поверье отразилось даже в названии рыбы: Aal-mutter (нем.) — угриная matka; корень «eel» (угорь) есть и в английском названии — eel-pout. Среди населения русских рыбацких деревень до сих пор бытует суеверие, запрещающее употреблять в пищу «щепящуюся» рыбу. А свободные от этого предрассудка жители Прибалтики бельдюгу промышляют и считают ее мясо нежным и вкусным.

Но легенды легендами, а ихтиологи почему-то не жаловали своим вниманием столь необычную рыбу. Биология ее изучена довольно плохо. Только в последние 15—20 лет пробудился интерес к этому виду. В некоторых прибалтийских странах бельдюгу используют в биохимических, физиологических и генетических экспериментах, а в Нидерландах применяют в качестве индикатора загрязнений



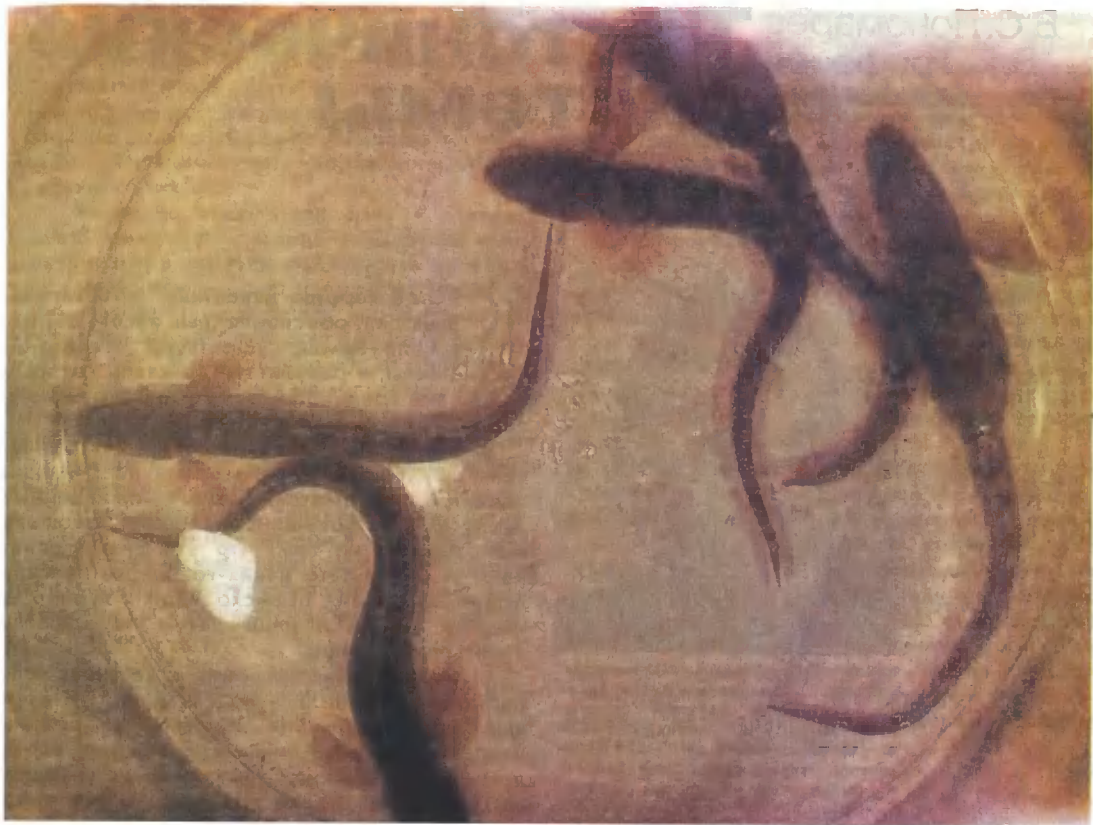
3—4-летний самец бельдюги вместе с трехиглой колюшкой в экспериментальном аквариуме.
Здесь и далее фото автора.

ртутью прибрежных вод Северного моря, поскольку мышцы рыбы способны накапливать тяжелые металлы.

Сейчас ведутся исследования и у нас. Мне довелось несколько лет вести наблюдения за размножением и развитием бельдюги в восточной части Финского залива, у берегов которого она встречается почти круглый год. Только в июле—августе уходит с мелководий на большие глубины. В это время у самок завершается созревание ооцитов, происходит овуляция и спаривание.

После оплодотворения три-четыре недели эмбрионы развиваются внутри икринок, затем (после выклева) — в полости яичника, питаются и ды-

шат за счет питательных веществ и кислорода, растворенных в оварийной (ovarium — яичник) жидкости, а их циркуляция обеспечивается густой сетью кровеносных сосудов в стенках яичника и опустевших фолликулах. С ростом эмбрионов увеличивается размер яичника и объем оварийной жидкости. В яичнике же разрушаются неоплодотворенные яйца-и эмбрионы, погибшие на ранних стадиях развития. Беременность в суровых условиях северо-восточной Балтики длится не менее пяти месяцев, в то время как в датских водах и в Северном море — около четырех. В январе — марте в наших водах бельдюга выметывает удивительно одинаковых по размерам мальков



Беременная самка (справа) в группе сородичей.

(около 40—45 мм), уже окрашенных и готовых к самостоятельному добыванию пищи.

Весь цикл развития от оплодотворенного яйца до сформировавшегося малька теснейшим образом связан с материнским организмом, через который внешние условия могут оказывать влияние на развивающееся потомство. Многие механизмы контроля за обменом в системе «мать — эмбрионы» пока еще остаются загадкой, мало сведений о структуре нерестового стада, о спаривании.

Важный эколого-генетический показатель — соотношение полов в популяции. Равное количество самцов и самок далеко не всегда характерно для природных популяций раздельнополых животных. В каждой популяции в процессе ее становления устанавливается свое оптимальное соотношение, а отклонения свидетельствуют об

изменении условий существования и могут использоваться в экологическом мониторинге.

Судя по траловым сборам в северо-западной части Финского залива (у п-ова Ханко) и в Рижском заливе, в балтийских популяциях бельдюги обычно преобладают самки. Правда в июне—июле, в период, непосредственно предшествующий спариванию, в уловах из Рижского залива бывает примерно равное количество самцов и самок (эти материалы получены в основном на глубинах 20—40 м), осенью же самцов остается лишь 17—28 %. В Финском заливе — наоборот: в мае—июне самцов меньше (30—40 %), чем самок, а осенью тех и других примерно поровну. Обусловлена ли противоречивость данных миграций самцов, или есть другие причины — пока неизвестно.

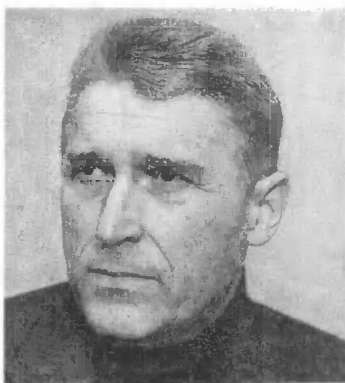
Что же касается соотношения полов среди молодежи, то

тут все яснее. В районе п-ова Ханко разнополые сеголетки встречаются примерно в равном количестве. По нашим данным, таково же соотношение среди мальков — потомков нескольких матерей, но в потомствах отдельных самок доля мальков-самцов колеблется от 15 до 70 %.

Итак, бельдюга по-прежнему скрывает свои тайны, у исследователей много задач их раскрытию. Вот одна из них. В уловах на глубинах 25—40 м финские ихтиологи встречали только особей в возрасте до года и старше 4 лет. Где же обитают 2—4-летние рыбы?

В.С. Пономарев
В.Г. Трифонов

Тектонические системы



Виталий Степанович Пономарев, кандидат физико-математических наук, старший научный сотрудник Института физики Земли им. О. Ю. Шмидта АН СССР. Занимается проблемами геомеханики, а также сейсмичностью Земли. В «Природе» опубликовал статью: Парадокс релаксации напряжений в горных породах (1985. № 5).



Владимир Георгиевич Трифонов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий лабораторией неотектоники и космической геологии Геологического института АН СССР, заместитель председателя Комиссии АН СССР по изучению природных ресурсов с помощью космических средств. Специалист по неотектонике и современной геодинамике активных областей. Неоднократно выступал в «Природе».

К РОМЕ хорошо известных литостатических сил, обусловленных весом пород, в теле Земли существуют и тектонические силы, в результате действия которых возникают грандиозные горные сооружения, перемещаются целые континенты.

Вопрос о происхождении тектонических сил и возбуждаемых ими напряжений является предметом самых оживленных дискуссий. Но большинство специалистов все же сходятся на том, что эти силы возникают в результате каких-то энергетических преобразований, происходящих глубоко в недрах Земли, и лишь затем передаются в ее верхние слои.

Измерять напряжения в массивах горных пород научились не так давно. И первые же результаты прямых измерений оказались сенсационными: в верхних слоях земной коры были обнаружены напряжения, во много раз превосходящие те, которые можно объяснить весом пород. Эти избыточные напряжения и были идентифицированы как тектонические.

Поток информации, хлынувший из нового источника, постепенно обрисовал картину, не совпадающую с представлениями о сугубо глубинном происхождении тектонических сил. Выяснилось, в частности, что тектонические напряжения могут значительно различаться по величине и быть по-разному ориентированы даже в пределах одного горного массива, на расстоянии всего лишь в десятки метров. Это доказывает, что в формировании естественного поля напряжений наряду с глобальными участвуют и какие-то местные факторы.

Как известно, геологическая среда чрезвычайно неоднородна. По существу, это смесь неоднородностей самого разного порядка: от микроскопических минеральных зерен, составляющих горную породу, до таких, как океаны и континенты. П. Н. Николаев, исходя из системного анализа тектонических напряжений, предположил, что напряжения, возбуждаемые в глубоких недрах Земли, перераспределяются затем на ее неоднородностях. В результате образуется «пестрое» поле напряжений, сложная струк-

тура которого отражает сложное строение самой среды¹.

Однако «пестрота» естественного поля напряжений может быть обусловлена и другими причинами: геологическая среда способна не только перераспределять и передавать механические напряжения, но и возбуждать их².

Различие этих точек зрения соответствует разному смыслу, вкладываемому механиками в понятия «механизм» и «машина». Механизм — это система, способная лишь пассивно передавать сообщаемое ей усилие какому-нибудь другому телу (например, рычаг, блок, домкрат), а машина — это система, способная самостоятельно возбуждать механические силы в процессе тех энергетических преобразований, которые протекают в ней (например, паровая или электрическая машина).

Как устроены тектонические системы — естественные «машины», возбуждающие тектонические силы и соответствующие напряжения? Каков принцип их действия? Эти вопросы и являются предметом настоящей статьи.

НАЧАЛЬНЫЕ СВЕДЕНИЯ О ТЕКТНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Общие свойства «машин» как систем возбуждения сил лучше всего видны на простом примере, в частности на примере испытательного пресса для исследования деформаций и разрушения образцов горных пород.

Во-первых, испытательный пресс, подобно геологическим объектам, представляет собой материальную систему с определенной структурной организацией. Во-вторых, он способен преобразовывать один вид энергии в другой (электрическая энергия преобразуется в механическую). В-третьих, силы, сжимающие образец, уравновешиваются силами растяжения в станине пресса и в целом образуют замкнутую систему сил. И, наконец, в-четвертых, эти силы способны к выполнению определенной работы — в данном случае к деформации и разрушению образцов горных пород.

Конечно, естественные «машины» — тектонические системы — не обладают четким и предельно целесообразным

устройством, свойственным техническим воплощениям инженерной мысли. Кроме того, в любом выделенном объеме геологической среды протекает не один процесс энергетического преобразования, а множество процессов, т. е. тектонические системы состоят из множества подсистем. И тем не менее перечисленные общие свойства характерны и для естественных «машин».

В соответствии с этим под тектонической системой будем понимать совокупность процессов в объеме геологической среды, структурная организация которых позволяет преобразовывать различные виды энергии в механическую, возбуждать тектонические напряжения, вызывать деформацию, разрушение и перемещение горных масс.

Принцип действия естественных энергетических преобразователей несложен. Известно, что на изменение внешних условий, например температуры или давления, тело реагирует изменением объема. Если не препятствовать этому изменению, то ничего особенного не произойдет. Но если свободу ограничить, то в теле, а точнее, в системе двух тел (одно стремится изменить свои размеры, а другое препятствует этим изменениям) возникнут напряжения, которые могут быть значительными.

Так, известно, что объем воды в твердой фазе больше, чем в жидкой. Прочность льда по сравнению с прочностью стали невелика, но если стеснить свободное расширение замерзающей воды, образующийся лед способен рвать стальные трубы.

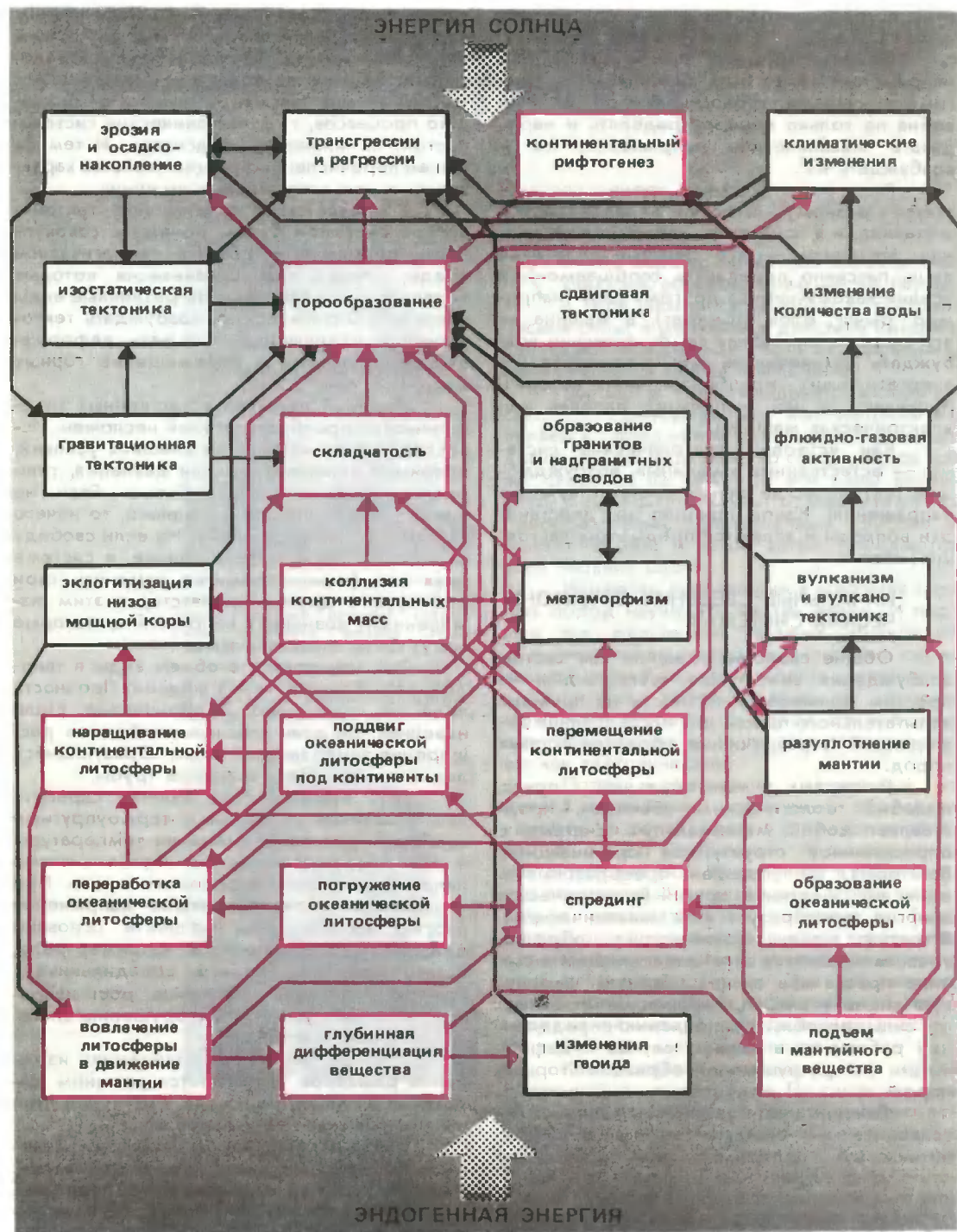
Еще пример. Если прочно скрепить две пластинки с разными термоупругими свойствами, то при изменении температуры в этой паре появится замкнутая система напряжений противоположного знака. При тонких пластинках возникшие напряжения изогнут их (на этом эффекте основано действие многих устройств, например реле, применяемых в бытовых холодильниках). Если же пластинки массивные, рост напряжений может привести к разрушению системы — срыву пластинок.

С точки зрения термодинамики изменение размеров тел является внешним выражением перестройки их структуры при изменении внешних условий.

В обоих примерах размеры тел менялись не под действием механических сил, а в результате изменения температуры. Это частный случай. В общем же к структурной перестройке систем ведут внешние воздействия самой разной природы — тепловые, механические, электрические, магнитные, химические, радиационные... И если

¹ Николаев П. Н. // Известия ВУЗов. Сер. «Геология и разведка». 1978. № 5. С. 106—116.

² Пономарев В. С., Трифонов В. Г. Факторы тектогенеза // Актуальные проблемы тектоники океанов и континентов. М., 1987. С. 81—94.



Взаимобусловленность главных элементов глобальной тектонической системы (показаны цветом) и некоторых факторов, приводящих в действие локальные тектонические системы.

тело неоднородно по структуре, если оно представляет собой систему, одни части которой препятствуют свободному изменению размеров других, то в таких сложных устройствах тела неизбежно появятся механические напряжения. В этом случае энергия внешних воздействий преобразуется в потенциальную энергию упругих деформаций — в механическую.

СТРУКТУРНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ

Напряжения, возникающие в телах в процессе их структурной перестройки, называют структурными. Они представляют собой своеобразную меру отклонения систем от состояния термодинамического равновесия — от такого структурного состояния, которое полностью соответствует внешним условиям.

Как уже отмечалось, тела с неоднородным строением являются системами, способными преобразовывать энергию различных видов в механическую. Но насколько часто подобные тела встречаются?

Таковы почти все реальные твердые тела. И любые процессы, протекающие в этих телах, способны возбуждать в них структурные напряжения. Следовательно, эти напряжения не какая-то экзотика, а фундаментальная особенность существования твердых тел.

Технологам и материаловедам хорошо известно, что структурные напряжения могут существенно ухудшить качество материалов — резко понизить их прочность, повысить склонность к разрушению. Расстрескивание кирпича и керамики при обжиге, разрушение стволов артиллерийских орудий, охрупчивание брони, коррозионное растрескивание, взрывы химических реакторов, коробление и самопроизвольные взрывы стального проката, разрушение сварных конструкций, радиационное разрыхление материалов — далеко не полный перечень, дающий представление о масштабах этой «технологической чумы», поражающей разные области техники на протяжении всей истории ее развития. И все эти явления обусловлены одной причиной — появлением структурных напряжений в материалах в ответ на внешние воздействия.

Геологическая среда отличается от искусственных материалов еще большей неоднородностью, ярко выраженной на всех уровнях ее структурной организации. Она точно так же реагирует на внешние воздействия появлением структурных напряжений. Однако принято считать, что в геологии

эти напряжения существенной роли не играют.

Мнение это основано на том, что большинство естественных процессов, которыми могли бы, в принципе, возбуждаться напряжения, развиваются слишком медленно, так что напряжения успевают релаксировать по мере их появления. Эти упрощенные представления о процессе релаксации явно противоречат последним данным о том, что значительные напряжения могут возбуждаться и при весьма медленном течении геологических процессов³.

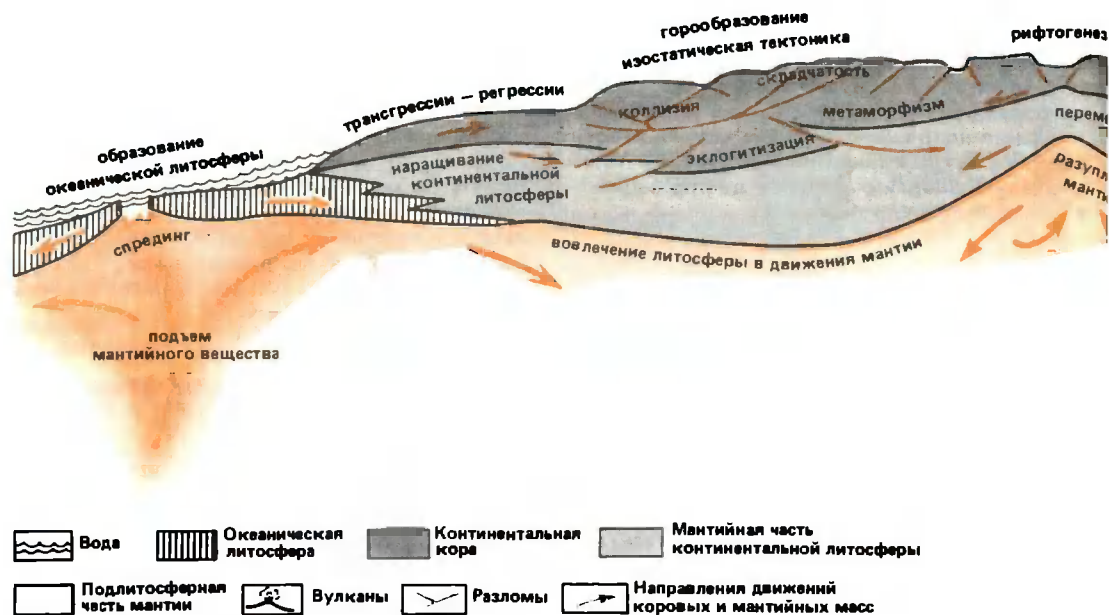
ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ КАК КОМПЛЕКС ПРОЦЕССОВ

При изменении хотя бы одного из внешних параметров, характеризующих состояние какого-то объема геологической среды (температуры, давления и т. д.), в нем возбуждается не один, а множество связанных между собой процессов.

Вот, например, некоторые процессы, которые могут протекать в геологической среде, если давление в том или ином ее объеме по каким-либо причинам уменьшается. Прежде всего, последует механическое расширение вещества, отчасти упругое, а отчасти за счет растрескивания, разуплотнения породы. При уменьшении давления понизится температура плавления вещества, и, если порода была близка к точке плавления, она расплавится и ее объем резко возрастет (скажем, объем силикатов в расплаве примерно на 20 % больше, чем в твердой фазе). Снижение давления повлечет за собой окислительные реакции, приводящие к уменьшению плотности вещества и выделению тепла, которое, в свою очередь, вызовет тепловое расширение породы. Кроме того, падение давления будет сопровождаться полиморфными и фазовыми изменениями вещества с тенденцией к образованию структурных модификаций с менее плотной упаковкой молекул и атомов.

Направленность этих процессов отнюдь не хаотична! Все они, и вместе и порознь, направлены на то, чтобы упаковка структурных элементов системы на всех уровнях ее организации стала бы менее плотной. И каждый из этих процессов, протекая в неоднородной среде, ведет к разным по величине изменениям ее структурных

³ Пономарев В. С. Парадоксы релаксации напряжений в горных породах // Природа. 1985. № 5. С. 53—61.



Пространственное распределение основных тектонических процессов. В действительности они не изолированы, как на данной схеме, а образуют множество взаимосвязей.

элементов и тем самым — к появлению структурных напряжений.

Вещество в любом объеме геологической среды не различает природы действующих на него напряжений, а реагирует на их сумму. Поэтому естественное поле напряжений имеет несколько составляющих, возбуждаемых самыми разными процессами, хотя, конечно, вклад того или иного процесса может быть различным.

Объем среды, в котором замыкается каждая единичная система структурных напряжений, сопоставим с размерами системы структурных элементов, эти напряжения возбуждающих. Так, единичные системы напряжений, возникающих при внедрении примесных атомов в чужеродные кристаллические решетки, имеют размеры порядка атомных. Микроскопические размеры имеют системы напряжений, возбуждаемых при разных изменениях величины смежных минеральных зерен. Соответственно системы напряжений, возникающих в результате взаимодействия более крупных структурных единиц — блоков, слоев и крупных массивов пород, замыкаются в областях, отвечающих их размерам.

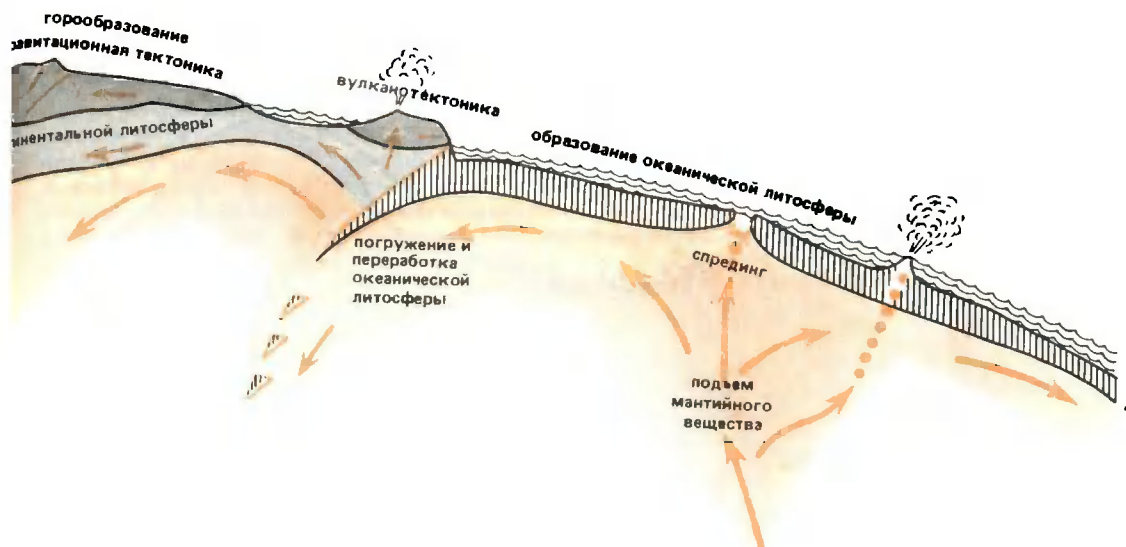
В технике эта особенность структурных напряжений положена в основу классификации, в которой различают напряжения

I, II и III рода, т. е. напряжения, единичные системы которых замыкаются на уровне макро-, микро- и субмикроскопических элементов структуры. Но в науках о Земле мысль о том, что структурные напряжения могут возбуждаться на любых уровнях геологической среды, до недавнего времени ясно не осознавалась.

Такой подход к геологическим объектам приводит к представлению о сложном строении тектонических систем. Каждая из них состоит из множества подсистем, отличающихся друг от друга и «по горизонтали» (при одном масштабе напряжения возбуждаются разными процессами), и «по вертикали» (подсистемы соответствуют разным уровням структурной организации вещества). Благодаря этому каждая тектоническая система достаточно индивидуальна. И вместе с тем, наряду с другими тектоническими системами своего уровня, она входит как структурный элемент в тектоническую систему более высокого ранга.

ГЛОБАЛЬНАЯ ТЕКТОНИЧЕСКАЯ СИСТЕМА

Подобная система, как ясно из названия, объединяет такие тектонические процессы, при которых возникающие структурные



напряжения уравниваются в масштабе всей планеты или, по меньшей мере, ее внешних оболочек — мантии и коры. Первоначальный вариант концепции такой системы, сформулированный в середине 60-х годов, известен как тектоника литосферных плит. Современная геологическая наука, приняв мобилистскую сущность тектоники плит, дополнила ее изучением ряда процессов и явлений. Речь идет прежде всего о разном характере деформаций и нарушений на разных уровнях континентальной и океанической литосферы, о значительных минеральных и фазовых преобразованиях вещества, обуславливающих это различие.

Описание глобальной тектонической системы по логике вещей следует начать с океанических рифтовых зон, где за счет внедрения глубинного мантийного вещества формируется новая литосфера, которая затем медленно перемещается к континентам. По последним данным, на разных уровнях литосферы такое перемещение вызывает неодинаковые деформации и, возможно, происходит с разной скоростью⁴.

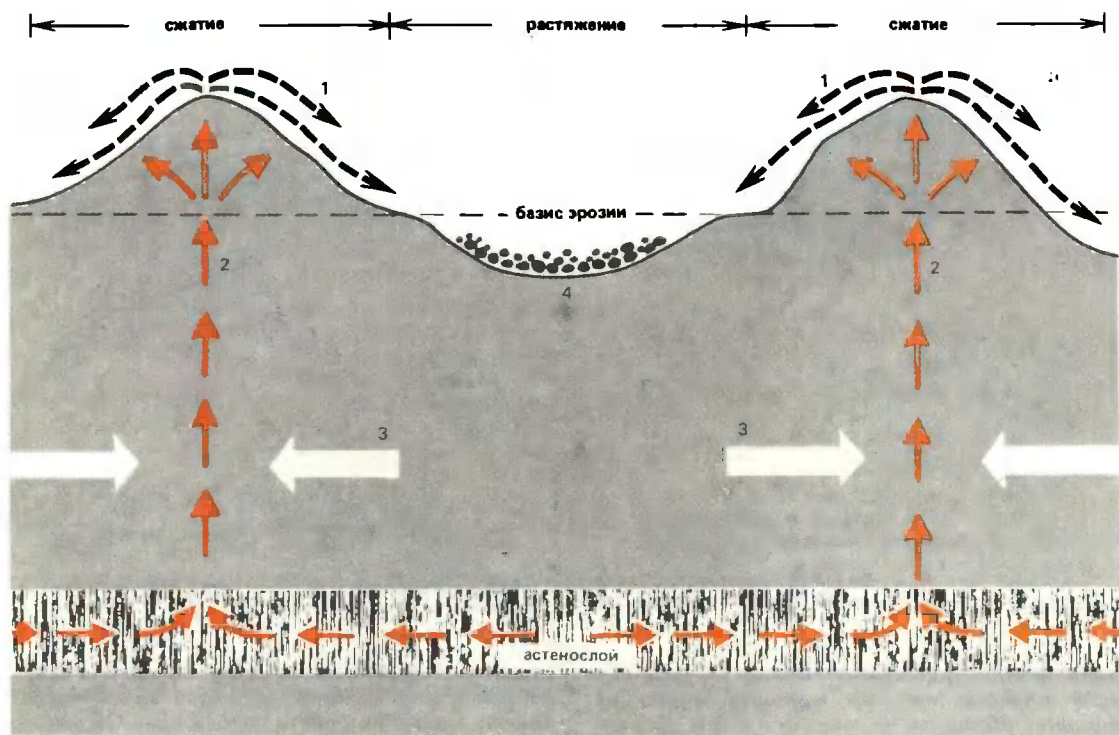
У границ с континентами и на их окраинах в латеральное (близкое к горизонтальному) перемещение океанической литосферы вовлекаются прилегающие континен-

тальные массы, и, по всей вероятности, континентальная кора движется здесь медленнее мантийной части литосферы. Об этом свидетельствует, в частности, разница между скоростями сближения Индостана, Аравии и более северных районов Евразии, подсчитанными по новейшим деформациям и смещениям на земной поверхности, и скоростями движения земной коры и верхней мантии северной части Индийского океана, подсчитанными по полосовым магнитным аномалиям⁵. Есть и другие косвенные свидетельства того, что скорость горизонтальных перемещений в мантийной части литосферы больше, чем у земной поверхности. В этом смысле блоки верхней части континентальной коры ведут себя подобно многочисленным льдинам на реке в начале ледохода: хотя они и перемещаются по течению, но из-за столкновений движутся медленнее.

Явление, состоящее в том, что разные горизонты литосферы деформируются по-разному и могут двигаться с разными скоростями, А. В. Пейве назвал тектонической расслоенностью литосферы. Наиболее полно она выражена в тех местах, где встречные движения в глобальной тектонической системе приводят к коллизии, т. е.

⁴ Пущаровский Ю. М., Ельников И. Н., Перфильев А. С. // Геотектоника. 1985. № 5. С. 3—5.

⁵ Пейве А. В., Трифонов В. Г. Мобилизм и тектоническая расслоенность литосферы // Природа. 1981. № 8. С. 2—9.



Механизм изостатической компенсации эрозионно-аккумулятивного перемещения веществ на земной поверхности. При изостазии потеря массы горными сооружениями за счет выветривания (1) и приращение массы в соседних впадинах за счет отложения этих продуктов (4) уравнивается перетеканием вещества в астенослое; поступление вещества под разрушаемые горные сооружения (2) частично восстанавливает их высоту. Кроме того, некоторое приращение высоты достигается за счет разуплотнения вещества в его восходящих потоках. Соответственно, отток вещества от впадин и его уплотнения при погружении вызывают их углубление. Компенсирующие глубинные потоки вещества (3) перемещают залегающие на них горные породы. Благодаря этому в горных областях создаются горизонтальные силы сжатия, а в соседних впадинах — растяжения. Таково действие изостатического механизма. Однако реальная картина сложнее: напряженное состояние определяется действием как глобальной, так и локальных тектонических систем.

столкновению и сжатию континентальной литосферы.

Примером может служить Тянь-Шань-Памиро-Гималайская область сближения Индостана с Евразией. Здесь происходит сжатие горных пород, неравномерное на разных уровнях литосферы. В верхней части коры оно проявляется в образовании горизонтальных и наклонных срывов, из-за перемещения по которым толщи пород сминаются в складки и перекрывают друг друга. В результате общая мощность коры возрастает до 70—80 км.

Нижние горизонты утолщенной коры частично плавятся, что приводит к образованию гранитов и высокотемпературной переработке (метаморфизму) вышележащих пород. Остаточные продукты плавления, обедненные легкоплавкими соединениями, могут со временем переходить в более

плотные модификации с компактной структурой и тем самым приближаться по физическим свойствам к породам мантии. Один из таких процессов — эклогитизация, т. е. переход пород базальтового состава в эклогиты, где часть породообразующих минералов замещается таким плотным минералом, как гранат.

По мере удаления от области максимального сжатия горных масс (например, в Западном и Центральном Китае, Монголии, на юге Сибири) характер новейших деформаций верхнего слоя коры меняется: структуры сжатия уступают место горизонтальным сдвигам, т. е. более экономной с энергетической точки зрения форме перемещения горных масс⁶. На активных кон-

⁶ Трифонов В. Г. // Геотектоника. 1987. № 1. С. 25—38.

тинентальных окраинах, типичных для периферии Тихого океана, сосредоточены сейсмофокальные зоны — полосовые скопления очагов землетрясений, уходящие на глубину в сотни километров. Здесь океаническая литосфера погружается в мантию. Аномалии скоростей сейсмических волн, связанные с погружением, прослеживаются до 150—200 км, а глубже отмечаются фрагментарно. По-видимому, на глубине около 200 км «холодное» вещество океанической литосферы в значительной мере теряет свою обособленность. Ее материал частично плавится и поднимается, пополняя литосферу активных континентальных окраин. Происходит и непосредственное механическое «затягивание» океанической коры под островные дуги и активные окраины континентов.

Таким образом, эти континентальные окраины оказываются не только и, может быть, не столько зонами погружения океанической литосферы в мантию, сколько областями ее тектомагматической переработки (причем переработанная литосфера в дальнейшем перемещается под континенты). С такими предполагаемыми перемещениями, особенно значительными в глубокой, мантийной, части литосферы, могут быть связаны растяжение коры и образование краевых морей, а также скупивание и дробление литосферных масс и формирование горных поясов на больших пространствах северо-востока Азии и запада Северной и Южной Америки.

Движение литосферных масс в направлении континентов приводит к их сжатию. Об этом говорят и утолщение континентальной литосферы до 150 км и более, и доказанное П. Н. Кропоткиным преобладание в континентальной коре сжимающих напряжений⁷. Глубинные части утолщенной континентальной литосферы попадают в условия высоких температур и давлений, где постепенно приобретают свойства нижележащей мантии, смещаясь с ней и вовлекаются в ее перемещения.

Мы не знаем достоверно, какими перемещениями и изменениями в мантии компенсируются в рамках описанной системы наращивание литосферы в одних местах (преимущественно в океанических рифтовых зонах) и возвращение ее в мантию — в других (под континентами и их окраинами). Простейшей моделью такого процесса являются конвективные ячейки, представление о которых взято из физики. Мы не хотели

бы излагать многочисленные модификации этой модели. Однако в соответствии с приведенными выше данными нам представляется, что локальные замкнутые ячейки в мантии едва ли возможны и компенсация латеральных перемещений литосферного вещества на глубине осуществляется путем перераспределения мантийных масс в масштабе всей планеты.

ЛОКАЛЬНЫЕ ТЕКТОНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Перемещение вещества и его преобразование в рамках глобальной тектонической системы нарушают условия термодинамического равновесия в отдельных областях и тем самым приводят в действие локальные тектонические системы.

К локальным можно отнести, в частности, системы вулкано-тектонических процессов, определяющих образование кальдер, кратеров, трещин на лавовых полях и других структур, характерных для вулканических областей. Эти структуры обусловлены проседанием пород над опустошенными магматическими очагами, взаимодействием продуктов извержений с водой или льдом на земной поверхности и остыванием извергнутой лавы.

Локальными являются и системы гравитационной тектоники, обусловленные перемещением пород под действием силы тяжести. В простейшем случае это оползни. Более сложные формы — диапировые поднятия. Они возникают, например, из-за того, что относительно легкие и пластичные массы (соль, гипс и т. п.) оказываются перекрыты более тяжелыми породами. Как проявление гравитационной тектоники А. В. Лукьянов описал также перетекание пластичных пород, раздавливаемых весом лежащих над ними толщ.

Существуют локальные тектонические системы, обусловленные изменением фазового или минерального состава пород, иногда сопровождающимся выносом или поступлением вещества. Они проявляются, например, в сводообразных изгибах поверхности над формирующимися гранитными телами. При уплотнении глубинных пород (эклогитизация и другие преобразования) земная поверхность над ними может проседать. Таким путем, возможно, возникли Поннонская впадина в Венгрии и Лутская в Иране.

Одной из наиболее распространенных является система изостатической тектоники. Рассмотрим эту локальную систему более подробно. Земля близка к состоянию изо-

⁷ Кропоткин П. Н. Новая геодинамическая модель Земли // Природа. 1989. № 1. С. 70—80.

стазии, т. е. к гидростатическому равновесию, что выражается в равенстве наземных и подземных масс, приходящихся на единицу ее поверхности. Вместе с тем экзогенные факторы, среди которых всего значительнее деятельность воды и льда, стремятся сnivelировать рельеф Земли, непрерывно перераспределяя массы разрушенного материала и тем самым нарушая равновесие. Стало быть, в недрах Земли существует механизм компенсации таких нарушений, который позволяет достаточно быстро устранять возникающие отклонения.

Схему изостатической компенсации можно сравнить с системой сообщающихся сосудов, где их роль выполняют «нагруженные» или, наоборот, теряющие массу блоки литосферы, а роль канала между ними — утратившие прочность слои, по которым перемещается вещество. Один из «каналов» известен сравнительно давно. Это астеносферный слой пониженной вязкости, подстилающий литосферу. Дальнейшее изучение тектонической расслоенности привело к представлению о множественности таких слоев, расположенных не только под литосферой, но и на разных уровнях коры.

Глубина, на которой срабатывает механизм изостатической компенсации, зависит как от особенностей строения литосферы, так и от размеров структур, теряющих или приобретающих дополнительную массу. Так, эрозия складов в Центральной Сибири поперечником до 5 км компенсируется перетеканием пластичных гипсоносных толщ на глубине 2—3 км. Астенослой, выделенный геофизиками под хребтом Каратегин в Южном Тянь-Шане, находится на глубине около 10 км. Изостатическая компенсация более крупных (десятки километров в поперечнике) хребтов и межгорных впадин Тянь-Шаня осуществляется в нижней части коры. Наконец, изостатический рост освободившегося от ледниковой нагрузки Балтийского щита — гигантской структуры поперечником в сотни километров — обусловлен перетеканием вещества под литосферой⁸.

В общепринятых моделях изостазии не учитывается, что вещество, вовлеченное в круговорот, непрерывно попадает в новые термодинамические условия. Например, движение в восходящем потоке сопряжено с последовательным уменьшением давления, а значит, и плотности вещества. Уже одно механическое разуплотнение за счет раскры-

тия пор и микротрещин в горной породе может увеличить ее объем примерно на 5 %. Некоторые реакции (такие, как замещение оливина серпентином) способны увеличить объем породы на десятки процентов. Между тем несложные расчеты⁹ показывают, что уменьшение плотности вещества в 100-километровом слое всего на 0,2 % позволяет горному сооружению вырасти на 1 км.

Аналогичные процессы, но с противоположным знаком, происходят при нисходящем движении: вещество не просто погружается, а испытывает многообразные превращения, ведущие, в конечном счете, к его уплотнению. Таким образом, преобразование вещества в процессе изостатического круговорота усиливает структурообразующую роль локальной тектонической системы.

В системе изостатической тектоники своеобразно энергетическое обеспечение. Глобальная тектоническая система питается эндогенной энергией планеты, прежде всего продолжающейся дифференциацией глубинного вещества, выводящей к поверхности разогретые относительно легкоплавкие продукты, которые к тому же обогащены радиоактивными веществами, служащими дополнительным источником энергии. От этих источников питается и большинство локальных тектонических систем. В системе же изостатической тектоники вещество перераспределяется вблизи земной поверхности, что в значительной мере зависит от поступления на Землю солнечной энергии. Тем самым данная система оказывается формой (не единственной, но наиболее очевидной) вовлечения солнечной энергии в тектонические процессы.

Переходя от одного структурного уровня (масштаба) геологической среды к другому, рассматривая ее при растущем увеличении, мы находим все новые и новые, меньшие по размерам и проще устроенные тектонические системы.

Если по той или иной причине глубинное вещество окажется вблизи земной поверхности, т. е. при меньшем давлении, то несоответствие его структуры новым внешним условиям может породить столь значительные структурные напряжения, что вещество не сможет их выдержать. Начнется его разрушение. Например, давно известны случаи самопроизвольного разрушения пород,

⁹ Пономарев В. С., Тейтельбаум Ю. М. Особенности строения тектоносферы, связанные с процессом восстановления изостазии, и сейсмичность // Результаты комплексных геофизических исследований в сейсмоопасных зонах. М., 1987. С. 181—198.

⁸ Артюшков Е. В. Геодинамика. М., 1979.

извлеченных из шахт. Похоже, но гораздо медленнее возникают напряжения в породах, освобождаемых от нагрузки постепенно разрушающейся вышележащей толщи. В результате образуются крупные системы трещин, которые расчленяют породы на блоки, так что в целом они приобретают структуру, похожую на кирпичную кладку. Такие трещины можно видеть почти в каждом обнажении скальной породы.

Своеобразные структурообразующие эффекты вызываются и локальными полями тектонических напряжений, возникающими на границе областей с разными упругими свойствами. Так, горные удары в шахтах — внезапные взрывообразные разрушения горных выработок — обычно начинаются на границе разрабатываемого пласта и вмещающей породы. (Кстати, и землетрясения также часто возникают в зонах, где смыкаются области с разной историей развития, разным составом и разными физическими свойствами.)

Эту иерархическую лестницу можно продолжить, и при увеличении масштаба

наблюдения в фокусе будут появляться тектонические системы все меньших размеров, вплоть до микроскопических.

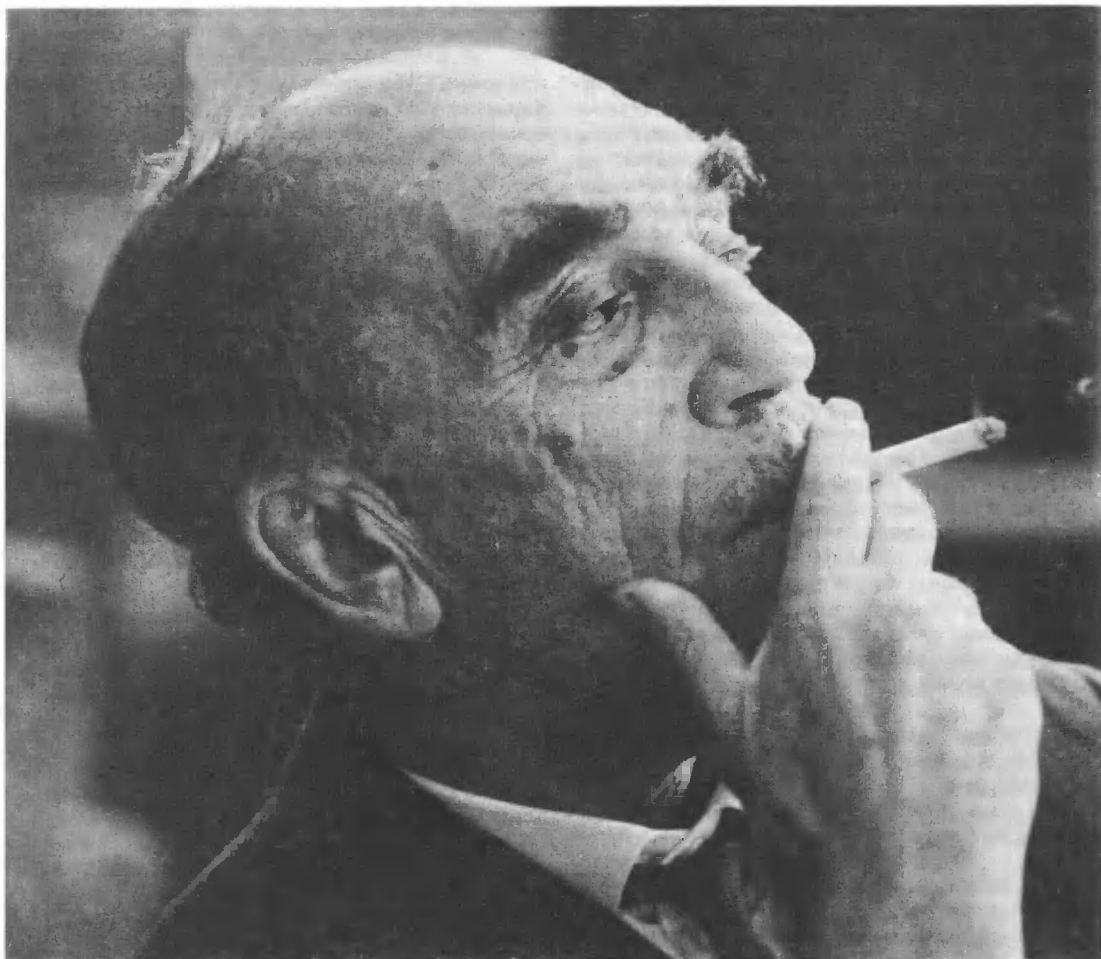
Таким образом, реальный геологический объект с точки зрения системного подхода — это часть целого, проявление множества разнородных факторов. В полной мере это относится и к структуре поля тектонических напряжений, представляющего собой сумму множества энергетических преобразований, протекающих на всех уровнях организации геологической среды.

В заключение остается добавить, что изучение тектонических процессов в их взаимной обусловленности «нацеливает на ассимилирование всего арсенала геологических и геофизических знаний и тем самым ведет к раскрытию истинных тектонических закономерностей как региональных, так и глобальных»¹⁰.

¹⁰ Пущаровский Ю. М. // Геотектоника. 1986. № 1. С. 6.

Н. Н. Семенов

и химия XX века



Н. Н. Семенов. 1965 г.

Большое, как известно, видится на расстоянии, и хотя роль Николая Николаевича Семенова в научно-технической революции XX в. была очевидна при его жизни, нам еще предстоит тщательно и кропотливо изучать детали его творчества, внутренние ходы мысли, творческие озарения — все это не только крайне поучительная глава истории науки, но и реальное подспорье на будущее, помогающее наметить пути и перспективы дальнейшего развития химии и пограничных с ней областей физики и биологии.

В предлагаемой вниманию читателя статье предпринята попытка анализа научного творчества Н. Н. Семенова. Статья написана по материалам доклада, сделанного на первых Семеновских чтениях, которые с 1988 г. станут ежегодно проводиться в Институте химической физики имени

Н. Н. Семенова АН СССР и приурочены ко дню рождения (15 апреля) основателя и бессменного директора этого института на протяжении 55 лет.

Выбор докладчика для первых чтений был очевидным и бесспорным: член-корреспондент АН СССР А. Е. Шилов — прямой продолжатель основных направлений творческой деятельности Н. Н. Семенова, виднейший представитель младшего поколения его непосредственных учеников, ближайший его соратник на протяжении последних 15—20 лет. Среди их совместных научных достижений — открытие (с группой сотрудников) разветвленных цепных реакций с энергетическим разветвлением и ряд важных работ по металлокомплексному катализу, в том числе обнаружение и исследование реакций фиксации азота, являющихся близкими аналогами его биологической фиксации (Государственная премия СССР 1982 г.).

Думается, статья может быть интересна не только новыми выразительными штрихами к портрету Н. Н. Семенова, но и как характеристика научного творчества всей семеновской школы.

Академик В. И. Гольдманский,
директор Института химической
физики им. Н. Н. Семенова АН СССР

НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ СЕМЕНОВ (1896—1986) при жизни был признан выдающимся ученым как многочисленными учениками, так и коллегами у нас в стране и за рубежом. Он удостоился множества наград, включая Нобелевскую премию по химии (кстати, единственную у нас в стране). Не раз по отношению к нему я слышал эпитет «великий» (в том числе и от хорошо его знавших иностранных ученых), и, мне кажется, он был вполне достоин этого определения.

Вместе с тем его вклад в науку оценивается слишком односторонне. Первое, что вспоминают, говоря о Семенове, это, конечно, цепные и, особенно, разветвленно-цепные реакции. Слов нет, открытие им разветвленно-цепных реакций и развитие им и его учениками учения о цепных реакциях — замечательное достижение советской науки. Однако обычно не учитывается, что Семенов фактически ввел в химию новый подход — химико-физический, воплощенный в науке, называемой химической физикой.

Этот подход значительно отличается от традиционного в химии эмпирического, по своей сути, подхода, основанного на гигантском опыте химиков, их интуиции и использовании всякого рода правил.

В то же время химическая физика в понимании Семенова, по крайней мере в начале своего становления, принципиально отличалась и от физической химии, возникшей задолго до начала XX в.

Химико-физический подход значительно опередил свое время и только в наши дни осознается как мощный инструмент широкими кругами химиков.

Значение вклада академика Семенова в науку требует всестороннего и внимательно-

го исследования. При этом, как и в других подобных случаях, задача не в возвеличении его как ученого и как человека, а именно в глубоком анализе, причем не только прозрений, но и ошибок, которые, учитывая масштаб его личности, не менее поучительны. Его многогранные интересы, по-видимому, требуют участия в этом анализе целого ряда авторов, особенно его учеников, работавших с ним при его жизни. Настоящая статья не претендует на полноту в решении этой задачи. Скорее, это попытка отражения отдельных, хотя и немаловажных сторон его личности и деятельности на четырех различных этапах его творческой жизни.

ИСТОРИЯ ОДНОГО ПОСВЯЩЕНИЯ

Тем, кто был знаком с Николаем Николаевичем, хорошо известно (по его собственным рассказам), что в детские годы он увлекался химией, затем понял, что для решения важнейших химических проблем понадобятся глубокие знания по физике и стал ее изучать, поступив в 1914 г. на физический факультет Петроградского университета, а потом снова вернулся к химии, чтобы выполнить поставленную еще в юности «сверхзадачу». Признаться, у меня было несколько скептическое отношение к этой версии о запрограммированной еще в юности научной судьбе. Казалось, все можно объяснить значительно проще. Не удивительно, что мальчиком Семенов мог увлекаться химическими опытами, особенно эффектными, сопровождающимися воспламенением и взрывами. Кто из нас не увлекался подобными занятиями? Затем под чьим-нибудь влиянием или сам мог сменить свое увлечение, стать физиком, а впоследствии, открыв

разветвленные цепные реакции (как известно, случайно), естественно, стал их изучать и так вернулся к химии. Что касается возможного влияния, то он никогда не скрывал, что наряду с его «очным» учителем А. Ф. Иоффе у него были и заочные — Я. Вант-Гофф и С. Аррениус.

Его классическая книга «Цепные реакции» посвящена памяти этих двух ученых¹. «С ранней юности моей мечтой было посвятить свой первый большой труд двум моим великим заочным учителям, книги которых заставили меня заняться физикой со специальной задачей научиться ее применять к химическим проблемам», — пишет он в предисловии. Итак, книги Вант-Гоффа и Аррениуса оказали на него решающее влияние. Что же это за книги и почему так велико было их воздействие на молодого Семенова? Что касается Вант-Гоффа, то ответ прост. Речь идет о книге «Очерки по химической динамике», изданной в Голландии в 1884 г. на французском языке. В ней автор впервые дал основы химической кинетики. Семенов написал предисловие к русскому переводу этой книги, изданному лишь в 1936 г. Оно отражает высочайшую оценку книги Вант-Гоффа: «*Études de dynamique chimique*» — это одна из тех книг, которые, как вехи, отмечают главный путь развития человеческого знания... это великая книга, на полстолетия вперед намечившая путь развития кинетики»². Мне не раз приходилось слышать от Семенова его оценку тех или иных мест этой книги. Даже его нелюбовь к изучению иностранных языков не помешала ему познакомиться с ней и ощутить ее влияние.

В отношениях Аррениуса ответ тоже, казалось бы, ясен. Как известно, Аррениус ввел важнейшее для кинетики понятие энергии активации, а также уравнение, названное его именем, которое связывает скорость реакции с температурой. Но Семенов имеет в виду книги обоих ученых. У Аррениуса это, вероятно, «Теория химии», изданная в Швеции в 1906 г. по лекциям, прочитанным в США, и переведенная на русский язык уже в 1907 г.³ Я неоднократно слышал от Николая Николаевича, что в своей книге Аррениус советует тем, кто в XX в. захочет заняться химией, сначала изучить физику, ибо новая

химия будет базироваться на достижениях физики и только физика может дать ответ на кардинальные химические вопросы. «Из лекций Аррениуса, изданных в то время, — пишет он, — я понял, что прогрессивные химики ждут очень много от применения в химии новых физических представлений, и тогда я твердо решил, что хочу участвовать в становлении этой химии будущего и что для этого я должен сперва выучиться физике, чтобы потом применять ее в химии»⁴.

При подготовке к одному из докладов о жизни и творчестве Семенова я решил найти у Аррениуса эту рекомендацию. К удивлению, ничего подобного в «Теориях химии» я не обнаружил. Скорее наоборот, Аррениус выражает уверенность, что новые теории в химии могут возникнуть только на основе прежних теорий, т. е. из химии же. В предисловии к своей книге он пишет: «Многие, по-видимому, полагают, что новейшие научные данные тем ценнее, чем менее они зависят от прежних теорий в области химии. По моему мнению, это неправильно. Тот факт, что новые теоретические данные выросли на почве прежних общепризнанных идей, и является залогом их достоверности. В своих «Теориях химии» я попытаюсь показать, что новейшие отделы теоретической химии являются логическим и необходимым выводом из прежних учений по тому пути, по которому химия в качестве точной науки двигалась вперед в течение последнего столетия»⁵.

Я решил, что, может быть, Николай Николаевич имел в виду другую книгу Аррениуса, однако и в других его книгах, переведенных на русский язык, я не нашел ничего похожего на рекомендацию начинающему химику сначала заняться физикой. Будучи недавно в Швеции, я по совету моих шведских коллег специально познакомился с профессором Л. Тансё, который интересуется историей науки и прекрасно знает множество подробностей из жизни Аррениуса. И он не помнил, чтобы Аррениус когда-нибудь рекомендовал изучать физику тем, кто хочет хорошо ориентироваться в химии XX в. При этом не осталось сомнений, что речь все-таки идет о «Теориях химии». Я нашел и прямое упоминание об этом в одном из выступлений Семенова в 1959 г., в котором он сказал: «Одна из книг Аррениуса — "Теория химии", содержащая лекции, читанные в Калифорнийском университете в Беркли, была мной приобретена, когда

¹ Семенов Н. Н. Цепные реакции. М., 1934. За это посвящение автор в годы «борьбы с космополитизмом» подвергался демагогической критике со стороны некоторых «ученых» оппонентов, которые обвиняли его в недостаточном патриотизме.

² Семенов Н. Н. Цепные реакции. М., 1986. С. 388—394.

³ Аррениус С. Теории химии. СПб, 1907.

⁴ Семенов Н. Н. Наука и общество. М., 1981. С. 373.

⁵ Аррениус С. Цит. соч. С. III.

мне было 15 лет, и сыграла существенную роль в моей жизни»⁶.

Тогда я решил попытаться прочитать книгу Аррениуса глазами 15-летнего юноши, и вот к какому выводу я пришел. Аррениус не сделал в своей книге вывода о будущей роли физики в химии XX в., однако он хорошо знал не только химическую литературу, но и современные ему физические работы, имеющие отношение к химии. Читая его книгу, Семенов сам сделал вывод, что настоящее понимание глубоких проблем химии может прийти только из физики. Возьмем, например, 11 главу о теориях в области химии. Аррениус традиционно начинает со взглядов Архимеда и Эмпедокла, Платона и Аристотеля, рассматривает гипотезу Демокрита и, наконец, переходит к атомистике Дальтона (закон кратных отношений). Далее излагается дискуссия Пруста и Бертолле по поводу закона постоянства состава, подтверждающего атомную теорию. Ученые, участвующие в дискуссии, — химики. Английский химик, точнее биохимик, Праут высказывает смелую гипотезу, что атомы всех элементов состоят из атомов водорода. Химики активно занимаются проверкой этой гипотезы. С начала XX в. в дискуссию включаются физики. Аррениус упоминает Резерфорда и Содди, Рамсея и Болтвуда. Он пишет: «Точные исследования Стасса, а в последнее время Ралея и др., показали, что атомные веса хлора и кислорода не могут быть согласованы с гипотезой Прюта»⁷.

На этом глава, написанная, как уже упоминалось, в 1906 г., заканчивается. Мы-то знаем теперь, что атомные веса природных элементов далеко не всегда целочисленны из-за существования различных изотопов, что существует дефект массы, и много другого о строении атома. Аррениус в 1906 г. и читавший его книгу в 1911 г. Семенов, конечно, не могли этого знать. Но Семенов, по-видимому, понял, что эстафета уже перешла к физикам и констатация, что гипотеза Праута неверна, не решение проблемы. Проблема строения атомов, периодичности их свойств в зависимости от атомного веса остается, и решить ее могут только физики — «чистым» химикам здесь делать уже нечего. Таким образом, он сам за Аррениуса сделал этот абсолютно правильный вывод, но был уверен, что ему его подсказал Аррениус. Впрочем, зачем нам думать, что Аррениус не понимал того, что понял, прочитав книгу, молодой

Семенов? Может быть, он и сам думал так же, но не сформулировал эти мысли в своей книге. Имеющий уши да слышит! Семенов «услышал» в книге Аррениуса то, чего там высказано не было, и с этих пор принял решение «сперва выучиться физике, чтобы потом применять ее к химии».

Итак, версия о «сверхзадаче» не только получает подтверждение, но мы видим, что уже в юношеские годы он провидчески осознает важность физического подхода к химии и сознательно избирает физику своей первой специальностью, не теряя интереса к химии. Есть подтверждение непреходящего интереса к химии Семенова в те годы, когда он уже занимался физикой. С 1918 по 1920 г. он преподавал в Томском технологическом институте и университете. Несколько лет назад профессор Томского политехнического института Г. Н. Ходалевич, к сожалению недавно скончавшийся, передал нам бережно сохраненную им анкету, которая распространялась среди преподавателей, участвовавших в научном семинаре.

«Н. Н. Семенову

1. Согласились ли бы Вы сделать сообщение о Ваших текущих научных работах? (Нет ответа.)

2. На какие темы вообще вы нашли бы для себя возможным сделать сообщение? Теория квантов.

3. Какие вопросы (темы), по Вашему мнению, желательно было бы осветить на субботних сообщениях?

1) Теория Вернера комплексных соединений.

2) О сольватах.

Н. Семенов»

Из ответов видно, что Семенова продолжают интересовать химические проблемы, актуальные не только для того времени.

ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ И ХИМИЧЕСКАЯ ДИНАМИКА

Оказавшись в 1920 г. снова в Петрограде, Семенов встретился со своим университетским учителем А. Ф. Иоффе и вскоре возглавил лабораторию электронных явлений в руководимом Иоффе Физико-техническом институте. Вначале он занимается чисто физическими явлениями. Ведь физика стала его специальностью. «И вот тут, — пишет он, — начался химический крен»⁸. Совместно со своими учениками и — сотрудниками В. Н. Кондратьевым и Ю. Б. Харитоном он

⁶ Семенов Н. Н. Наука и общество. С. 411.

⁷ Аррениус С. Цит. соч. С. 16. (Написание имени дано по русскому переводу книги.)

⁸ Семенов Н. Н. Наука и общество. С. 373.



Н. Н. Семенов, А. Е. Шилов. Институт химической физики АН СССР. Конец 70-х годов.

пишет небольшую книжку «Электронная химия»⁹, где с позиций физики того времени авторы пытаются объяснить химические явления.

Из предисловия к книге, написанного Иоффе, следует, что учитель и ученик были вполне единодушны в понимании будущей роли физики в развитии химии. «С самого начала появления теории строения атома Бора,— пишет Иоффе,— было ясно, что она со временем будет положена в основание не только спектроскопии... но и всей химии вообще. (...) Мы еще у самых истоков этого нового течения в химии, так тесно переплетенного с физикой (...) Новые представления должны слиться с выросшими на почве опыта воззрениями современной химии. В результате их синтеза вырастет, быть может, новая химия». Такое впечатление, что Семенов к этому времени уже полностью убедил Иоффе в правильности возникших у него раньше соображений о будущем химии, хотя, конечно, не исключено, что оба независимо пришли к такому выводу.

Видно, что «химический крен» был подготовлен самим Семеновым и нужно бы-

ло совсем немного, чтобы он вернулся к химии.

Таким толчком, вновь обратившим Семенова к химии, стало открытие в его лаборатории разветвленных цепных реакций. «Толчок» оказался довольно сильным, да еще и имел драматическое начало.

Провести эксперимент Семенов поручил Харитону и аспирантке З. Ф. Вальте. Ими были обнаружены загадочные явления: реакция (это было окисление паров фосфора) от практически незаметной переходила в самовоспламенение при ничтожном изменении температуры или давления.

С резкими возражениями выступил М. Боденштейн — виднейший немецкий физикохимик того времени, заявивший, что такие явления невозможны, а наблюдавшиеся эффекты связаны с неправильной постановкой и интерпретацией эксперимента.

Конечно, критика маститого ученого большинству коллег Семенова показалась убедительной. Ему пришлось продумать и поставить новые эксперименты, чтобы убедить всех, и прежде всего себя, в том, что ошибки нет. Он не только с успехом сделал это, но и нашел удивительным результатам объяснение — что и было, по-видимому, главным озарением всей его жизни. Он предположил, что реакция идет цепным

⁹ Кондратьев В. Н., Семенов Н. Н., Харитон Ю. Б. *Электронная химия*. М.; Л., 1927.

путем (такие реакции были уже известны с 1913 г., и именно Боденштейн на примерах реакций водорода с хлором первым сделал вывод, что процесс протекает по цепному механизму). В цепном процессе активная частица — атом или свободный радикал — реагирует с исходной молекулой, образуя молекулу продукта и новую активную частицу, которая снова вступает в реакцию и т. д., пока цепь не погибнет, например, при столкновении активной частицы с другой аналогичной частицей или при адсорбции ее на стенке сосуда.

Если число активных частиц мало и цепи не слишком длинные, то процесс идет с такой малой скоростью, что мы его просто не замечаем. Если же, кроме известных стадий (зарождение цепи, продолжение и обрыв) предположить (как это сделал Семенов) возможность разветвления цепи, т. е. размножения активных частиц, то реакция из практически незаметной может ускориться настолько, что будет восприниматься как воспламенение или взрыв из-за лавинообразного нарастания числа активных центров: все зависит от того, что происходит быстрее — разветвление или обрыв цепи. Это объясняло резкость наблюдаемых переходов. Подобные предельные явления были затем обнаружены и для других реакций.

Итак, в лаборатории Семенова неожиданно открыта целая новая научная область, причем на примерах таких известнейших реакций, как воспламенение гремучей смеси, окисление фосфора, окиси углерода и др. В этих реакциях для перехода к взрывным скоростям выделение тепла несущественно. Но есть и другие случаи, когда ускорение реакции и переход ее во взрыв вызываются именно тепловыделением — это так называемый тепловой взрыв. Для него Семенов также дал теоретическое обоснование.

Естественно, что с этого времени главным для него стало изучение новых явлений, которые наблюдались при разветвленных цепных реакциях, и развитие теории цепных реакций, теплового взрыва и распространения пламени. Число известных цепных реакций все увеличивалось, область их применимости расширялась и включала все новые и новые типы превращений. А может быть, все или большинство химических реакций являются цепными? Безусловно, в то время Семенов (как почти всякий ученый, открывший новую научную область) преувеличивал значение цепных реакций, что сказалось и на тематике созданного им в 1931 г. Института химической физики.

При этом он не мог не видеть, что для первоначальной формулировки основ-

ных положений теории цепных и разветвленных цепных реакций не нужны были электронные представления, созданные физикой XX в., которые, по идее Семенова, должны были оплодотворить химию. Достаточно было принять основные постулаты о высокой реакционной способности атомов и радикалов и ввести наряду с зарождением, продолжением и обрывом цепи еще и ее разветвление. Математический аппарат для построения теории был разработан намного раньше открытия этих реакций.

По-видимому, именно в этот период ему стало ясно существовавшее в то время противоречие. С одной стороны, главное в химии это, несомненно, химическая реакция, превращения одних веществ в другие, с другой — химики практически не знают, да и не пытаются узнать, как это происходит даже в таких простейших случаях, как окисление водорода. Физики же пока не создали теоретические основы динамики химического превращения, так что химикам фактически не на что опереться и они вынуждены эмпирически подбирать условия, обеспечивающие необходимую скорость реакции и выход продукта. Таким образом, для развития химии важно не только перенести электронные представления на строение химических веществ, но (что особенно важно) создать учение о химической динамике, которое почти не изменилось к 20-м годам нашего века со времен Вант-Гоффа. При этом речь идет не об области, лежащей где-то между физикой и химией, а фактически о теоретической основе всей будущей химии¹⁰. Именно в этом смысле Семенов всегда понимал задачу химической физики, и именно здесь, как мне кажется, он наиболее значительно опередил свое время. Все эти мысли четко сформулированы в уже упоминавшейся книге «Цепные реакции», изданной в 1934 г. и недавно переизданной в первоначальном виде.

Особый интерес в самом начале книги (глава 1) представляют примечания, оторые,

¹⁰ Здесь может возникнуть некоторое терминологическое недоразумение. Семенов сам в дальнейшем называл химическую физику пограничной наукой. Однако, говоря об области между физикой и химией, мы можем иметь в виду, с одной стороны, явления, имеющие промежуточный (между физическим и химическим) характер, например поверхностные явления, строение жидких и твердых тел, свойства растворов, проводимость органических и неорганических соединений и т. д. Обычно все это относят к физической химии. С другой стороны, речь может идти о физической сущности химического процесса, когда физика становится инструментом для вскрытия его основных закономерностей, относящихся не к промежуточным явлениям, а к центральной проблеме химии.

по-видимому, автор считал лежащими несколько в стороне от главной темы. В них, например, Семенов, развивая формулу Энгельса: «химия есть физика атомов», дает диалектическое определение современной химии: «Химия есть физика движения атомов во время процессов превращения одних молекул в другие». Здесь также он формулирует пророческий постулат: «Само собой разумеется, что только после решения вопроса о внутреннем механизме элементарных процессов мы сможем реально управлять процессами. Но для того, чтобы решить эту вторую и главную задачу, мы сперва должны решить первую задачу, заключающуюся в классификации типов реакций и установлении общих законов, которым следуют эти типы реакций»¹¹. В этом примечании сформулирована программа химической динамики на десятилетия вперед. Именно в наше время (через 50 с лишним лет после выхода этой книги) мы можем считать первую задачу в принципе решенной и направить наши усилия на решение второй и главной задачи.

Сейчас это ясно многим. Так, в прогнозе развития химии, подготовленном недавно в США, в частности, говорится: «...наступило время для углубления наших фундаментальных знаний о том, как и почему происходят химические изменения. В последние десятилетия достигнуты большие успехи в исследовании динамики реакций на молекулярном уровне — мы надеемся выяснить весь ход химических реакций, включая нестабильные промежуточные образования. В следующие три десятилетия мы станем свидетелями быстрого развития представлений в области химической кинетики подобно достигнутому за предыдущие три десятилетия в понимании молекулярных структур»¹².

Таким образом, мысль Семенова на много лет обогнала свое время. Конечно, в конце 20-х — начале 30-х годов ни состояние теории, ни оснащенность физическими методами не были достаточны для решения сформулированных им задач.

Однако в этом направлении надо было начинать сознательно работать, чтобы быть во всеоружии в нужный момент времени. Несомненно, прогрессивная методологическая направленность ИХФ помогла ему занять лидирующие позиции в ряде областей мировой науки. Сейчас, после смерти Семенова, было бы непростительно утратить эти позиции. К сожалению, основания для опа-

сений есть. Причем это касается не только проблем химической динамики, но и всей советской фундаментальной науки. Вместо необходимых и тщательно продуманных реформ в организации и материальном оснащении науки принимаются подчас скороспелые и непродуманные решения. (Например, обсуждаемый в наши дни перевод фундаментальной науки на хозрасчет быстро привел бы к ее полной гибели.)

Однако обнадеживает то, что при ГКНТ недавно создан Совет по приоритетным направлениям химической науки, призванный выявлять и поддерживать наиболее перспективные научные исследования. Одна из его секций, которой руководит В. И. Гольдманский, занимается химической динамикой, и хочется надеяться, что она внесет свой вклад в развитие одного из важнейших направлений химии, открытого и развитого Семеновым.

ЦЕПНЫЕ РЕАКЦИИ — ЕЩЕ НЕ ВСЯ ХИМИЯ

Аспирантом Н. Н. Семенова я стал осенью 1952 г. К этому времени были созданы и экспериментально обоснованы теории цепных и цепных разветвленных реакций, а также основы теории горения и распространения пламени. Было уже известно, что два типа воспламенения, цепной и тепловой, открытые Семеновым для химических превращений, затем обнаружили и в ядерных реакциях, что, как известно, вызвало колоссальные последствия для всего человечества.

Позади была война, во время которой эвакуированный в Казань институт вел большие работы, направленные на помощь фронту.

Семенов и его ученики продолжали успешно применять концепции цепной теории к различным типам превращений: термическому распаду, окислению, хлорированию. Однако к середине 50-х годов Семенов приходит к заключению, что цепные реакции не охватывают многих важных типов химических реакций. Совместно с В. В. Воеводским он в это время развил цепную теорию гетерогенного катализа, которая оказалась если и применимой, то для очень ограниченного круга объектов. Это была, вероятно, последняя его попытка расширить область применения цепной теории. В это время сотрудники отдела кинетики ИХФ с удивлением наблюдали, как из горячего сторонника цепной теории Семенов превратился почти в ее оппонента. В то время как весь отдел с энтузиазмом продолжал развивать теорию и практику цепных реакций, он все более проявлял свою неудовлетворенность.

¹¹ Семенов Н. Н. Цепные реакции. С. 15—16.

¹² Pimentel D. Opportunities in Chemistry. Washington, 1985. P. 63.



Н. Бор, Н. Н. Семенов и И. Е. Тамм. 11 мая 1961 г.

Это озадачило молодых (и не очень молодых) его учеников. Казалось, мы делали все, что нужно, в соответствии с его научными устремлениями. Однако он постоянно требовал поиска новых путей, отказа от привычных стереотипов, выдвижения новых концепций. В одном из выступлений он заявил даже, что теория цепных реакций практически завершена и принципиально нового в этой области ждать нечего. Как выяснилось в дальнейшем, он ошибся. В частности, в 1963 г. был открыт новый обширный класс цепных разветвленных реакций, с так называемым энергетическим разветвлением. Но эта ошибка легко объяснима. Больше всего он опасался, что созданный им институт начнет повторять сам себя, замкнется в узких рамках развиваемых концепций. Не раз я слышал от него эти опасения, основанные на наблюдении многих научных школ: крупный ученый, создающий школу, открывает новое направление, но затем его ученики и последователи продолжают его развивать даже тогда, когда оно уже практически исчерпано. Таким образом, прогрессивная когда-то область вырождается в изучение мелких деталей и все это освящается именем основоположника. А ведь химическая физика —

теоретическая основа всей химии, и она должна быть живой наукой, пока живет химия. Вот почему в 50—60-е годы Семенов стал подталкивать своих учеников к резкой смене тематики. В ИХФ возникли новые направления: полимеризация, материаловедение (в частности, изучение органических проводников и сверхпроводников), металлокомплексный катализ. Многих он увлек проблемами, связанными с биологией. Возникшая при этом кажущаяся многотемность института не раз критиковалась. Отвечая критикам, он подчеркивал, что на самом деле направление едино: фактически это развитие химической физики или еще более узко — химической динамики в применении к различным химическим проблемам¹³.

УЧИТЬСЯ У ЖИВОЙ ПРИРОДЫ

Итак, в 50-е годы многие сотрудники ИХФ, включая ряд ведущих ученых, при полной поддержке и поощрении Семенова резко сменили направления своих исследова-

¹³ Химическая динамика включает кинетику (науку о скоростях химических реакций) и изучение механизмов химических превращений, а химическая физика еще и исследование строения реагирующих веществ.

ний¹⁴. Я останавлиюсь лишь на одном из новых направлений, которое более всего касается меня лично. От изучения газозной кинетики я перешел к новой тогда области металлокомплексного катализа, а затем к поискам и изучению химических аналогов биологических катализаторов — ферментов. Химики давно восхищались некоторыми особенностями ферментов (высокая эффективность, селективность, способность осуществлять реакции, неизвестные в «обычной» химии). Попытки получить аналоги ферментов предпринимались давно, но не приводили к большим успехам. Сейчас положение существенно изменилось. Прежде всего, химический механизм биологических процессов, раньше во многом загадочный, становится все более понятным. Важно, что мы теперь знаем основные типы химических элементарных процессов и, таким образом, можем применить химико-физический подход к построению каталитического процесса. Задача в том, чтобы, используя принципы ферментативного катализа, создать несравненно более простые, чем ферменты, но не менее эффективные и более стабильные катализаторы. Это направление — лишь один из разделов общего подхода, применяющего принципы биологической организации для создания химических систем. Именно это направление, называемое сейчас биомиметикой, стало одним из самых сильных увлечений Семенова в последние годы жизни. Неоднократно он подчеркивал, что химия будущего и химическая промышленность должны ориентироваться на те приемы, которые разработаны в результате эволюции в живой природе. Именно здесь мы можем рассчитывать на создание эффективных малоэнергоёмких экологически чистых процессов, характерных для живой природы. Очевидно, под влиянием Семенова это направление стало и для меня наиболее интересным¹⁵.

В нашем отделе мы выбрали для изуче-

ния такие процессы (протекающие в водной среде, при низких температурах и давлениях), которые в «обычной» химии были до недавнего времени неизвестны, но играют важную роль в живой природе: фиксация атмосферного азота, окисление метана и его аналогов, фотосинтез. Биомиметика — благодатная область приложения химико-физического подхода: именно понимание физической сущности изучаемого процесса позволяет, не копируя его, строить простые аналоги. В нашей работе мы убедились в плодотворности такого подхода. Создав довольно простые системы, мы осуществили новые для химии реакции¹⁶.

Каждый успешный шаг на этом пути вызывал огромный интерес у Семенова и все более усиливал его энтузиазм. По моим наблюдениям, даже уже упомянутое открытие цепных реакций с энергетическим разветвлением, которое было подтверждением гипотезы Семенова, высказанной еще в 20-е годы, не вызвало у него такого удовольствия, как например, сообщение, что мы можем теперь восстанавливать азот с образованием гидразина и аммиака в водных растворах при атмосферном давлении и комнатной температуре.

Мне хотелось бы подчеркнуть еще раз, что Семенов был автором и наиболее последовательным проводником новой методологии, основанной на глубоком изучении физической сущности химических превращений. Эта методология позволяет получить наиболее полное представление о процессе и выбрать оптимальную технологию его реализации или предсказать открытие новой, еще неизвестной в химии реакции. Новый подход сегодня сосуществует с традиционным, принятым в химии, и все более входит в жизнь. Наиболее выдающихся достижений в химической науке и практике в ближайшее время можно ждать на основе сочетания и совместного использования принципов живой природы, понимания физики изучаемого процесса и смелого экспериментирования с помощью химической интуиции.

В глубоком понимании важной роли для будущего химии смежных наук — физики и биологии, как мне кажется, особое значение Николая Николаевича Семенова — гениального провидца, намного опередившего свое время.

¹⁴ Для ободрения тех, кто решался на резкую смену тематики, Николай Николаевич говорил, что исследователь, взявшийся за новую, незнакомую для него проблему, над которой давно работают многоопытные ученые, подобен начинающему фехтовальщику, вступившему в сражение с опытным соперником. Именно начинающий может оказаться победителем, так как, не зная правил, он может нанести внезапный удар, которого от него не ждет опытный боец.

¹⁵ В отношениях со своими учениками, во всяком случае со мной, Николай Николаевич никогда не навязывал выбор направления. Настоящий (не показной) демократизм всегда характеризовал его. Для него было очень важно, чтобы ученик сам выбрал направление и считал его своим. Влияние его более всего выражалось в его собственном горячем интересе к новым областям науки. Такого интереса я не встречал более ни у кого из ученых.

¹⁶ Подробнее см. обзоры: Шилов А. Е. Металлокомплексный катализ и его место в науке о катализе // Природа. 1979. № 10; Шилов А. Е. Проблемы фиксации азота. М., 1982. С. 37; Шафирович В. Я., Шилов А. Е. // Журн. Всес. хим. об-ва. 1986. Т. 31. № 6. С. 542.

200 лет спустя: наука в революционном обществе



Печать Национального музея естественной истории. Вместе с фригийским колпаком, символом Революции, на ней изображены пчелы и улей, метафорически обозначающие граждан и нацию. Эта метафора стала излюбленной в революционной риторике свободных обществ натуралистов и ремесленников. (Из: La Recherche. 1989. № 3.)

Новизна (и, можно сказать, «историчность») нынешней нашей жизни позволяет, кроме всего прочего, увидеть в ключевых пунктах человеческой истории то, что раньше в силу разных, порой катастрофических, обстоятельств не представлялось важным, упрощалось или просто замалчивалось. Великая французская революция, двухсотлетие которой отмечается 14 июля этого года, сегодня воспринимается не только как событие социальной, политической истории. Смысл происходившего в 1789—1794 гг. разворачивался с равным богатством содержания во всех сферах исторического существования, затрагивая системы мышления, науку, литературу, искусство, образ жизни и способы культурного строительства. По оценке К. Маркса и Ф. Энгельса, «французская революция вызвала к жизни идеи, которые выводят за пределы идей всего старого мирового порядка».

Неудивительно, что систематическое обсуждение темы Революции вообще, как революции в сознании, принимающей ту или иную историческую социальную форму, начали именно французские философы и представители различных научных дисциплин (лингвистики, психологи, этнологи, политологи). Результаты их изысканий по этой теме не составили единой теории, порой они слишком экстравагантны, порой спорны, но в совокупности своей достаточно значимы и актуальны. В настоящее время тема революции в сознании прочно вошла в новую комплексную парадигму «философии человека» (что показал, например, XVIII Всемирный философский конгресс в Брайтоне) и занимает многих исследователей, в том числе и советских.

О влиянии революционных преобразований мышления, культуры и общества на организацию и функционирование науки говорилось в нашей литературе много раз, но до недавнего времени почти всегда с жестких идеологических, политических позиций. Тем самым многие интересные аспекты этого взаимовлияния оставались в тени. Мы предлагаем читателям познакомиться с некоторыми из них и надеемся в недалеком будущем на более общий разговор о месте и роли научных сообществ в динамике культуры и исторического сознания. К юбилею Великой французской революции «Природа» публикует статьи двух специалистов по истории науки — французского и советского. Как ни различаются их позиции, тематика и стиль, общим является желание со строго академической точки зрения определить и обосновать некоторые глубинные взаимосвязи социального и научного развития, выступающие часто в неожиданных, неоднозначных формах.

Статья П. Редонди, заместителя директора Центра им. А. Койре, главного редактора журнала «History and Technology», автора ряда монографий по истории науки и техники, выходит сразу вслед за публикацией во французском научно-популярном журнале «La Recherche» по дружеской договоренности. В ней дается анализ развития представлений западных историков науки о научной политике во Франции в конце XVIII — начале XIX в., ставится проблема «демократического» переворота в науке. (Читателям «Природы» будет, по-видимому, небезинтересно сравнить французский стиль популяризации науки с принятым у нас. Главное его отличие в том, что больше внимания уделяется не результатам исследования, а его ходу и методу.) Статья А. П. Юшкевича имеет своим конкретным предметом русско-французские математические связи первой половины XIX в. и показывает, как и в каких формах революционные преобразования во французских научных учреждениях и системе преподавания воздействовали на развитие и организацию математических наук в России. Причины успехов французской математики XIX в. обретают новое, не только научное, значение.

О месте и роли науки в системе общечеловеческой культуры сами научные деятели говорят нечасто и достаточно осторожно. Поэтому тем интереснее в дни юбилея Великой французской революции рассмотреть, насколько «историчен» рационализм и насколько «рационалистична» история.

Французская революция и история науки

П. Редонди

В ТЕЧЕНИЕ двух столетий, минувших после Революции, историки науки задаются существенным вопросом: чего реально добились революционеры, когда попытались установить «демократическую науку» взамен «науки аристократической» прежнего режима? (Как известно, одним из самых эффектных решений, принятых тогда, была ликвидация Академии наук.) Вряд ли будет преувеличением сказать, что вопрос этот положил начало истории науки. Ведь когда скрывавшийся во время якобинского террора жирондист Ж. Кондорсе написал «Эскиз исторической картины прогресса человеческого разума», это повествование о последовательности открытий в истории человечества как целого сразу же попало в круг интересов интеллектуальной и социальной мысли. С тех пор проблема взаимоотношений науки и политики в ходе Революции стала главным ориентиром для историков науки.

ПРЕСТИЖНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ: КОРОЛЕВСКАЯ АКАДЕМИЯ НАУК

На закате «старого режима» основанная Галилеем и Ньютоном классическая наука торжествовала. С триумфом новых, сложившихся в XVII в. астрономии и физики главенство математики полностью утвердилось, и ньютоновская система, претендовавшая на универсальность законов механики, не имела себе равных. Этому теоретическому достижению соответствовал успех устоявшейся институциональной модели. Будучи более престижной, чем любое другое научное общество, Королевская академия наук царила в республике просвещения, прославляя Французское королевство.

Академия, Парижская обсерватория и высшие инженерные школы (Корпус мостов и дорог, Академия горного дела, Военно-инженерная школа) были порождением старого режима. В эпоху Людовика XIV и Коль-

бера научная деятельность признавалась не просто полезной, а важнейшей для абсолютной власти. Впрочем, в глазах научного сообщества XVIII в. эти учреждения (в частности, Академия) служили не только обществу, они обеспечивали автономию, прогресс и профессионализм самой науки.

Но пропустим несколько десятилетий и посмотрим на науку в эпоху Реставрации: кажется, будто ее роскошная архитектура уже развалилась. Прежде всего, очевидны большее разнообразие научных идей и фактов, расширение сферы их производства. Они теперь не сосредоточены под куполом нового Национального института, созданного Конвентом и затем поставленного Наполеоном в основание культурной политики; они не распространяются теперь в форме академических записок. Отныне они появляются в систематических трактатах и общих курсах, предназначенных для научного просвещения. Местами, где вырабатываются знания и происходят научные дискуссии, становятся и Политехническая школа, Музей естественной истории, Бюро долгот, и ассоциации вроде Филоматического общества, и даже частные салоны, в которых встречаются специалисты, например «Архейское общество», возглавляемое П. Лапласом и К. Бертолле¹.

Прежде, в «золотом веке», веке Просвещения, ученый (будь то дворянин-любитель или член академии) владел всеми богатствами культуры; он был лучшим среди образованных людей и глашатаем универсального разума, если не гуманизма вообще. С первых десятилетий XIX в. ситуация резко меняется: это дисциплинарное и профессиональное дробление научной деятельности, умножение обстоятельств и обязанностей просвещения и исследовательской работы.

¹ Crosland M. The Society of Arcueil. A view of French science at the time of Napoléon I. Harvard, 1967.

НОВАЯ ФИЗИЧЕСКАЯ КОНЦЕПЦИЯ

Наряду с институциональными преобразованиями от начала до середины XIX в. заметен и концептуальный прорыв. В самом деле, до этого господствовали механические модели. С развитием же термодинамики и теории эволюции, феноменологических или статистических программ, которые для решения проблем теории теплоты и физики газов ввели в обиход математический аппарат нового типа, меняется сам стиль науки. Появляются понятия, чуждые ньютоновству и даже противоречащие ему, например в физике электромагнитных полей. Так началось разрушение идеала аналитического объяснения по образцу классической механики. Благодаря переменам в научном мышлении утверждается новый подход к изучению процессов преобразования в физике, и эта концепция выдвигает иной тип рациональности, отличный от описательных и статистических толкований механицизма XVIII в.

Эту трансформацию, впервые проявившуюся во французской науке в начале XIX в., ставшую всеобщей к середине века и продолжающуюся до наших дней, историки науки уже 20 лет называют «второй научной революцией» («второй» — для соответствия с классическим определением зарождения современной науки в XVII в. как «первой» интеллектуальной революции, «революцией» — поскольку это историческое явление, результат долгого процесса, предваряет будущие серьезные изменения).¹⁴ двух преобразований (институциональное и концептуальное) второе происходило медленнее и было глубже связано с идеями прошлого. Изменение же форм и функций научной деятельности происходило чаще и внезапнее.

Чтобы выявить силы, под действием которых совершалась трансформация, и решить, совпадала ли она так или иначе с Революцией 1789 г., интересно понять, как эволюция знаний воспринималась самими учеными. В 1810 г. Ж. Кювье, бывший тогда непременным секретарем Класа физических и математических наук в Национальном институте, написал по приказу Наполеона «Исторический доклад о прогрессе естественных наук после 1789 г.». В нем утверждалось, в частности, следующее: «Мы можем представить себе природу и науку как две огромные картины, из которых одной предназначено быть копией другой. Обе они разделены на участки, вроде таких, на которые как бы распределяются различные категории ученых и которые не входят в одну и ту же систему».

В этой речи, вдохновленной натуральными классификациями, раскладка научного класса по «категориям» служила в качестве дисциплинарной специализации на общей основе. Единая система была уже утрачена. Следовало действительно дожидаться системы О. Конта, чтобы научные дела снова упорядочились в рациональную классификацию дисциплин. Это произойдет только в конце долгого процесса, в ходе которого действовали многие силы. В послереволюционной науке первой из них была все более явная тенденция к специализации.

«ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЖИЗНЬ» И «УВЕКОВЕЧЕНИЕ»

Но равным образом две другие силы заставили почувствовать свое действие. Для их определения можно обратиться к «Очерку общей истории наук во время Революции», опубликованному молодым физиком, профессором Коллеж де Франс Ж. Б. Био в 1803 г.² «До той поры выдвигали у просвещенных правительств и расцвет наук; революционная деспотия впервые дала им политическую жизнь, дабы этим внушить в народе доверие, готовить победы и выигрывать сражения. Помощь, которую науки оказали, была столь велика, что решено было ее увековечить. Это и повело к созданию многих заведений народного просвещения, а среди прочих Политехнической школы и Нормальной школы».

Здесь появляются два важных понятия, «политическая жизнь» и «увековечение», указывающие на силы, которые вместе со специализацией оживляли науку сразу после Революции. Под увековечением следует иметь в виду воспроизводство науки в общественных учреждениях, где самые свежие теории становятся неотъемлемой частью преподавания и где в лабораториях можно воспроизводить или получать новые экспериментальные факты. Существует отбор учащихся, и лучшие из них приобщаются в

² Студент первого политехнического выпуска, Био тогда только что был избран в Институт. Пятью годами позже он займет кафедру астрономии на новом Факультете наук, который Наполеон отделил от университетских курсов философии. А еще позже исследования по истории индийской астрономии привели его к избранию во Французскую академию. «Очерки» 1803 г. можно рассматривать как анонс к исключительной карьере в науке, карьере, в которой пророчески выступил образ научного деятеля новых времен. Впредь человек науки представляется почти свободным от политических обязательств и компромиссов, заботящимся о предохранении своих исследований от любых столкновений с философскими и религиозными идеями, которые исповедуют различные политические режимы.

этих учреждениях к преподаванию, что позволяет возобновлять в каждом новом научном поколении живой и соревновательный дух исследований.

Понятие «политической жизни» науки подразумевает национальный интерес к деятельности, которую некоторые считали аристократическим роскошеством и которая была навязана Конвенту как средство решения военных и социальных проблем. Из-за падения старого режима и уничтожения во время террора бывшего организационного порядка французская наука испытала угрозу исчезновения, а ее полезность государству была поставлена под сомнение. Но благодаря мобилизации ученых в 1793 г. идея альянса ученых и государства была реабилитирована.

УТИЛИЗАЦИЯ И ПОЛИТИЧЕСКАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ

По мнению Био, якобинская политика в конце концов обеспечила науке «политическую жизнь». Но если наука и выиграла от этого, то лишь благодаря услугам, которые она оказала обществу, используя законы механики, физики и количественной химии, а вовсе не идеологическим достоинствам математиков, инженеров и химиков, примкнувших к якобинцам. Следует отличать полезность науки обществу от ее политической эксплуатации. Это ясно видно на примере новой системы мер, принятой в ту эпоху. Хорошо еще, что люди науки не были новичками по отношению к тем достаточно точным решениям, которых добивались, — их результаты правительство приняло «с поспешностью, вызванной больше ненавистью к прежним установлениям, чем любовью к общественному благу», как отмечает Био.

Химики мобилизовали на изготовление селитры, для сенсационного по тем временам расширения производства оружия; благодаря научному «конкурсу», устроенному Комитетом общественного спасения, наладили технологию производства соды по методу Леблана; аэростаты получили военное применение, а в Медоне, в секретной лаборатории, проводились эксперименты с новыми взрывчатыми веществами. Кроме того, научные работники-якобинцы занялись организацией новых просветительных заведений. Все эти факты конкретно указывают на «демократическое» преобразование науки; в позитивистской историографии инициативы ученых будут служить доказательством решающего вклада науки в Революцию. В то время когда страна была разгромлена, наука воплощала национальный

инстинкт самосохранения, после победы она подготовила восстановление традиционного статуса ученых во французском обществе.

Итак, по модели Био, отношения между Революцией и наукой претерпели две фазы: фазу разрушения, отмеченную среди прочего закрытием Академии наук, и фазу обретения наукой новой социальной значимости. Однако в том, что касается чисто политического вклада ее деятелей, он формулирует отрицательное суждение, имеющее тот же смысл, что и приговор, вынесенный якобинству Термидором. Отвергая образ, представлявший науку аристократическим роскошеством, и реабилитируя ее в качестве демократической деятельности, Био в то же время разоблачает насилие и невежество, присущие Революции.

Чтобы понять произошедшее во время Французской революции, нужно, считает Био, принять во внимание сосуществование двух традиций. Первая из них — техническое образование чиновников и функционеров прежнего режима; обеспечивающие его учреждения были независимы от университета и церкви, а потому оставались нетронутыми или просто обновлялись (так было с Политехнической школой, предназначенной для централизованного образования военных и гражданских инженеров). Другая традиция имела влияние резко негативное, ибо сохраняла сложившуюся при абсолютизме корпоративную и юридическую организацию исследований и преподавания. Именно она вызвала реакцию революционеров, повлекшую за собой упразднение университетов, колледжей, Академии наук и даже Медицинского факультета.

Различение двух этих традиций и позволило Био понять решения (позитивные и негативные) революционеров. Но есть, однако, два важных факта, которые очень трудно объяснить по его схеме.

ВОЗВЫШЕНИЕ МУЗЕЯ

Прежде всего, как понять высокий престиж, обретенный Национальным музеем естественной истории, который возник из Королевского ботанического сада, располагавшего значительными средствами и получил государственную дотацию на 12 кафедр с жалованиями, вдвое выше, чем в Коллеж де Франс? Революция предоставила в распоряжение музея заслуженных натуралистов, сформировавшихся под руководством Ж. Бюффона; среди них были такие новаторы, как Ж. Б. Ламарк и Э. Жоффруа де Сент-Илер, оскорбленные в свое время академическим презрением, но завоевавшие широ-

кую славу в свободных научных обществах. Никакое учреждение старого режима не располагало подобным профессорским составом.

Другим трудно объяснимым фактом является сохранение Королевского коллежа, под новым названием Коллеж де Франс. Для разъяснения этого очевидного исключения Био выдвигает аргумент «от противного»: «Его сохранение не обязано ни его старинной славе, ни талантам созидавших эту славу профессоров. Не имея богатых коллекций, которые могли бы стать добычей алчности, он был попросту забыт революционерами, и потому обязан своим спасением их невежеству». Иначе говоря, Био придерживается посттермидорианского плана А. Грегуара, А. Фуркруа, Ф. Лаланда и некоторых других³; речь шла о том, чтобы сохранять дистанцию по отношению к якобинской диктатуре, полагая процветание науки главной задачей либеральной политики. Центральной метафорой их высказываний был «якобинский вандализм»: затухание научной жизни явилось итогом групповщины и диктатуры.

Следовательно, можно раскрыть стратегию, которая спасла науку во Франции вопреки антинаучной идеологии санкюлотов. С одной стороны, имелась главенствующая численно, но «невежественная и дикая» партия, желавшая унижить интеллектуальное превосходство ученых, с другой — партия более «просвещенная», которая для спасения науки прибегла к уловке. Пользуясь языком противников, она декларировала политическую эксплуатацию науки; по сути это был способ дать ей прибежище «под покровом вражды».

Интерпретируя таким образом соотношение сил между разными революционными течениями, Био поставил интересную проблему всем историкам, которые хотели бы понять политический и интеллектуальный статус науки в ту эпоху. И в наши дни вопросы

остаются классическими: тоталитарный меркантизм против либерального утилитаризма; 1793 год против 1794 года; Вольтер против Руссо; антиакадемизм монтаньяра Давида против академического администрирования, проповедуемого Кондорсе; «шарлатанство» Марата против «науки» Лавуазье. «Республика не нуждается в ученым!» — фраза, приписываемая судье революционного трибунала, который отправил Лавуазье на эшафот, породила резонанс, подобный произведенному словами, якобы произнесенными Галилеем⁴ вслед за отречением: «И все-таки она вертится!». Приговор Лавуазье, смерть Ж.-С. Байи, самоубийство Кондорсе — все это события того же ряда, что и ликвидация Академии наук; политическое преследование вписалось в логику деспотизма.

ИЗОБЛИЧЕНИЕ «РЕВОЛЮЦИОННОГО ВАНДАЛИЗМА»

Итак, антиякобинские настроения стали определяющим фактором позитивистской истории науки. Несмотря на различия позиции в рядах якобинцев, тот период в целом казался временем заблуждений, страницей, которую нужно перевернуть; идеологической и мифологической заботой антиякобинства стала борьба за нейтралитет и свободу в науке. Из закона трех стадий О. Конта, красноречия И. Тэна и похвалы научной свободе во времена старого режима, произнесенной А. де Кандолем, составил образ «революционного вандализма».

Республиканская историография во Франции конца XIX — начала XX вв. стремилась ниспровергнуть эту схему, а чуть позже пробовал сделать то же самое Дж. Бернал⁴. Историки пытались стереть память о вандалах-санкюлотах и выдвинуть на первый план ученых Революции — создателей (система мер и весов) и продолжателей философского наследия просветителей. Разумеется, были и драматические случаи в начале Революции, но они затронули лишь некоторых ученых — «жертв народного возмущения» (Бернал). Что же до политических решений, неблагоприятных для науки (вроде ликвидации Академии), то они принимались при военном положении. В конечном счете, благодаря научным успехам Комитета общественного спасения, баланс должен все же предстать положительным.

Эти историки науки рассуждали в

³ Все трое активно участвовали в революционной реорганизации науки. Священник А. Грегуар был действительным членом Комитета по народному образованию и Комиссии общественного воспитания. Именно он подготовил проект декрета, которым в 1793 г. Конвент закрыл Академию наук: «Все привилегированные и содержащиеся на средства нации Академии и литературные общества упраздняются...» (С 1814 г. Грегуар — иностранный почетный член Казанского университета.) Химик-академик А. Фуркруа был членом Конвента, организовывал Национальный институт, новые высшие школы (в 1793 г. возглавил Лицей прикладных искусств), свыше 300 средних школ. С 1802 г. Фуркруа — иностранный почетный член Петербургской АН. Астроном-академик Ф. Лаланд стал по поручению Конвента одним из создателей новой системы мер и весов. (Прим. ред.)

⁴ Bernal J. D. Science in History. L., 1954. (Ср. в трудах республиканцев: Олар А. Политическая история Французской революции. М., 1938; Матьез А. Французская революция. Т. 1—3. М.: Л., 1925—1930 и др.— Прим. ред.)

действительности принципиально нормативным образом. Для объяснения проблем и намерений якобинской научной политики они еще не располагали достаточно точной моделью глубинных течений, которые пронизывали научное мышление во время Революции. Не понимая до конца якобинские инициативы, они могли только гнушаться ими или благословлять их. Но фундаментальный вопрос оставался неразрешенным: какие интеллектуальные ставки разыгрывались в перипетиях всех решений и событий той научной политики?

ВОЗОБНОВЛЕНИЕ ДИСКУССИИ О «ДЕМОКРАТИЧЕСКОЙ НАУКЕ»

В 50-е годы старую дискуссию возновили историки науки в США; произошло это из-за появления новых вопросов, порожденных современной наукой. С одной стороны, диалектический материализм «буржуазной науке» противопоставил «пролетарскую науку» и в стране Октябрьской революции имели место экзекуция над Богдановым и дело Лысенко. С другой — в стране либеральной демократии имели место мобилизация научных работников для нужд американской армии, казнь Розенбергов и дело Оппенгеймера. Короче говоря, возникли многочисленные вопросы по поводу науки и политики, их критическая масса оказалась достаточной, чтобы снова вынести на рассмотрение проблему «демократической науки» в столкновении с «аристократической». Всегда ли после запуска первого спутника Земли существовала возможность определить связь между деспотией и деградацией науки? В 1957 г. на симпозиуме «Критические проблемы в истории науки» в Мэдисоне (США), специалисты встретились для обсуждения якобинской научной политики.

Фактически же еще в 1954 г., когда А. Гёрлак написал пионерский очерк (так и неопубликованный), исторический анализ вышел за пределы внешних форм революционной науки, чтобы уловить функциональные структуры. Гёрлак заинтересовался судьбой, постигшей во время революции два научных учреждения старого режима — Академию наук и Королевский ботанический сад. Он посчитал, что учета политических позиций членов этих учреждений недостаточно для объяснения происходившего: как консерватизм академиков не имеет отношения к ликвидации Академии, так и создание Музея нельзя оправдать прогрессивностью служащих Королевского сада. Гёрлак выдвинул гипотезу, согласно которой в ряду политических сыграл свою роль и идеологи-

ческий фактор, а именно — антиньютонианское научное течение, провозглашенное Ж.-Ж. Руссо и развитое его учениками-революционерами: Ж.-П. Маратом, Ж. Бриссо де Варвилем и Ж. Бернарден де Сен-Пьером (директором Национального музея естественной истории).

«ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ» ФИЛОСОФИЯ БЕРНАРДЕНА ДЕ СЕН-ПЬЕРА

Революционным в концепции Музея был проект обеспечения всеобщего доступа к познанию Природы путем прямого контакта людей с ней и ощущения причастности к ее глубокой интимной гармонии. Другими словами, философия, представленная Бернарден де Сен-Пьером в его «Этюдах о природе», считалась отвечающей интересам демократии: создавать естественную историю означало раскрывать порядок и конечную цель в многообразии феноменов и испытывать чувство равной причастности всех людей к «царству природных существ». Принятие революционерами этой идеологии, по мнению Гёрлака, и привело к созданию Музея.

Зато математика и рациональная механика в духе Ньютона казались якобинским сторонникам Руссо бесплодными науками, изложенными на алгоритмическом языке, который непостижим для большинства людей и сохраняется в секрете элитой геометров. Если принять эту гипотезу, сформулированную Гёрлаком, понятно, что оппозиция ньютонианской науке должна была привести к отказу от академической организации науки. Антиакадемическая идея, заложенная в «Рассуждении о науках и искусствах» Руссо, пригодилась для начатой во имя научного прогресса борьбы против корпоративности. Об этом можно прочесть в «Друге народа» Марата за 1791 г.: «Хотя и придерживающиеся всегда общего мнения, академики совсем не стремятся защищать свою отдельную систему. Академии всегда готовы восставать против новшеств и объявлять тайную войну блестящим открытиям: вместо того чтобы быть прибежищем для новых истин, они становятся приютом для старых предрассудков; и таков уж безысходный порок их организации, что нет ничего, чему бы они не нашли применения в своей оппозиции торжеству реформаторов». Следует поэтому признать, что ликвидация Академии, на которую революционеры все же решились, несмотря на усилия Лавуазье и Ж. Лаканалья по ее перестройке, была продиктована соображениями, выходящими за рамки политики; они же обеспечили и триумф Музея. Согласно такой

модели, дело в антиньютонианской идеологии, которая переворачивала науку вверх дном.

Примерно в то же время, но независимо от Гёрлака другой американский историк Ч. Гиллесли тоже установил существование антиньютонианского течения в науке конца XVIII в. Характеризуя его тем же образом, Гиллесли в своем доказательстве использовал иные элементы. Его исследование 1957 г. носило название «Энциклопедия и якобинская философия науки: изучение идей и их последствий». В нем Гиллесли нападает на «Энциклопедию» и ее творца Д. Дидро (т. е. на идолов научной историографии, как либеральной, так и марксистской), считая, что эта затея века Просветителей выражала и распространяла идеал антиньютонианской науки и что «якобинское умонастроение» вдохновлялось ею во вполне антинаучном смысле.

ДИДРО ПРОТИВ НЬЮТОНА

По Гиллесли, якобинская философия науки находится в точке конвергенции трех общих притязаний. Во-первых, это стоическая концепция реальности, согласно которой мир природы и мир человека имеют одну общую тенденцию к прогрессу. Философия этого типа ясно видна в научных сочинениях Дидро. Физике Ньютона, где атомы подчиняются силе притяжения, Дидро противопоставляет систему универсальной эластичности и устойчивых волн для объяснения физических взаимодействий (т. е. термических и электрических взаимодействий или даже явлений, связанных с питанием и организацией). В неприязни Дидро к математике отражается тот антиньютонианский натурализм, который, распространяясь через таких авторов, как П. Гольбах, П.-Ж.-Ж. Кабанис и Бюффон, принесет плоды во время Революции.

Второе притязание антиньютонианской науки было направлено против традиционного главенства механики, оно отводило фундаментальную роль химии. В этом отношении показательная статья «Химия» в «Энциклопедии». Ее автор Венель критикует абстракции ньютоновой физики и, для контраста, настаивает на экспликативном могуществе химии. Химия, по Венелю, способна раскрыть нам самую сущность «природной жизни» в универсальной материи, где все субстанции «подвержены смешению». Такая концепция, представляющая материю в процессе непрерывного развития, связывала антиньютонианскую химию с алхимическими произведениями, в которых были сформулированы традиционные техника и рецептура ремесленников. Задуманная таким образом химия гово-

рит на языке прикладных искусств и ремесел, она имеет «в полном своем распоряжении двойной язык, популярный и научный».

Третья тема якобинской идеологии касалась техники. Она отражала обобщенное «Энциклопедией» притязание «непризнанного гения» ремесленников. Со времени создания в 1666 г. Академии наук было вменено в обязанность рассматривать изобретения и определять их ценность. Как раз для борьбы с этой формой притеснения революционеры закроют Академию; антинаучный протест объясняется недовольством ремесленников. Реакция была неразрывно связана с критикой картезианского идеала, согласно которому наука способна оценивать техников; в такой перспективе понятно, что Революция одним махом критиковала математизированную науку и ставила под сомнение социальную функцию Академии наук.

ЯКОБИНЦЫ И НЬЮТОН

Тезис Гиллесли об антинаучной идеологии якобинцев объясняет некоторые факты, однако в своей радикальной форме наталкивается на серьезные трудности: можно ли безоговорочно приписывать настроенность против науки Ньютона и Лавуазье всем группировкам в партии Робеспьера? Как отметил Гёрлак, химия Лавуазье, математика и механика находили сторонников и среди самых пылких научных якобинцев: от Бертолле и Фуркруа до Монжа и Карно. Что же касается осуждения Лавуазье, Гёрлак представил ранее неизвестный документ, а именно антиакадемический памфлет, анонимно опубликованный Ж. Бриссо. Этот текст показал, что нападки на Лавуазье имели целью главным образом уязвить бескомпромиссного академика и откупщика, поднимавшего налоги, — там нет и следов антиньютонианских тем, дорогих Дидро или Венелю⁵.

⁵ На том же симпозиуме 1957 г. важный вклад в обсуждение внес Л. Пирс Уильямс, отказавшийся от гипотезы Гёрлака и Гиллесли на основании исследования по обширной документации. Отталкиваясь от того, что революционеры не преуспели в подготовке законодательства о реформе просвещения, он проверил, не была ли та неудача связана с недовěřием к традиционной, ньютоновской науке и, следовательно, ее роли в демократическом просвещении? Разбирая огромное досье по этой реформе, Пирс Уильямс обнаружил, что ни один антиньютонианский аргумент в обсуждении не прозвучал и что якобинцы были далеки от согласия и общих эпистемологических убеждений. Некоторые были учениками Руссо и критиковали излишнее преобладание физико-математических наук в просвещении, но другие (например, Ш. Ромм) защищали образование, основывающееся на традиционной науке. Третьи (в частности, Ф. Лепелетье и М. Робеспьер) предлагали промежуточные решения.

Короче говоря, Гёрлак заключил, что нужно воздержаться от веры в существование типично якобинской идеологии по отношению к науке. Следует, в частности, избегать определения научного и антинаучного как борьбы ньютонианства и антиньютонианства, как если бы антиньютонианская позиция, которая представляется антинаучной в 1957 г., была непременно антинаучной уже в 1793 г.

Эта дискуссия имела одно несомненное достоинство: она показала ограниченность истории науки интеллектуального типа в тех случаях, когда речь идет об изучении связей науки с политическими преобразованиями. Она также рассеяла иллюзию дихотомии между историей идей и теорией, с одной стороны, и анализом институциональных и социологических аспектов — с другой. Через 20 лет анализ научных учреждений (до, во время и после Революции) предстал самой верной исследовательской программой для понимания этих связей, которая позволяла избегать абстрагирования, анахронизмов и увязания в бесплодных спорах, оторванных от времени.

Эта программа сдвинулась с места в 60-х годах с выходом в свет коллективного труда «Просвещение и распространение наук во Франции в XVIII веке», изданного Р. Татом. Развил его К. Саломон-Байе в своей работе «Установление науки и жизненный опыт», а продолжил Гиллеспи в очень пространном сочинении. Его первая часть («Наука и политика во Франции в конце старого режима») появилась в 1980 г. и будет продолжена обзором, посвященным периоду от Революции до реставрации монархии⁶.

ПРЕЕМСТВЕННОСТЬ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ НАУКИ ВО ФРАНЦИИ

В периодизации Гиллеспи, Революция — всего лишь интермеццо, у нее нет больше привилегии неизбежного перехода от нового времени к новейшему. Роль ее в общей картине, изображающей долгую традицию профессиональной науки во Франции, отходит на второй план. В своем анализе, воссоздающем законченный и детальный образ французское научное сообщество в период между эпохой Тюрго и началом революционного периода, Гиллеспи использует критерии социологии науки Р. К. Мертон⁷. Но для общеисторической интерпретации он

берет модель французского историка А. де Токвиля («Старый режим и революция», 1856), а для истории науки его схема возрождает концепции де Кандоля, которым он обязан тезисом о преемственности после-революционной Франции и старого режима, а также идеей о глубокой укорененности науки в самой сути государства.

Эта укорененность к тому же дает ключ для понимания превосходства французской науки, ставшего результатом соглашения между представителями науки и власти. В обмене услугами (технологическими, военными и социальными) ученые получали от государства различные выгоды: профессиональное узаконение, автономию, финансирование. И до, и после Революции обнаруживаются одни и те же особенности профессиональной науки: ее нейтральность (что вообще считалось характерной чертой научного сообщества), выделение элиты по заслугам и профессиональным качествам, иерархичность дисциплин по критериям количественности и формализованности (чем более наука математизирована, тем она «благороднее»). И до, и после Революции существуют аналогичные учреждения, определяющие социальную роль и статус науки. Эти профессиональные и институциональные структуры существовали со времен Тюрго и сохранились после Революции. Д'Аламбер в XVIII в. имеет больший «научный вес», чем Бюффон, как и Лаплас в начале XIX в. завоюет куда больший престиж, чем Кювье.

Таким образом, описывая существовавшее при старом режиме привилегированное положение научного сообщества в государстве, Гиллеспи предлагает модель, напоминающую то, что Т. Кун называет «нормальной наукой»⁸. Проблема тогда в том, чтобы понять при такой схеме эпизоды революционного периода. Как объяснить по этой модели явления лингвистического отклонения, профессиональной маргинальности и интеллектуального бунта в отношении официальной науки, которую воплощали «аристократы-бюрократы знания»?

⁷ Merton R. K. // Osiris. 1938. N 4; Item // Minerva. 1964. N 2; Ibid. 1972. N 10. (Одно из главных достижений структурно-функционального анализа американского профессора социологии Р. К. Мертон — понятие дисфункции, т. е. разделение явных и латентных функций. См.: Структурно-функциональный анализ в современной социологии. Вып. 1. М., 1968. — (Прим. ред.)

⁸ В концепции Т. Куна «нормальной наукой» называется господство одной унифицирующей теории, т. е. парадигмы, в периоды между научными революциями. См.: Кун Т. С. Структура научных революций. М., 1975. (Прим. ред.)

⁶ Enseignement et diffusion des sciences au XVIII^e siècle. P., 1965; Salomon-Bayet C. L'institution de la science et l'expérience du vivant. P., 1978; Gillispie C. C. Science and polity in France at the end of the Old Regime. Princeton, 1980.

Ученик Гёрлака Р. Хан показал в своей «Анатомии научного учреждения», что «аристократы-бюрократы» появились во время Революции «граждан-функционеров»⁹. Его социологическая история Академии наук от ее создания до основания Института видоизменяет классические интерпретации (включая и достаточно утонченную интерпретацию Гиллеспи). Тогда как традиционная история задавалась целью характеризовать инвариантные особенности научной деятельности, анализ Академии, предложенный Ханом, напротив, высветил функционально изменяющиеся соотношения научного развития и требований общества.

Точно так же, как Гёрлак противопоставил ликвидацию Академии и возвышение Музея, Хан сравнивает жизненность и научную плодотворность Академии XVIII в. с утратой инициативы, одряхлением и академической рутинной наполеоновского Института. Контраст этот тем более разителен в силу того, что Институт, в принципе, должен был придать свежий импульс науке после периода «революционного вандализма».

АКАДЕМИЯ И ЕЕ ЗАТРУДНЕНИЯ

В XVIII в. Академия наук выполняла двойную функцию: с одной стороны, утилитарную на службе у старого режима, с другой — функцию легитимизации сообщества ученых-профессионалов и управления им. Успех Академии в ту пору определялся сбалансированностью двух этих функций. Но рост технических потребностей и научная специализация породили все большую напряженность, так что в эпоху Революции Академия встала перед неразрешимой альтернативой: невозможно было отдать предпочтение одной из этих ролей без ущерба для другой. Следовало ли, как того хотел Кондорсе, удовольствоваться миссией во главе знания? Или нужно было, по желанию Лавуазье, оживить деятельность по техническому консультированию на службе у правительства? Будучи инструментом распространения и профессионализации классической науки и, более того, учреждением, крепко слитым с абсолютистским обществом, Академия ни в каком случае не могла выйти невредимой из этой ситуации. Итак, она уже находилась в состоянии скрытого кризиса; политические события Революции, с такой точки зрения, привели единственно к тому, что проблемы стали более явными.

Якобинская научная политика, уничтожая аристократические формы организации науки, не ограничилась ликвидацией Академии. Стратегия Фуркруа и Ромма состояла в том, чтобы разделить две функции старой Академии. Одна из них (стимуляция и распространение науки) была освобождена от покровительства государства и доверена научным ассоциациям, которые сами собой размножились в ту эпоху. Зато утилитарная функция была поставлена под прямой контроль государства, которое втянуло ученых в ряды консультативных комиссий, прикрепленных к правительству.

Научное сообщество, которому грозил риск дезорганизации после исчезновения Академии, согласилось с новыми правилами, продиктованными программой Фуркруа и Ромма, и приняло участие в бурной деятельности добровольных ассоциаций — Филоматического общества, Общества естественной истории, Лицея искусств и др. Оно равным образом согласилось работать в комиссиях, мобилизованных на защиту родины. Но оно так никогда и не смогло полностью примириться с мероприятиями демократической науки. Ибо либерализация научного дела и централизация задач его утилизации привели к серьезному разладу.

Свободные общества постоянно сталкивались с проблемами финансирования, что делало невозможной организацию регулярной и долговременной системы научных публикаций. Кроме того, они стали местом уставных споров и нескончаемых интриг, поэтому практической возможности обеспечить нормальное развитие чисто научных дискуссий не было. Что касается технических комиссий Комитета общественного спасения, то они поглотили ученых-функционеров и отвлекли их от исследований. На составе этих комиссий политическая дискриминация сказывалась неизбежно — в научном плане неуместность этого очевидна. И так обстояли дела во всем, что касалось практического использования научного потенциала страны.

ПОУЧИТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ: ДЕМОКРАТИЧЕСКАЯ НАУКА

Согласно интерпретации Хана, неудачи заставили политиков подправить свой проект: они отказались от идеи разъединения профессиональной и утилитарной функций науки и снова занялись их объединением, реорганизуя систему научной подготовки кадров революционного общества. Впрочем, опыт демократической науки, вставшей на ноги после ликвидации Академии, послужил испытательным стендом для новой концепции научной

⁹ Hahn R. The Anatomy of a scientific institution. The Paris Academy of sciences, 1766—1803. Berkeley, 1971.

деятельности. Он отменил недостатки, которых следовало избежать: эклектический волюнтаризм, политическое пустословие, «интуитивную» передачу знаний, отсутствие отбора. Он же показал и позитивные стороны демократизации: широкий доступ к науке, покровительство государства, централизацию научной подготовки (что единственно могло удовлетворить военные и административные нужды).

После Термидора появились научные учреждения, отличные от существовавших при старом режиме; реорганизация, правда, началась еще раньше, когда создавались Революционные высшие школы¹⁰. Политическое требование демократизации ускорило в итоге ослабление академической системы классической науки, уступавшей свое место учреждениям, специализирующимся на просвещении, распространении и применении научных результатов. Исторический анализ, как теперь понятно, нуждается в нюансировке. На долговременной шкале институциональная традиция науки старого режима так или иначе сохранилась, но на краткий период революционная политика возымела свое действие.

Можно ли действительно говорить о второй «научной революции»? Само это выражение предполагает не только концептуальное, но и, как выясняется, социологическое значение. Мы также поняли, как трудно увидеть единую философию науки, примененную Революцией: революционная научная политика разворачивалась на многих уровнях и ориентировалась в разных и даже противоположных направлениях.

Направление «якобинцев из Ботанического сада» сводилось к тому, чтобы оспорить традиционное академическое главенство математических наук и, кроме того, придать естественной истории такой же значительный интеллектуальный и культурный вес, какой был у количественной химии. Шла ли речь об антиньютонианской науке или, скорее, о постньютонианской? Подобная исследовательская программа не была ни наивной, ни архаичной. В 1789 г. появилась теория Т. Р. Мальтуса о «жизненном пространстве». Экологическая тема естественной гармонии в отношениях живых существ со средой их

обитания, а также дискуссия о трансформизме сближали науку Музея с интересами политической экономии. Другой великий спор, развернувшийся в Музее, касался естественной классификации, противопоставляемой классификациям искусственным, которые вдохновлялись креационистской доктриной, связанной с теологическим мышлением.

Под знаменем Линнея революционное рвение за естественную историю походило на то, что претерпели в XVII в. «философы природы» ради коперниканской астрономии. И то, и другое подразумевает обмирщение науки. Забирая природный мир из рук Бога-Геометра, которому тот был доверен небесной механикой Ньютона, преподаваемая в Музее естественная история низвергала человека за вершины творения, куда его поместило божественное Откровение. Этим двойным ходом обмирщения научная политика Революции косвенно способствовала смещению границ между наукой и натуральной теологией, границы, которые будут колебаться еще и в XIX в.

Второе ведущее направление революционной научной политики выражалось теми, кого можно назвать «якобинцами из Мезьера», — Монжем, Л. Н. Карно и П. Приером. Следуя стилю Политехнической школы, который сосредоточивался на начертательной геометрии и механике, они хотели провести в жизнь прикладное ньютонианство, т. е. применение математики и механики для разрешения проблем физики, инженерии и механизации. Интересно, что случилось при таких обстоятельствах с восставшими ремесленниками и техниками, с теми, кто отказывался представить свои изобретения трибуналу ученых?

ТЕХНИЧЕСКИЕ «ОБЯЗАННОСТИ» УЧЕНЫХ

Третье направление имело своей целью перевернуть это традиционное соотношение науки и техники. Слово «технология», кстати, впервые появилось во французском языке под пером химика Гассенфраца, который черкнул его на полях учебной программы Личея искусств. Так вот, это направление объединяло «промышленных якобинцев», среди которых были Гассенфрац и Ж. Шаталь. Последний, к тому же, должен был организовывать содействие предпринимателям в рамках Общества содействия национальной промышленности, политической целью которого была ликвидация ремесленных корпораций и утверждение права промышленной собственности, расширявшего доступ к технике. Учрежденная Конвентом

¹⁰ Крупнейшими из них были Школа навигации и артиллерии, Школа здравоохранения, Центральная школа общественных работ, а также Школа вооружения и боеприпасов, предназначенная для технического и политического образования 1000 граждан, которые отбирались во всех департаментах Народными обществами. Выучившись на руководителей мастерских, выпускники должны были преподавать методы производства в своих провинциях.

в 1794 г. Консерватория искусств и ремесел конкретизировала это волеизъявление.

При старом режиме научная и техническая организация зависела от потребностей колберовского государства. Но случаи принятия научной ответственности за изобретения были редки, кроме, разве что, апробаций под академической юрисдикцией. Даже в тех случаях, когда союз академических властей с практиками уже намечался, например по поводу гидравлических исследований Д'Аламбера, Кондорсе и Ш. Боссю в рамках программы внутренней навигации (которой покровительствовал Тюрго), сотрудничество так и не смогло преодолеть разрыв между учеными и практиками, теорией и предпринимательством. Со времен Революции технологическая инициатива больше уже не представлялась интуитивному таланту предпринимателя. По философии, которой воодушевлялись Консультационное бюро искусств

и ремесел, Политехническая школа и Консерватория искусств и ремесел, техника поднимает уровень ответственности научного сообщества. Вместо того, чтобы судить способных, но невежественных кустарей, сообщество должно заняться пониманием теоретических основ изобретательства, оно теперь будет способно рационально их развивать, благодаря лучшему знанию законов природы.

В социальном плане рождение технологии — это, наверное, самый важный фактор в преобразовании классической науки. Французская революция открыла ей дорогу столь же закономерно, сколь и преждевременно. Промышленная революция во Франции развернулась только пятьюдесятью годами позже.

Перевод с французского
А. В. Дегтярева.

Французская революция и развитие математики в России

А. П. Юшкевич,
доктор физико-математических наук
Институт истории естествознания и техники АН СССР
Москва

В О ВТОРОЙ половине XVIII в., который в истории европейской культуры справедливо называется Веком просвещения, капитализм во Франции достиг значительного уровня, но быстрому его развитию препятствовал феодально-абсолютистский строй. Революция 1789—1794 гг. сокрушила королевский режим и открыла путь широкой социальной и политической перестройке общества. Необходимой стала и перестройка народного просвещения и организации научных исследований, не отвечавших ни долговременным интересам народного хозяйства, ни задачам защиты от контрреволюции. Прогресс науки, философской и политической мысли, ознаменовавшийся изданием Д. Дидро и Ж. Д'Аламбером знаменитой «Энциклопедии, или Толкового

словаря наук, искусств и ремесел» (1751—1772), которая оказала мощное влияние на умы нескольких поколений европейской интеллигенции, сосуществовал с обветшалой системой образования, безграмотностью широких кругов населения.

Старые учебные и научные учреждения необходимо было заменить новыми, отвечавшими потребностям промышленности и армии, ускорившемуся развитию науки и техники, неотложной задаче подготовки на демократических началах квалифицированных многочисленных кадров научнотехнической интеллигенции. Самых значительных успехов революционная Франция добилась в точных науках, и на долгие годы французская математика стала главенствующей в Европе.

Развитие математики как науки, в конечном счете, определяется потребностями общества, с одной стороны, и ее внутренними структурными особенностями — с другой. Важную роль в прогрессе математики в какой-либо стране играют международные связи, в которых можно, кроме того, увидеть черты общей научной и образовательной картины, понять европейский интеллектуальный климат XVIII—XIX вв. В этой статье кратко рассматриваются русско-французские связи в области математики в эпоху Великой французской революции.

ФРАНЦУЗСКАЯ МАТЕМАТИКА ПОСЛЕ РЕВОЛЮЦИИ

Королевская Франция была самой населенной и экономически развитой державой континентальной Европы. Для ее хозяйства и армии требовались специалисты. В программах соответствующих учебных заведений видное место занимали математические науки, курсы по которым вели квалифицированные педагоги. Так, в Школе гардемарин и Артиллерийском корпусе профессором был парижский академик, алгебраист Э. Безу, автор шеститомного «Курса математики» (1764—1769), охватившего все разделы элементарной математики, а также начала аналитической геометрии, дифференциального и интегрального исчисления. Высоким уровнем преподавания славилась и Школа военных инженеров в Мезьере, где математику вели с 1752 г. академик Ш. Боссю, автор известного труда по истории этой науки, а в 1768—1784 гг. воспитанник этой же школы выдающийся геометр Г. Монж.

Однако эти инженерные школы, к которым следует добавить еще Школу мостов и дорог, не удовлетворяли потребностей страны. Недостаточны были подготовка учащихся и их численность (принимали в эти школы только дворян).

В упадке было обучение математическим наукам во французских университетах. Средняя школа вовсе не пользовалась государственной поддержкой, существовали только школы различных монашеских орденов. Франция дала миру в XVIII в. много выдающихся математиков, но почти все они были членами субсидируемой правительством Академии наук и, как правило, преподаванием не занимались. Между наукой и просвещением лежала пропасть.

Вообще говоря, французская интеллигенция в большинстве своем приветствовала Революцию, активно сотрудничала со сменявшими друг друга у власти партиями и

правительствами. Практически деятельность ученых имела огромное значение в создании материальных (в том числе военных) ресурсов и подъеме промышленности страны. Как выразился известный французский историк А. Матьез, научная Франция тех лет, как и Франция военная, неотделимы от Франции политической.

Решительный поворот к улучшению системы народного образования начался во Франции на третьем году Революции. Национальное собрание избрало Комитет народного образования, и 20—21 апреля 1792 г. М. де Кондорсе, видный математик, экономист и философ, член Парижской академии и почетный член Петербургской¹, представил детальный «Проект декрета об общей организации народного образования», который лег в основу преобразований, продолжавшихся полтора десятка лет и завершенных только при Наполеоне.

Осенью 1794 г. в Париже открылась Центральная школа общественных работ для подготовки военных и гражданских инженеров, 2 сентября следующего года преобразованная в знаменитую Политехническую школу. Это военизированное учебное заведение, для поступления в которое требовалось сдать серьезные вступительные экзамены и продемонстрировать политическую лояльность, вскоре стало крупнейшим центром научных, технических и военных кадров. Ежегодный прием составлял 150 человек.

Одновременно с Политехнической была учреждена еще одна первоклассная школа — Нормальная (впоследствии Высшая нормальная) для подготовки квалифицированных преподавателей. Из-за трудностей тех лет она функционировала недолго и возобновила регулярную работу только в 1808 г. на гуманитарном и естественнонаучном отделениях. В разгар революционных событий были распущены и прежние университеты, возрожденные в том же 1808 г., причем в них появились факультеты точных и естественных наук.

Преобразована была и система среднего образования. Повсеместно открылись начальные и средние школы, а также лицей с более широкими программами. Была упорядочена номенклатура ученых званий и степеней. Осуществление всех этих реформ требовало работы многих педагогов, и вскоре возник новый обширный слой научной интеллигенции, состоявший из педагогов разного уровня квалификации.

¹ В сентябре того же года Кондорсе был исключен из Петербургской Академии.

Изменения коснулись и Парижской академии наук. 8 августа 1793 г. она была упразднена, но уже осенью 1795 г. возродилась в рамках Национального института, разделенного на три Класа: физических и математических наук, моральных и политических наук, литературы и изящных искусств — которые в 1816 г. получили прежние названия Академий.

Новым важным фактором революционной политики явилось установление тесной связи между педагогической и научной деятельностью. В дореволюционное время она имела место только в отдельных случаях. Теперь почти каждый крупный ученый оказывается вместе с тем профессором. С другой стороны, редкий преподаватель высшей школы не занимался научным исследованием. Наиболее яркие примеры совмещения научной и педагогической деятельности связаны с именами Ж. Лагранжа, Г. Монжа и П. Лапласа. К ним можно добавить А. Лежандра, К. Ашетта, А. Ампера, Ж. Фурье, С. Пуассона, Ш. Дюпена, Ж. Вине, О. Коши, Ж. Понселе, Л. Пуансо, Г. Ламэ, Ж. Лиувилля и других.

Некоторые курсы, читавшиеся в Политехнической или Нормальной школах, представляли собой выдающиеся научные труды. Это «Теория аналитических функций» (1797) Лагранжа, «Начертательная геометрия» (1795) и «Приложения анализа к геометрии» (1795) Монжа, «Начала статистики» Пуансо (1803), «Трактат по механике» (1811) Пуассона, а также более поздние «Курс алгебраического анализа» (1821) и «Резюме лекций... по математическому анализу» (1823) Коши. Политехническая и Нормальная школы издавали свои «Записки», где публиковались некоторые учебные курсы, но преимущественно оригинальные исследования.

Еще 70 лет назад известный немецкий математик Ф. Клейн отметил, что «влияние такого интенсивного преподавания на науку не замедлило сказаться. Фактически почти все, что было сделано во Франции в первые десятилетия XIX века в области математики, физики и химии, идет из Политехнической школы. Но по самому характеру школы в первую очередь пережила расцвет прикладная математика»². Поэтому, излагая результаты мощного подъема математических наук во Франции того времени, Клейн рассматривает сперва механику и математическую физику, затем геометрию и, наконец, анализ и алгебру. Однако

успешное развитие прикладных направлений сопровождалось бурным прогрессом «чистой» математики. В подтверждение этого достаточно снова перечислить имена выдающихся ученых той эпохи: Лагранж, Лаплас, Лежандр, Ампер, Коши, Лиувилль и другие.

Итак, можно констатировать, что революционные мероприятия по реорганизации науки и образования во Франции, имевшие поначалу чисто утилитарные цели, способствовали мощному подъему математической мысли (что, впрочем, относится и к физике, химии, естественной истории). Французская математика стала в начале XIX в. лидером и законодателем европейской науки. Существенное, хотя и неоднозначное влияние оказала она и на точные науки в России.

МАТЕМАТИКА В РОССИИ

Математическое образование становится предметом государственных забот при Петре I. В 1701 г. в Москве была основана Навигацкая школа для подготовки моряков, геодезистов и т. д. В 1715 г. на базе этой школы (просуществовавшей полвека) в Петербурге открылась Морская академия. Одновременно с 1703 г. началось издание учебной математической литературы, частью оригинальной, частью переводной с немецкого.

Следующим шагом в развитии математики в России явилось открытие в 1725 г. Академии наук в Петербурге, в которую были приглашены для работы, среди других, швейцарцы Д. Бернулли (проработавший в Академии восемь лет, а затем сотрудничавший с нею на правах почетного члена до конца жизни) и крупнейший математик и механик XVIII в. Л. Эйлер (навсегда связавший свою судьбу с Академией). При Академии существовали гимназия и университет, где преподавали академики. Эти два учебных заведения действовали нерегулярно, но дали стране ряд высококвалифицированных специалистов, как, например, академики: математики С. К. Котельников, С. Я. Румовский и племянник М. В. Ломоносова М. Е. Головин (все ученики Эйлера), физик Г. Рихман, астроном П. Б. Иноходцев, А. А. Барсов — первый профессор математики Московского университета, открытого в 1755 г.

Как и во Франции, некоторые академики преподавали в академических или же других учебных заведениях и составляли учебные руководства. Назовем, к примеру, руководство Эйлера по арифметике (1738—1740) и его же замечательный курс

² Клейн Ф. Лекции о развитии математики в XIX столетии. Ч. 1. М.; Л., 1937. С. 99.

алгебры (1768—1769). Как и во Франции, в России одна за другой открываются новые военно-технические и технические высшие школы, в том числе Артиллерийский и Инженерный шляхетный (т. е. дворянский) корпус (1762) и Горное училище (1773). Воспитанниками первого из них были выдающийся педагог Е. Д. Войтяховский, впоследствии открывший превосходный частный пансион в Москве, и будущий академик С. Е. Гурьев. Однако уровень преподавания в технических учебных заведениях России XVIII в. был заметно ниже, чем во Франции. Первые 50 лет Московский университет состоял из юридического, медицинского и философского факультетов; в его задачи вообще не входила подготовка специалистов по физико-математическим и естественным наукам, хотя с 1760 г. здесь и существовала кафедра математики.

Со второй половины XVIII в. в России устанавливаются все крепнущие духовные контакты с Францией. «Энциклопедия» Дидро и Д'Аламбера становится светской Библией русской интеллигенции, тогда главным образом еще дворянской. В частности, статьи Д'Аламбера служат распространению в среде математиков теории пределов. Главным ее пропагандистом оказывается Гурьев.

Екатерина II предприняла попытку упорядочить систему народного просвещения. В 1782 г. образована Комиссия об учреждении училищ. В уездных городах создаются «малые» двухклассные училища, а в губернских — четырехклассные «главные» училища с пятилетним курсом. В Петербурге открылась Учительская семинария со сроком обучения 2,5 года, где обучали в небольшом объеме и высшей математике. Одним из главных деятелей этой реформы был М. Е. Головин, написавший несколько учебников. К 1800 г. в 315 школах занималось около 20 тыс. учеников и работали 800 учителей. Учительская семинария выпустила около 400 педагогов. Учитывая, что в России тогда насчитывалось 26 млн жителей, такие результаты выглядят скромными, но все же некоторый шаг вперед был сделан. Французская революция и казнь Людовика XVI в 1792 г. приостановила распространение народного просвещения в России. «Черни», — говорила Екатерина, — не должно давать образования, поелику будет знать столько же, сколько вы да я, то не станет повиноваться нам, как повинуются ныне». Павел I вовсе прервал на несколько лет культурную связь с Францией.

Спад Революции и установление единоличной власти Наполеона устранили вся-

кие опасения царской власти, а успехи французских войск наглядно доказали государственную важность усиления подготовки научных и технических кадров. Александр I не замедлил принять соответствующие меры. В 1802 г. создается Министерство народного просвещения и при нем Главное правление училищ, в которое вошли академики С. Я. Румовский и Н. И. Фус (тоже ученик Эйлера).

Было решено создать непрерывную систему школ: в уездных городах училища, в губернских — гимназии с солидным курсом математики, и в 6 учебных округах, на которые поделена страна — университеты с физико-математическими факультетами. Помимо Московского, подвергнутого реорганизации, в 1802—1805 гг. открываются университеты в Петербурге (сперва — Педагогический институт на базе прежней Учительской семинарии, с 1819 г. — университет), Харькове, Казани, Тарту и Вильнюсе. В 1832 г. из-за восстания в Польше последний был закрыт, а вместо него учрежден Киевский.

Реформы народного просвещения с одобрением встретили передовые слои русского общества. В 1803 г. их приветствовал журнал «Вестник Европы», основанный годом ранее Н. М. Карамзиным. Благодаря коренным преобразованиям в преподавании физико-математических наук в Московском и других университетах, быстро растет численность квалифицированных математиков и механиков, начинается совершенствование и углубление программ, издание переводной и оригинальной учебной литературы. Интересно, что общая реформа системы народного просвещения началась в России раньше, чем во Франции. При этом был широко использован зарубежный опыт, например немецких университетов, а в преподавании физико-математических наук Политехнической школы.

Естественно, что в разных университетах дело обстояло по-разному, в зависимости от преподавательского состава, но иногда и от общих политических событий. Ранее других выдвинулся Казанский университет, куда на должность профессора был приглашен М. Ф. Бартельс, широко эрудированный и одаренный педагог, наставник Н. И. Лобачевского. На высоком уровне преподавание математики в Казани вел с 1814 г. и сам Лобачевский. При изложении дифференциального и интегрального исчисления он следовал руководствам С. Лакруа, теорию чисел читал по Лежандру и К. Гауссу, а математическую физику, в частности теорию теплопроводности, по трудам Пуассона, Фурье и Коши.

Хорошо была организована вначале и

работа физико-математического факультета Харьковского университета, где с 1803 г. преподавал Т. Ф. Осиповский, автор трех-томного «Курса математики» (1801—1823) и учитель М. В. Остроградского. Университетская карьера этого выдающегося деятеля высшей школы оборвалась в 1820 г., когда реакционное Министерство просвещения уволило его за прогрессивные философские воззрения.

В Московском университете в первые же годы XIX в. началось чтение лекций по высшей математике (сперва по учебнику Безу), стали выходить «Московские ученые ведомости» с богатым отделом рецензий на новейшую французскую физико-математическую литературу. С университетом сотрудничал талантливый и широко образованный математик-любитель П. А. Рахманов, сторонник теории пределов. Отечественная война приостановила на несколько лет развитие физико-математического факультета. В 20-е годы здесь основными стали переводы руководств Политехнической школы, например «Полного курса чистой математики» (1809) Л. Франкера (посвященного, кстати, Александру I) или «Начал дифференциального и интегрального исчисления» (1813) Ж. Бушарля. Наряду с ними использовалась тринадцатитомная «Ручная математическая энциклопедия» (1826—1837) Д. М. Перевощикова.

30-е и 40-е годы отмечены деятельностью профессоров Н. Д. Брашмана и Н. Е. Зернова, ставших проводниками новых идей в области анализа и высшей геометрии. Учебный план расширяется за счет введения новых курсов теории дифференциальных уравнений, вариационного исчисления, ряда разделов теоретической механики. Все они развивали идеи французских математиков. Учениками Зернова и Брашмана были такие выдающиеся ученые, как И. И. Сомов, П. Л. Чебышев (оба впоследствии академики и профессора Петербургского университета) и видный московский профессор А. Ю. Давидов. В своей магистерской диссертации об интегрировании алгебраических иррациональных функций (1841) Сомов основывался на трудах Н. Абеля и Лиувилля; этой же проблеме посвятил свою диссертацию на право чтения лекций (1847) Чебышев, продолживший изыскания Эйлера, Лежандра, К. Якоби. Наконец, магистерская диссертация Чебышева (1845) имела предметом элементарное изложение теории вероятностей, которую во Франции ранее разрабатывали Лаплас и Пуассон. Примечательно добавление к диссертации (1846), содержа-

щее улучшенное доказательство закона больших чисел Пуассона.

Особо следует отметить значительное улучшение преподавания математических наук в высшей технической школе. Это относится, в частности, к основанному в 1809 г. Петербургскому корпусу инженеров путей сообщения, на организации которого отчетливо отразилось влияние Политехнической школы. Преподавать здесь были приглашены русские и французские ученые, среди них — «политехник» П. Базен и выпускник Горной школы Г. Ламз, которые опубликовали в Петербурге на французском языке учебники дифференциального (1817) и интегрального исчисления (1825), почти сразу переведенные на русский. В Корпусе введен был и курс начертательной геометрии. Первое русское руководство по этому предмету опубликовал в 1821 г. воспитанник и позднее профессор Корпуса Я. А. Севастьянов. В 30-е годы преподавание математических наук полностью перешло к русским ученым.

Политехническая школа содействовала не только повышению уровня преподавания всего физико-математического цикла, но и прогрессу научных исследований во Франции и других странах: Германии (П. Дирихле, К. Якоби, Я. Штейнер), Англии (Дж. Грин и др.), Норвегии (Н. Абель), а также в России. Как только был снят запрет на прямые контакты с Францией, начинают поездки русских ученых в Париж, причем некоторые из них (например, Рахманов) становятся слушателями Политехнической школы. Париж оказывается Меккой европейских математиков.

Первым русским доктором Парижского университета стал в 1823 г. ученик Осиповского П. А. Затеplinский, защитивший диссертацию по небесной механике и затем получивший профессию по астрономии в Харькове. Вскоре в Сорбонне защитил докторскую диссертацию и В. Я. Буняковский. Она состояла из трех частей, посвященных решению некоторых задач механики, а также разрабатывавшейся тогда Пуассоном, Коши и Фурье теории распространения теплоты. В диссертации Буняковский применил новую тогда теорию вычетов, раздел теории аналитических функций, с которой он познакомился по лекциям Коши в Коллеж де Франс. Приехав в 1826 г. в Петербург и занявшись сразу же преподавательской деятельностью, он в 1827 г. представил Академии наук свою диссертацию вместе с запиской о новых методах интегрирования уравнений в частных производных.

Вместе с Чебышевым Буняковский издал в 1849 г. два тома работ и рукописей

Эйлера по теории чисел. Втроем с Остроградским (с которым он познакомился в Париже) и Чебышевым они снова подняли математику в Академии на высокий уровень, который заметно снизился после смерти Эйлера (1783), Гурьева (1813) и Фуса (1825).

Остроградский прибыл в Париж в 1822 г., не имея университетского диплома, хотя полностью прошел весь курс Харьковского университета: в выдаче диплома ему отказали, по существу, из-за того, что он был любимым учеником уволенного из университета Осиповского. Поездку во Францию Остроградский предпринял по собственной инициативе с целью углубить свои знания. Он не ставил себе целью приобретение какого-либо ученого звания, но зато установил прочные контакты с Фурье, Пуассоном, Коши, которые сразу высоко оценили его выдающийся научный талант, а также со многими своими сверстниками — с Ж. Штурмом, окончившим Женевский университет, «политехником» Ж. Дюамелем и другими. Круг его интересов включал теорию интегрирования, функции комплексного переменного, математическую физику и гидродинамику. Легко освоив новейшие достижения в этих и смежных областях, он быстро приступил к оригинальному творчеству. За 1824—1827 гг. он представил Парижской академии 5 мемуаров, один из которых (по гидродинамике) увидел свет в издании Академии в 1832 г., другие в несколько переработанном виде опубликованы в «Записках» Петербургской Академии после его возвращения в Россию весной 1828 г., а один изложен с его слов Г. Ламэ в «Журнале Политехнической школы» за 1833 г.

Представленные Парижской академии мемуары Остроградского, за исключением напечатанного в 1832 г., хранились в ее Архиве и обнаружены лишь четверть века назад (в русском переводе изданы в 1965 г.). В теории аналитических функций, в частности теории вычетов, имело место прямое сотрудничество Коши с Остроградским, и уже знаменитый тогда французский математик, по его собственному признанию, в мемуарах 1825—1826 гг. использовал главные результаты своего «одаренного большою проницательностью и весьма искусного в анализе» русского ученика, не указывая, впрочем, какие именно результаты он имеет в виду. И еще 15 лет спустя Коши особо выделил Остроградского и Буняковского (а также итальянца Б. Тортолини) как своих последователей в разработке и применениях теории вычетов.

Двумя мемуарами 1826—1827 гг. Остроградский внес крупный вклад в матема-

тическую физику, в особенности в теорию распространения тепла в твердых телах, обобщив метод решения дифференциальных уравнений в частных производных, разработанный в книге Фурье 1821 г. В обобщении метода Фурье он использовал выведенную им формулу преобразования тройного интеграла некоторого вида в двойной.

По возвращении из Парижа в Петербург Остроградский на протяжении нескольких месяцев 1828 г. представил Академии наук основные итоги своих исследований и вскоре был избран ее членом. Более 30 лет он продолжал работу в нескольких направлениях, близких к тематике Политехнической школы, нередко соревнуясь с Пуассоном в теории упругости, с Лиувиллем в теории интегрирования алгебраических функций и с Якоби в области механики. Подобно Буняковскому, он много времени уделял педагогической деятельности, правда, не в университете, а в Главном педагогическом институте и технических училищах. Влияние его на прогресс математики и механики в России было очень велико, и творчески используя опыт французов, он активно содействовал становлению петербургской математической школы, основанной Чебышевым.

Теорией чисел Чебышев занялся, изучая сочинения Эйлера и Гаусса, но непосредственный толчок его замечательным исследованиям 1850—1852 гг. по теории распределения простых чисел сообщили французские математики. С древности было известно, что простых чисел бесконечно много, но вопрос о том, сколько их в тех или иных границах, долгое время даже не ставился. В 1808 г. Лежандр предложил формулу для приближенного определения числа простых чисел, меньших данного. В 1848 г. Чебышев установил принципиальную неправильность этой формулы, дающей хорошие приближения только для некоторого начального отрезка натурального ряда, и доказал преимущества другого аналитического приближения (интегрального логарифма). Впрочем, хотя работа Лежандра и вызвала интерес Чебышева к теории распределения простых чисел, но аналитические методы, примененные им, восходили к трудам Эйлера (в частности, использование дзета-функции в действительной области) и Дирихле, на исследование которого внимание Чебышева обратил Буняковский.

Теоремы Чебышева подводили к установлению так называемого асимптотического закона распределения простых чисел, который доказали в 1896 г. независимо друг

от друга Ж. Адамар и Ш. де ла Валле-Пуссен, использовавшие вслед за Б. Риманом дзета-функцию в комплексной области. Открытия Чебышева в теории чисел очень заинтересовали Коши.

Нельзя не вспомнить и о великом Лобачевском, опубликовавшем в 1829—1830 гг. классические труды по неевклидовой (гиперболической) геометрии. Конечно, это открытие не было вдохновлено Политехнической школой, интересы представителей которой были далеки от аксиоматики геометрии. Но одним из отправных пунктов размышлений Лобачевского над евклидовым постулатом о параллельных явилось ошибочное доказательство этого постулата в многократно переиздававшихся «Началах геометрии» Лжеандрона (1 изд. 1794 г.). Его критику начал еще в 1798 г. Гурьев, предложивший другие (но также неудачные) доказательства.

Но если предшественников Лобачевского в разработке новой системы геометрии во Франции не было, связь его гениального открытия с идеологией Французской революции представляется весьма естественной и правдоподобной. Уже сам факт почти одновременного и независимого открытия неевклидовой геометрии в России, Германии и Венгрии свидетельствует о том, что оно, как говорится, готовилось всей ду-

ховной обстановкой того времени. Разнообразные труды по истории проблемы параллельных, указывавшие на острый интерес многих математиков к этой теме, подводили к выводу о невозможности доказать постулат. К такому заключению пришел, в частности, один из талантливейших математиков XVIII в. И. Ламберт. Оставалось перейти духовный Рубикон, т. е. признать возможность геометрии, в которой парадоксальным образом не выполняется классический постулат параллельных. И здесь могли сыграть стимулирующую роль те глубинные изменения в самом стиле мышления, которые определяли нестандартный, новаторский подход к целому комплексу политических, философских, научных вопросов той революционной эпохи.

В политической экономии и философии, в литературе, музыке и иных сферах духовной жизни происходил переход к новому восприятию мира. В этом смысле творчество Лобачевского и других первооткрывателей новой геометрии оказывается в одном ряду с философией Г. Гегеля, идеями А. Сен-Симона, романтизмом Дж. Байрона, В. Гюго и раннего А. С. Пушкина, с музыкой Р. Шумана и Ф. Шопена и другими проявлениями идейного переворота умов и чувств времен Великой французской революции.

НОВЫЕ КНИГИ

Биология

Н. П. Бочков, А. Н. Чеботарев. НАСЛЕДСТВЕННОСТЬ ЧЕЛОВЕКА И МУТАГЕНЫ ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ. М.: Медицина, 1989. 272 с. Ц. 2 р. 20 к.

В книге сделана попытка одновременно показать биологический, медицинский и гигиенический аспекты в проблеме мутагенеза у человека. Рассматриваются общеприкладные основы мутагенеза, основные закономерности возникновения мутаций под влиянием ионизирующих излучений и химических веществ. Обобщаются современные данные об интенсив-

ности спонтанного и индуцированного мутагенеза в зародышевых и соматических клетках человека. Излагаются принципы генетического мониторинга популяций и прогнозирования опасности индуцированного мутагенеза.

При построении общей схемы мутагенеза у человека учитываются некоторые закономерности, установленные еще в 60—70-годы, но основное внимание обращено на те закономерности и методы, которые выявлены и разработаны в последнее время: молекулярно-биологические методы учета мутаций,

популяционные оценки действия факторов окружающей среды на наследственность человека, принципы химической дозиметрии мутагенов в организме человека. Отмечены перспективные направления исследований.

Авторы ставят перед собой задачу не только представить новые данные и концепции, но и привлечь внимание генетиков, гигиенистов, экологов, эпидемиологов и других специалистов к проблеме оценки генетического груза у человека.

Л. А. Китаев-Смык

Стресс и психологическая экология



Леонид Александрович Китаев-Смык, кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник Института психологии АН СССР. Специалист в области психологии стресса, экологической психологии. Автор книги: *Психология стресса*. М., 1983.

СЕГОДНЯ с особой остротой ставится вопрос об удовлетворении потребностей людей в нормальных, т. е. не вредящих, условиях жизни. К ним относятся не только потребности в нормальной пище, воде, воздухе, жилище и т. п., но и потребность в нормальном духовном климате. Пренебрежение экологией «вещественной» ведет к ухудшению телесного здоровья. Игнорирование законов и требований экологии «психической» — к моральной, культурной, а затем интеллектуальной деградации.

Уже с зачатия на зародыш влияет окружающая среда. И это не только физические и химические воздействия (помня об этом, женщина задолго до зачатия не должна употреблять алкоголь, никотин и т. п.), но и — психологические. «Симфония Бетховена слышна в лоне матери, как за тонкой стеной панельного дома», — пишет один из сторонников психологической экологии чешский писатель М. Черноушек¹. Это обстоятельство до сих пор не учитывается и в обыденной жизни, и в научных рекомендациях для беременных женщин. У многих народов существуют обычаи ограждать беременных от неприятных чувств, нервных потрясений. Считается, что плоду может быть причинен ущерб, он способен испытать стресс, если мать увидит что-нибудь страшное, уродливое. Результаты исследований указывают, что ребенок в утробе матери реагирует на внешние звуки, в частности на ее пение. Предполагают, что на последних месяцах беременности происходит подготовка плода к овладению после рождения речью. По-видимому, нервную систему плода «готовят» звуки голоса матери².

И после появления на свет новорожденный большую часть времени нуждается в материнской близости: ее тепле, запахе, звуках ее голоса и, главное, как обнаружили исследователи, ее прикосновениях. Младенцы, особенно недоношенные, растут тем быстрее, чем чаще и дольше они соприкасаются с матерью, чем больше она трогает

¹ Черноушек М. Психология пространственной среды. М., 1989. С. 48.

² Verney T., Kelly J. The Secret Life of the Unborn Child. N. Y., 1981.

их, гладит, держит на руках, ласкает. Размещение новорожденных отдельно от матери, тем более их кормление в первые дни не материнским молоком, а искусственными смесями, — «ошибки роста» нашей медицинской науки.

Наилучшая среда для младенца — около матери с ее заботой и любовью. Существует много научных подтверждений мысли Черноушек о том, что ранняя оторванность ребенка от матери «прорастает в психопатологические явления, оказывающие большое влияние на формирование у личности эмоционально обедненного сознания, которое не может найти среду обитания, так как не встретило ее в момент возникновения основных эмоциональных координат отношения ребенок — мать»³.

Однако не только материнская защита и поддержка, но и собственная активность необходимы для нормального развития. Активное познание пространства начинается со знакомства ребенка со своими возможностями. Он кричит, агукает и при этом слышит себя. Его губы и язык ощущают друг друга. В эту игру вступают руки и ноги. Изучая «географию» своего тела, его выпуклости и углубления, он получает самые первые сведения для создания в последующем представления о себе как о некотором центре переживаний.

Взрослея, ребенок осваивает мир игрушек. Их можно увидеть, ухватить, полизать, отбросить. Но отбросить не навсегда. Мама возвратит «убежавшую» игрушку и улыбнется, что-то скажет. С помощью игрушек ребенок знакомится с чувствами взрослых к нему, проверяет их доброту и свою защищенность. А его чувства и мысли, обращенные к взрослым, укрепляются и разнообразятся «общением» с игрушками. Формируется «мир фантазии». Это как бы идеальное внутреннее пространство, которое потом разовьется в пространство идей, представлений, переживаний, мечтаний. И, вероятно, не за горами время, когда проблемы «экологии» этого идеального мира, борьбы с разрушением морали, потерей идеалов, влечением к недостойному окажутся для нас не менее важными, чем проблемы охраны среды обитания.

ПРОСТРАНСТВО ОБИТАНИЯ

Мы изменяемся и телом, и душой, ежедневно взрослеем, проходя то легким, то трудным путем по жизненному простран-

ву. Это и реальное пространство города или села, и «пространство» раздумий, печалей, веселья, обид и любви. Внешний мир действует на человека разными способами.

Человечество не может далеко оторваться от естественной, первозданной природы, в лоне которой оно возникло и существовало тысячелетия. В отпуск мы хоть ненадолго стремимся из городов в леса и поля, на морские пляжи или к заснеженным вершинам гор. Не довольствуясь этим, мы «внедряем» природу в свой повседневный быт. Это и цветы на окнах, и собака или кошка в доме.

Природа в доме — хорошо. Но в домах с людьми живут другие люди, а также вещи. Пространство квартиры, как только в нее вселяется семья, начинает влиять на ее членов. Ее мебель и интерьер оказывают на них психологическое воздействие в то время, когда они особенно восприимчивы к этому. После трудового дня, обязательного общения с сослуживцами, уличной толчеи, вернувшись домой, мы расслабляемся, «отключая» психологическую защиту. Пространство дома, семьи — близкое, доброе, родное — оказывает не всегда заметное, но мощное восстановительное влияние. Если же интерьер квартиры сделан не «по душе», если взаимоотношения в семье сухие или, хуже того, нервные, грубые, каждый из нас оказывается в западне: все плохое действует на незащищенную психику, терзая и еще больше ослабляя ее. Беспорядок в квартире — это и показатель, и причина беспорядка в жизни. У многих народов главное в семейной жизни — чистота в доме.

Даже для людей, не выезжающих из города или сельской местности, мир стал доступным благодаря кино и телевидению. Но у экрана человек, как правило, обречен на пассивность созерцателя. Свобода его действия простирается не дальше ручки выключателя (сейчас много пишут и говорят о деформации психики из-за чрезмерного времени, проводимого у телевизоров).

Активная сиюминутная сопричастность жизни, удаленной на тысячи километров, стала возможной благодаря телевизионным мостам. Участвуя в организации первых мостов и опрашивая многих присутствовавших на них, автор обнаружил у большинства сильный стресс. Это был приятный стресс, с интенсивными, «пронизывающими» переживаниями — своего рода эмоциональное потрясение. Оно усиливалось неприужденностью. «Эй, толстяк в красной рубаше! — кричал парень с экрана. — Ты на самом деле есть? Или мне дурят голову видеокли-

³ Черноушек М. Цит. соч. С. 36.

пом?» И толстяк в красной рубаше и с красным от волнения лицом, чувствуя, что происходит нечто ранее невообразимое, улыбался, размахивая руками и орал в ответ: «Да! Я — есть! Вот — я!». Во время первого моста у опытного телеоператора по щекам текли слезы. «Это самый счастливый день моей жизни!» — говорил он. Ничего подобного не ощущается, если смотреть запись телемоста по домашнему телевизору. Но и тогда, даже в случаях, когда аудитории на обоих «концах» специально подобраны (ученые, дети или женщины), — наверное, многие испытали новое ощущение целостности пространства нашей планеты и единения ее жителей.

ЗВУКОВОЕ ПРОСТРАНСТВО И ШУМ

Почти у каждого крик ребенка вызовет острое желание помочь. Монотонный звук дождя усыпляет. А если его усилить до уровня гула станков в цехе или вереницы несущихся самосвалов? Это уже может стать причиной стресса и заболеваний. Громкий постоянный шум неминуемо вызывает нежелательные физиологические и психологические реакции. Среди первых наиболее неприятно ускорение старения организма. Людям среднего и старшего возраста хорошо знакомы чувства утомления, душевного опустошения, разбитости, довольно скоро возникающие в шумной обстановке. Эти чувства не только результат утомления, невротизации, но и предвестники дряхления. Исследователи обнаружили, что длительный шум — одна из основных причин равнодушия, ослабления сопереживания в беде.

Внезапный громкий, как выстрел, выхлоп или скрежет тормозов автомобиля, громоподобные звуки от самолетов в момент превышения ими скорости звука особенно опасны для детей. Неожиданный сильный звук может на многие годы вызвать заикание, эпилепсию, нарушить интеллектуальное развитие.

«Звуковой удар» у всякого человека вызывает испуг. Одни в страхе напрягаются, бегут, не понимая куда, другие, напротив, обмякают, ощущая слабость в ногах и руках, покрываются испариной. И чем сильнее звуковой удар, тем больше «обмякших». На это, в частности, рассчитана артиллерийская подготовка перед боем.

ПРОСТРАНСТВО РАБОТЫ

Первые шаги на пути к тому, чтобы стать Человеком, наш далекий предок сделал, начав использовать орудия труда. Палка удлиняла руку, топор усиливал его удар,

копалкой удобнее, чем руками, было ковырять землю в поисках съедобных корней.

Орудия труда стали своеобразными искусственными органами, не только увеличивающими возможности человека, но и отделяющими его во время работы от непосредственного соприкосновения с природой. Искусственная «прослойка», которую образуют сложнейшие современные орудия производства, почти закрыла от нас естественную среду. Возможно, в этом одна из причин нашего отчуждения от природы и равнодушия к ее разрушению.

Мы затронем здесь лишь один аспект этого отчуждения, который связан с «компьютерным стрессом», ибо компьютер скоро станет неотъемлемым атрибутом рабочей и домашней среды нашего обитания. Каков путь совершенствования рабочего пространства, приведший нас на порог компьютеризации человеческого общества, есть ли опасности на этом пути?

У многих имеющих дело с компьютерами возникает своего рода влечение к ним. Оно появляется в связи с тем, что человек сначала вводит в компьютерную память результаты своей мыслительной деятельности, а затем, «общаясь» с компьютером, ведет диалог как бы с самим собой, но воссозданным в электронной памяти и логике, ощущает себя и творцом, и властителем, и игроком. Это увлекает и радует, создает чувство удовлетворения. Такие переживания от «общения» с компьютером снимают утомление, улучшают запоминание, ускоряют обучение.

У отдельных лиц может возникать своего рода «компьютерное сладострастие», когда, забыв обо всем на свете, они ограничиваются работой с компьютером, иногда полезной, но подчас в ущерб своим обязанностям и здоровью. Немало владельцев персональных компьютеров жалуются на непонятные тревожные чувства, возникшие с тех пор, как у них в доме появился этот неоценимый помощник. Тревожность особенно сильна у тех, чей компьютер связан с другими и банками данных вычислительных центров и компьютеризированных библиотек. Это чувство может переходить в стресс, в частности, из-за опасения, что результат твоих интенсивных интеллектуальных усилий, заложенный в памяти компьютера, «высосет» некий безликий сверхразум, что продукт твоего интеллекта использует неизвестно кто и как.

Да и на службе также люди нередко боятся кражи их интеллектуальных сокровищ, хранящихся в компьютере. И не напрасно — в ряде стран уже действуют

преступные синдикаты, специализирующиеся на воровстве идей и денежных вкладов, доверенных компьютеризированным хранилищам.

ВНУТРЕННЕЕ ПРОСТРАНСТВО ЧЕЛОВЕКА

Наше индивидуальное внутреннее пространство — сложнейшая система физиологических и прочих механизмов и процессов, огромный мир, заключенный в теле. Некоторые национальные традиции ряда стран Востока, например Индии, помогают людям лучше ощущать свое тело и внутренние органы. Это способствует управлению физиологическими процессами, казалось бы, не подвластными нашей воле, помогает излечению от некоторых заболеваний.

Есть еще одно «внутреннее пространство», которое ощущает в себе каждый человек. Это «пространство» чувств, мыслей, духовных устремлений, т. е. всего того, что позволяет каждому из нас считать себя личностью, ощущать и осознавать свое «я». В этом — психологическом — пространстве обитают радость и горе, любовь, сочувствие и неприязнь, упрямство и расхлябанность, и многое-многое другое. Внутренний мир каждого человека во многом уникален. Но есть качества, позволяющие различать типы людей по способностям, по характеру. Это типологические, точнее, индивидуальные различия. Многочисленные особенности человека могут как бы «наслаиваться» одна на другую, создавая сложную неповторимую личность.

ПСИХОЛОГИЧЕСКОЕ ПРОСТРАНСТВО И СТРЕСС

В наше время эмоциональный стресс все чаще становится причиной тягостных переживаний, нарушений общения людей и заболеваний, получивших название «болезни стресса».

Много сил и средств тратится на защиту природы от неблагоприятных влияний со стороны человека, неизбежных в ходе научно-технического прогресса. Но и сам человек должен рассматриваться как важнейший элемент природы, который надо защищать.

В прошлые тысячелетия люди боролись с дикой природой — хищниками, стихийными бедствиями, эпидемиями. Для защиты от нее человечество окружило себя искусственной средой с городами и заводами, университетами и больницами, автомобилями и телевидением, зонами отдыха и многим

другим. И тут обнаружилось, казалось бы, странное явление. Искусственная среда сама стала наносить удары по людям. Особенно болезненные удары, приводящие людей к стрессу, наносит нерационально организованная психологическая среда. Причиной стресса могут стать излишне интенсивный или монотонный ритм работы и жизни, лишающий людей радостей многодневных празднеств, карнавалов, фестивалей. А они необходимы для полного восстановления работоспособности и жизнеспособности после тяжелой работы, не оставляющей сил для общения, учебы, творчества. Тягостен стресс из-за отсутствия условий для свободного волеизъявления, без чего невозможно развитие многих лучших способностей человека, и многое другое. Проблемы психологической экологии с каждым днем становятся все злободневнее, так как неблагоприятные влияния на психику со стороны пространства, где живут и работают люди, все усиливаются.

Эмоциональный стресс проявляется в двух обликах. Как кратковременная вспышка эмоций, под внешним проявлением которых скрываются сложные физиологические, биохимические процессы. И как длительное напряжение со сложными изменениями поведения, мышления, взглядов на жизнь и т. п. Распространена классификация людей по их поведению в критических ситуациях. У одних при сильном эмоциональном напряжении в кровь выделяется много гормона норадреналина. Такие люди при стрессе отличаются уверенностью, решительностью, смелостью. При встрече с опасностью они могут быть гневными, яростными. Психолог М. Франкенхойзер предложила называть их «львами». У других в экстремальных условиях в кровь выделяется адреналин. При стрессе они не уверены в себе, а иногда боязливы и даже плаксивы. В критические моменты они легко поддаются панике или впадают в депрессию. Такие люди названы «кроликами»⁴.

Знание этих различий полезно для выбора правильного поведения в стрессовой ситуации. Возьмем такой случай: назревает бытовой конфликт, а уйти от него не позволяет обстановка. Например, вы едете в битком набитом автобусе. Взглянув на того, кто затевает скандал, постарайтесь определить, «свиристый лев» это или «разбушевавшийся кролик». Если «лев», посадите его в «клетку» юмора, постарайтесь доброй шуткой остудить его гнев, не обидев, рассмешить его;

⁴ Франкенхойзер М. Некоторые аспекты исследований в физиологической психологии // Эмоциональный стресс. М., 1970. С. 24—36.

если «кролик» — дайте ему «морковку доброты», скажите что-нибудь любезное спокойно и доброжелательно. Он утихомирится и будет рад простить все своим обидчикам. Старайтесь не ошибиться, определяя тактику «психотерапии». «Лев», когда он озлоблен, не оценит доброты, а шутка, даже добродушная, может расстроить «кролика». А если «кролик» — женщина, то тут и до слез будет недалеко.

ДЛИТЕЛЬНЫЕ ДЕФОРМАЦИИ ПСИХОЛОГИЧЕСКОГО ПРОСТРАНСТВА И «СТРЕСС ЖИЗНИ»

Неприятности нередко бывают долги. Они создают, по выражению канадского физиолога Г. Селье, «стресс жизни». Как говорится, «пришла беда — открывая ворота». Тягостные события насаиваются одно на другое и бывает трудно понять, какая невзгода больше действует на человека, от чего в первую очередь надо его спасать. Длительный стресс из-за нескончаемой череды неприятностей, даже если они приходят «малыми порциями», значительно хуже для человека, чем однократное, пусть даже сильное, но быстро проходящее переживание. При таком стрессе, рождающем чувство безысходности и беспомощности, возникают многочисленные «болезни стресса». Многие западные авторы называют их «болезнями цивилизации». Но это название неточно. Не всякие цивилизации несут с собой «болезни стресса». Древние цивилизации Индии, Китая, американских индейцев и коренных жителей Африки имели высокую культуру и сложные социальные отношения. Но для этих цивилизаций «болезни стресса» не были характерны. Только во второй половине нашего столетия эти болезни стали распространяться в странах с развитой индустриальной цивилизацией. Сейчас уже говорят об «эпидемии болезней стресса». Какие это болезни? Наиболее часты инсульт, инфаркт, язвенная болезнь. Стресс нередко становится причиной диабета, глаукомы, геморроя, пародонтоза. При стрессе легче возникает простуда, хуже заживают раны. Стало известно, что раком чаще заболевают люди, страдающие от неискоренимой беды: краха жизни, гибели супруга, банкротства. Стресс бывает важной причиной психических болезней.

СОЦИАЛЬНОЕ «ПРОСТРАНСТВО»

Изменение человеческих взаимоотношений автор исследовал в различных экстремальных условиях. При длительном стрессе

изменения в общении людей друг с другом могут и резко ухудшаться, и, напротив, стать лучше. Можно выделить три вида дезорганизующих особенностей общения — так сказать, «трехглавую гидру раздоров»⁵. У человека, изнуренного стрессом, легко возникает неприязнь ко всякой инициативе и инициаторам. Даже в мелочах. Например, кто-либо обращается к нему с вопросом. При стрессе он отвечает неприязненно, у него может мгновенно вспыхнуть раздражение, иногда скрываемое за стиснутыми зубами, нередко прорывается озлобленность. По малейшему поводу и без него в душе человека, пораженного стрессом, загорается обида. Вокруг ему чудятся несправедливости, среди соседей и сослуживцев многие видятся недостойными людьми или просто дураками, подчас без всяких оснований. Приказы часто воспринимаются как неверные, начальники как пройдохи или глупцы. Это первая неблагоприятная особенность общения при стрессе.

Вторая проявляется в том, что человеку становится неприятен, слишком тяжел груз ответственности за порученное дело и за доверившихся ему людей. Он уклоняется от обязанностей, перекладывает их на кого угодно, старается доказать свою непричастность к ошибкам и срывам в работе.

Третья особенность связана с чувством отчужденности от других людей, в том числе членов семьи и коллег. Иной человек месяцы, годы находится в состоянии стресса из-за жизненных невзгод. Тягостные мысли о том, что он никому не нужен и ему не нужен никто — постоянные его спутники. Но если уменьшится давление стресса и жизнь улыбнется человеку, его связь с людьми окрепнет.

Но при стрессе возможны не только неблагоприятные, разрушающие общение, омрачающие жизнь изменения личности. Нередко в экстремальных ситуациях «трехглавую гидру раздоров» затмевают возвышающие личность проявления.

Первая благоприятная особенность стрессового поведения — желание поддерживать лидера, доверять ему, следовать за ним в трудной ситуации. Не только за народным трибуном, вождем. При стрессе может возрастать доброжелательность к каждому инициативному человеку. Наверно, именно такие положительные психологические явления побуждают нас поддерживать человека в беде, толкают на самопожерт-

⁵ См.: Китаев-Смык Л. А. Психология стресса. М., 1983.

ование. «Заслонить грудью командира!» — подобные решения приходят в состоянии максимального эмоционального напряжения. Они, как правило, не оставляют места для сомнений и кажутся потом произвольными.

Нередко люди скромные, ничем в спокойной обстановке не выделявшиеся, в экстремальной ситуации становятся лидерами. Привлекая людей своей решимостью к действию, проснувшейся властью, они берут на себя ответственность за них, вселяют в них надежду на успешный выход из критической, опасной ситуации. Это второе благоприятное проявление особенностей личности при стрессе.

Третья такая особенность — усиление чувства взаимной симпатии, дружелюбности, «чувство локтя», уверенности, что сосед поддержит, не подведет в трудную минуту. Такие переживания рождаются прежде всего в экстремальных, опасных условиях. Пережившие эти ощущения братского единения и душевного подъема на всю жизнь сохраняют родственное отношение друг к другу.

Обращаясь к экологической психологии, надо иметь в виду, что для каждого человека, где бы он ни находился и какое бы «пространство» ни выходило на первый план, самое главное, как к нему относятся и влияют на него люди из этого пространства (члены семьи, соседи, сослуживцы, сограждане). Эти влияния суммируются, образуя «социальное пространство». Каждый на личном опыте знает, как сложны, многогранны, а иногда и тяжёлы такие влияния.

«ВЫГОРАНИЕ»

Только ли экстремальные условия могут менять отношения между людьми? Несколько лет назад американские психологи обратили внимание на то, что у некоторых людей во время, казалось бы, спокойной работы стиль общения меняется как при стрессе. Началось с того, что стали поступать жалобы на работников службы психологической и социальной поддержки, т. е. на психологов и социологов, рабочая обязанность которых — облегчать тяжелое психологическое состояние людей, попавших в беду, уменьшать их стресс, помогать советами и душевной беседой. Анализ работы этой службы выявил особую форму «болезни стресса», своего рода «болезнь общения». Ее назвали впечатляюще: «выгорание персонала», «выгорание личности» или короче — «выгорание». Главная причина — психологическое, душевное переутомление. Особенно быстро и заметно оно наступает при

чрезмерной нагрузке у людей, которые по долгу службы должны «дарить» клиентам тепло своей души. Жертвами «выгорания» в первую очередь оказываются психотерапевты (!), учителя, врачи и продавцы, т. е. профессионалы общения, призванные и обученные вежливо и душевно обслуживать других людей. «Выгорание — плата за сочувствие» назвала американский психолог К. Маслах свою книгу, где представлены результаты обширных исследований ею этого печального явления. Многочисленные проявления «выгорания» можно свести к трем типам.

Первый — «уплощение», «притухание» эмоций, когда исчезает острота чувств и сладость переживаний. Вроде бы все нормально, но... скучно и просто на душе. Не волнуют ни пламя заката, ни переливы птичьего щебета. Ослабли чувства к самым дорогим и близким людям. Даже любимая пища стала грубой и пресной.

Второй — возникновение конфликтов с клиентами. Сначала они скрытые. В кругу своих коллег начавший «выгорать» профессионал с пренебрежением, а то и с издевкой рассказывает о некоторых своих клиентах. Далее он начинает чувствовать неприязнь к ним. Сначала он сдерживает ее, затем ему с трудом удается скрыть свое раздражение, и, наконец, происходит взрыв и он выплескивает из себя озлобленность. Ее жертвой, как правило, становится ни в чем не повинный человек, который ждал от профессионала помощи или хотя бы участия.

Третий тип наиболее социально и экономически опасен для общества — это утрата представлений о ценностях жизни, т. е. состояние, в котором «на все наплевать». Человек по привычке может сохранять и апломб, и респектабельность, но приглядеться к нему. У него пустой взгляд и ледяное сердце. Мир для него безразличен.

Разрабатываемые за рубежом многочисленные методы профилактики «выгорания» направлены на ликвидацию «стресса жизни». Но они не учитывают, что в экстремальных условиях стрессовые отношения в общении возможны в обе стороны. Наряду с «выгоранием» встречается поразительный энтузиазм, питающийся сознанием того, что общество нуждается именно в тебе. «Выгорания» обычно удается избежать, если коллектив и семья поддерживают в человеке убежденность в том, что, несмотря на трудные условия жизни и работы, он сможет проявить себя достойно. Но главное, конечно, «выгорающему» необходимо отдохнуть душой и телом.

СТАРОСТЬ — ОСЛАБЛЕНИЕ СВЯЗЕЙ С «СОЦИАЛЬНЫМ ПРОСТРАНСТВОМ»

Почему на Земле жизнь рассредоточена в отдельных деревьях, животных, людях, а не воплощена, к примеру, в сложнейшем организме, расплывшемся по планете, как живой океан в «Солярисе» С. Лема. Возможно потому, что непрерывные физические воздействия на биосферу из космоса и недр планеты изменяются настолько быстро, что единая планетарная биомасса не успевала бы приспосабливаться к этим изменениям. Механизмы, приспособления, необходимые «вчера», но ненужные «завтра», должны быть отброшены «сегодня». В этом смысле смерть от старости — это «механизм популяционной селекции», позволяющий биосфере, изменяясь в соответствии с внешними требованиями, экономно поддерживать жизнь в цепи поколений.

Человек — живая частица духовного моря. Осознанные и не вполне осознаваемые ощущения того, что ты связан со всеми людьми, нужен человеческой популяции — это психологический механизм, поддерживающий жизнь в человеке. Ослабление в старости контактов с «социальным пространством» изменяет поведение человека. Он невольно стремится подчеркнуть свою полезность и значимость для окружающих, как правило не осознавая изменений своего поведения и не понимая его причин. Это проявляется в растущей склонности поучать, приказывать. Человек может стать сварливым, назойливым, неуступчивым. Все эти особенности поведения бессознательно направлены на то, чтобы «притянуться» к людям и помочь им советом, подсказкой, приказом, понуканием, строгостью или лаской. Но обычно такие действия старых людей только ухудшают отношение окружающих к ним.

При нормальных проявлениях уважения, признательности, благодарности, душевности стареющий человек уже не способен воспринимать их адекватно, они не достаются ему в полной мере, хотя крайне нужны. Поэтому не надо бояться дарить пожилым людям даже чрезмерные знаки признания за их настоящие и бывшие заслуги, сверх меры одаривать их вниманием и поощрениями. Совершенно необходимы им и сильные нагрузки, поддерживающие в них ощущения собственной пользы и значимости смысла жизни. Так можно заметно замедлить старость и дряхление.

У многих народов существуют традиции особого почитания стариков. В Средней Азии и на Кавказе аксакал (белобородый) окружается почитанием независимо от его

прежней должности и освобождается от чрезмерных житейских нагрузок. Благодаря этому, во-первых, замедляется изнашивание организма, во-вторых, он приобретает право (и время) проявить свою мудрость и, наконец, в-третьих, ему легче и приятнее быть всеми уважаемым старейшиной, чем занимать беспокойную должность. Благодаря этому старики не засиживаются на государственной службе.

За последние десятилетия во многих странах продолжительность жизни значительно увеличилась и число стариков стремительно растет. Только в нашей стране лиц пенсионного возраста около 60 млн. Давно пора подумать о психологической экологии пожилых людей.

О ГЛАВНОМ В ПСИХОЛОГИЧЕСКОЙ ЭКОЛОГИИ

Сегодня, во время перестройки народного хозяйства и государственного аппарата страны, было бы непростительным благодушием не сказать, хотя бы коротко, о влиянии политических событий на психику людей. Масштаб такого влияния для духовного здоровья и счастья народа становится особенно очевидным, когда политические решения отклоняются от гуманистической (общечеловеческой) нормы. Исторические события оказывают огромные воздействия на человеческую психику. Поэтому можно говорить о «политико-психологической среде» обитания людей и о «культурно-исторической экологии», более того, об «экологии духа».

Массовые репрессии недавнего прошлого породили стрессовую атмосферу в стране. Души всех в ту пору разедал страх перед неотвратимой и незаслуженной карой, а ужас перспективы стать очередной жертвой делал людей податливыми влиянию браваурной официальной демагогии, призывавшей к всеобщему ликованию и энтузиазму.

Упрощение представлений о добре и зле повлекло за собой утрату многогранности жизненных реалий, презрение к сложнейшему культурному наследию большинства наций нашей страны, осуждение искусства и науки. Революционный аскетизм, т. е. пренебрежение своей жизнью для всеобщего блага, блага абстрактно-обобщенного народа, порождал пренебрежение заботами, имуществом, да и жизнями миллионов конкретных людей. Обратной стороной вождизма (т. е. культа вождей-«аскетов»), почитания отцов народа, всеобщих друзей-благодетелей стал «культ» поиска врагов народа. Дамоклов меч висел над каждым, порождая всеобщий страх, выжигавший человечность, разобщавший людей, парализовавший волю,

совесть и гражданскую активность. При этом закономерно уничтожались прежде всего сколько-нибудь неординарные личности.

Атмосфера страха и бесправия создавалась по «воле народа» — т. е. якобы отражала потребности большинства населения. Тирания осуществлялась от имени народа кликой «вождей», узурпировавших власть. Практически любой человек своими индивидуальными потребностями в глубине души чувствовал себя участником «меньшинства», т. е. потенциальным изгоем и преступником. Репрессии в адрес «меньшинства» деморализовали все общество, создавали горе и страх, всеобщий конформизм и «лагерную психологию».

Порочность признания приоритета политико-экономической среды ведет, среди прочего, к искажениям социальной, производственной среды. Нашим руководителям показалось заманчивым интенсифицировать производство, экономия на средствах для эмоционального отдыха, восполнения душевных затрат. С этой целью «отдыху» противопоставили «праздность», заодно подсократив время «праздников». Из-за этого накапливалось душевное утомление, угнетенность — вплоть до оскудения души, ее «выгорания» — у человека либо регулярно перерабатывающего, либо регулярно недополучающего необходимого удовлетворения (материального и морального) за труд. Возникла

диспропорция между отдачей трудящихся и возданием им по заслугам. Это рано или поздно приведет не только к снижению производительности труда, большей инваливности, более высокой смертности, но и к деморализации и дегуманизации общества — деградации культуры, к преступности, аморальности, алкоголизму и т. д. Репрессивная сверхмобилизация ресурсов страны произвела опустошительную эрозию не только в ее экономике, но и в душах ее граждан, ослабив их способность жить энергично, радостно и предприимчиво.

Провозглашенная перестройка общества должна вестись без судорожной поспешности, которая может вызвать срыв из-за истощения тех или иных ресурсов, без озлобленности в адрес «меньшинства», даже если это «бюрократическое меньшинство» (вспомним не столь давнюю травлю «меньшинства»). В психологическом смысле перестройка — это человечность друг к другу, энтузиазм во всех полезных делах, улучшение психологической среды на работе, дома и в обществе.

Именно поэтому резко возрастает роль психологической грамотности и становится жизненно необходимым развитие психологической экологии, которая уже сегодня дает нам важные знания о том, как найти гармонию во внешних и внутренних психологических пространствах.

ВНИМАНИЮ ЧИТАТЕЛЕЙ!

Предлагаем книги издательства «Наука»:

Лучник З. И. ДЕКОРАТИВНАЯ ДОЛГОВЕЧНОСТЬ КУСТАРНИКОВ В КУЛЬТУРЕ. 1988. 104 с. 1 р. 10 к.

В монографии рассмотрен богатый ассортимент кустарников. Приведены сведения о размерах растений, их развитии и долговечности, о возможности и способах омолаживания разных видов, об уходе за ними в период старения.

Чайлахян М. Х. РЕГУЛЯЦИЯ ЦВЕТЕНИЯ ВЫСШИХ РАСТЕНИЙ. 1988. 560 с. 5 р. 50 к.

В основе изложения лежит выдвинутая автором в 1937 г. гормональная концепция цветения (гипотеза флоригена), а также дальнейшее поэтапное развитие этой концепции, в настоящее время известной как гормональная теория цветения растений.

Заказы направляйте по адресу: 117393 Москва, ул. Академика Пилюгина, 14, корп. 2. Магазин «Книга — почтой» «Академкнига».

Золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1988 г. — С. Л. Соболеву и Ж. Лерэ

Президиум Академии наук СССР присудил высшую награду АН СССР — золотые медали им. М. В. Ломоносова за 1988 г. академику С. Л. Соболеву (посмертно) и профессору Ж. Лерэ (Франция) за выдающиеся достижения в области математики.

РАБОТЫ Сергея Львовича Соболева оказали огромное влияние на развитие современной математики, обогатили науку новыми идеями, методами, понятиями, создали новый аппарат исследований, положили начало новым теориям и направлениям в математике и ее приложениях. Он внес фундаментальный вклад в теорию уравнений с частными производными, математическую физику, теорию функций и функциональный анализ, теорию упругости, вычислительную математику, математический анализ и ряд разделов прикладной математики.

Он ввел в математику важнейшее понятие современной математики: обобщенной функции, обобщенной производной и обобщенного решения дифференциального уравнения. Одним из первых Соболев стал применять идеи и методы функционального анализа при исследовании задач для уравнений с частными производными, при изучении конкретных задач математической физики. Создание теории обобщенных функций — крупнейшее достижение математики XX в. Построенная им теория функциональных пространств, называемых теперь пространствами Соболева, теория вложения этих пространств составляют основу современных методов исследования уравнений с частными производными. И не случайно издаваемые ежегодно у нас в стране и за рубежом десятки книг по теории

уравнений с частными производными, математическим проблемам механики и физики почти все без исключения содержат главу или несколько параграфов под названием «Пространства Соболева», «Теоремы вложения Соболева». Более того, пространствам Соболева посвящены целые монографии. Теоремы вложения Соболева стали необходимым инструментом современного исследователя, занимая такое же место в работах по уравнениям с частными производными, как теорема Пифагора или бином Ньютона в элементарной математике.

С. Л. Соболев родился 6 октября 1908 г. в Петербурге. В 1924 г. он окончил среднюю школу и поступил в Первую художественную студию по классу фортепиано, которую окончил в 1928 г. В 1925 г. он был принят на физико-математический факультет Ленинградского университета. После окончания ЛГУ Соболев начинает работать в теоретическом отделе Сейсмологического института АН СССР под руководством В. И. Смирнова. В 1932 г. он переходит в Математический институт им. В. А. Стеклова АН СССР и в 1934 г. переезжает в Москву в связи с переводом туда Академии наук. Вскоре он назначается заведующим отделом дифференциальных и функциональных уравнений и математической физики. Одновременно он работает на механико-математическом факультете МГУ на кафедре дифференциальных уравнений. В 1939 г. Соболев

был избран действительным членом АН СССР и долго оставался самым молодым ее членом. С 1952 г. он возглавляет первую в нашей стране кафедру вычислительной математики. Идеальная и методическая направленность кафедры стала образцом для подобных кафедр других университетов.

С 1943 по 1958 г. Соболев работает в Институте атомной энергии, занимаясь вместе с группой физиков проблемой использования атомной энергии. За эти работы Сергей Львович дважды был удостоен Государственной премии СССР, а также звания Героя Социалистического Труда.

В 1958 г. Соболев переезжает в Новосибирск. Вместе с М. А. Лаврентьевым и С. А. Христиановичем он был инициатором создания научных центров на востоке нашей страны. Соболев возглавил Институт математики СО АН СССР. За короткое время под его руководством институт стал одним из крупнейших математических центров страны, в котором работами Сергея Львовича были представлены все важнейшие направления современной математики.

Соболев одним из первых в 50-е годы выступил в защиту кибернетики, сделал ее важным направлением института, способствовал ее становлению в Сибири. Благодаря ему в СО АН активно развивались и математические методы в экономике.



С. Л. Соболев

Еще в 30-е годы он неоднократно выступал в поддержку этого направления, которое многими долго не признавалось. Более того, в 40—50-х годах такие исследования сталкивались с некомпетентным вмешательством и даже преследовались. Публичные выступления Соболева в защиту этих направлений требовали подлинного научного и гражданского мужества.

Сергея Львовича всегда глубоко волновали проблемы образования. На эту тему он неоднократно выступал в печати.

В Новосибирске он написал фундаментальную монографию «Введение в теорию кубатурных формул», изданную в 1974 г. Эта книга, содержащая много глубоких идей и тонких результатов, подвела итог длительным исследованиям автора.

В 1984 г. в связи с ухудшением здоровья Соболев переезжает в Москву и возобновляет работу в Математическом институте.

3 января 1989 г. С. Л. Соболев скончался.

Он был иностранным членом Парижской академии наук, Национальной академии деи Линчеи в Риме, Академии наук ГДР, почетным членом Московского математического общества, Эдинбургского королевского общества, почетным доктором ряда университетов, удостоен четырех Государственных премий.

Он создал большую научную школу. Влияние его работ

на развитие математики постоянно усиливается, они вошли в золотой фонд математической науки¹.

Жан Лерэ — крупнейший математик нашего времени, обогативший математическую науку важными открытиями. Им введены новые понятия и методы, получены результаты, оказавшие большое влияние на развитие таких разделов математики, как теория уравнений с частными производными, математические проблемы гидродинамики, функциональный анализ, алгебраическая топология, теория функций многих комплексных переменных и других. Его идеи развивались многими известными математиками, работавшими в самых разных областях математики и ее приложений. Для всего творчества Лерэ характерна тесная связь наиболее абстрактных областей математики с конкретными задачами математической физики. Сам он отмечал, что его интерес к механике заставлял его развивать математический анализ и алгебраическую топологию.

Ж. Лерэ родился 7 ноября 1906 г. в г. Нанте (Франция). В 1926—1928 гг. он учился в Высшей нормальной школе в Париже. Большинство известных математиков Франции — выпускники этой школы.

В 1933 г. Лерэ получил степень доктора наук в Парижском университете. Несколько лет он был профессором университета Нанси, затем — Парижского университета.

В 1940—1945 гг. Лерэ, будучи военнопленным, организовал в лагере университет для пленных офицеров. Он был его ректором и читал лекции по математике; освобожден он был из лагеря советскими войсками. С 1947 г. Лерэ — профессор Коллеж де Франс² по кафедре



Ж. Лерэ.

теории дифференциальных и функциональных уравнений.

Важнейшие открытия Лерэ относятся к теории уравнений с частными производными, гидродинамике, анализу, алгебраической топологии. Первые его работы и диссертация (1932—1934 гг.) посвящены математическим задачам гидродинамики. Он рассматривал краевые задачи для стационарной системы уравнений Навье — Стокса и, комбинируя метод интегральных уравнений с априорными оценками решений, впервые получает теоремы существования основных краевых задач. Для нестационарной системы Навье — Стокса он получил слабое (турбулентное) решение задачи Коши, т. е. решение, обходящее лишь обобщенными производными, которые теперь принято называть обобщенными производными в смысле Соболева. Он указал условия, при которых такое решение регулярно и единственно. В послед-

альных учебных планах и программах, он не выдает дипломов, не присуждает ученых степеней, не проводит экзаменов. Его профессора ежегодно читают лекции по своим новым исследованиям для всех желающих. Лекторами Коллеж де Франс были всемирно известные общественные деятели, писатели, поэты, ученые. Руководит им Совет профессоров. Стать профессором Коллеж де Франс — наивысшая честь для французского ученого, наряду с избранием во Французскую академию наук.

¹ О жизни и творчестве С. Л. Соболева рассказано в статьях: Колмогоров А. Н., Олейник О. А. // Математика в школе. 1978. № 6; 1984. № 1; Успехи матем. наук. 1988. Т. 43. № 5.

² Коллеж де Франс основан в 1530 г. и является одним из старейших научных и учебных учреждений Франции. В нем нет специ-

ние десятилетия эти работы продолжались многими математиками, но и сейчас многие результаты Лерэ остаются непревзойденными.

Задачи гидродинамики привели его к поискам общих методов исследования нелинейных уравнений с частными производными. В сотрудничестве с польским математиком Ю. Шаудером он написал знаменитую работу «Топология и функциональные уравнения», которая открыла новый этап в изучении нелинейных уравнений. Можно сказать, что почти все дальнейшие исследования разрешимости нелинейных дифференциальных и интегральных уравнений основывались на этой работе или ее обобщениях. Новый подход к исследованию нелинейных краевых задач, предложенный Лерэ и Шаудером, свел вопрос о существовании решения краевой задачи в основном к доказательству некоторых априорных оценок решения.

С 1945 по 1950 г. Лерэ занимался вопросами алгебраической топологии, при этом им были введены новые понятия и методы, предложены конструкции, имеющие исключительно важное значение для дальнейшего развития всей математической науки. Так, он ввел спектральные последовательности для расслоений и отображений, что существенно продвинуло топологию. Исследования Лерэ стимулировали развитие гомологической алгебры, введенные им в алгебраическую топологию понятия и методы нашли применения в теории однородных пространств, теории аналитических функций мно-

гих комплексных переменных, в алгебраической геометрии, теории групп, теории гомотопий, вариационном исчислении, при изучении расслоенных пространств. Успехи в этих областях математики в последние десятилетия в значительной мере связаны с использованием идей и методов Лерэ.

В 1951—1954 гг. Лерэ исследовал гиперболические уравнения. Гиперболические уравнения второго порядка были ранее изучены Ж. Адамаром и С. Л. Соболевым, а уравнения и системы более высокого порядка — И. Г. Петровским. Лерэ дал новый подход к исследованию гиперболических уравнений. Он указал простой метод получения априорных энергетических оценок решения задачи Коши для гиперболического уравнения любого порядка с помощью разделяющего оператора. Метод совпадает с классическим методом в случае уравнения второго порядка. Исследования Лерэ были дополнены Л. Гордингом (Швеция), применившим методы функционального анализа для основанного на априорных оценках Лерэ доказательства теорем существования решения задачи Коши. Написанная Лерэ книга о гиперболических уравнениях переведена на русский язык.

Следующим циклом работ были исследования Лерэ по задаче Коши для линейных уравнений с частными производными с аналитическими коэффициентами. Им рассмотрен случай, который исключается известной теоремой Коши—Ковалевской, а именно, когда в некоторых точках поверхность, на которой заданы начальные

условия, имеет характеристические направления. Он исследовал характер особенностей решения и доказал возможность его униформизации. Задаче Коши посвящено также большое число работ Лерэ последнего времени. Эти результаты нашли применения в геометрической оптике, квантовой механике, в релятивистской магнитогидродинамике и др.

Ж. Лерэ — лауреат международных премий и член многих академий мира, в том числе Парижской академии наук, Американской академии искусств и наук в Бостоне, Американского философского общества им. Франклина в Филадельфии, Бельгийской королевской академии, Академии наук в Геттингене, Национальной академии наук США, Академии наук СССР, Польской академии наук, Национальной академии деи Линчеи в Риме, Лондонского королевского общества и других. Он почетный доктор ряда университетов, кавалер ордена Почетного легиона.

Лерэ часто бывал в Советском Союзе, много раз читал лекции в Московском государственном университете и Математическом институте АН СССР, участвовал в научных конференциях в Москве, Тбилиси и Новосибирске. Долгие годы его связывала тесная дружба с С. Л. Соболевым. Имеется много общего в характере творчества этих двух выдающихся ученых.

О. А. Олейник,
доктор физико-математических наук, профессор

Московский государственный университет им. М. В. Ломоносова

Космические исследования

Экспедиция на «Мире»: февраль — март 1989 г.

В феврале — марте А. А. Волков, С. К. Крикалев и В. В. Поляков продолжали исследовательскую работу на орбите.

7 февраля автоматический транспортный корабль «Прогресс-39» был отстыкован от пилотируемого комплекса и переведен на траекторию снижения, затем вошел в плотные слои атмосферы и прекратил существование. 10 февраля запущен автоматический грузовой корабль «Прогресс-40»; 12 февраля он состыковался с пилотируемым комплексом «Мир»; корабль доставил на орбиту топливо для объединенной, двигательной установки, продукты, воду, оборудование, аппаратуру, почту. «Прогресс-40» был использован и в качестве буксира — его двигатели осуществляли коррекцию орбиты комплекса.

3 марта «Прогресс-40» был отделен от комплекса «Мир» и 5 марта прекратил существование.

Очередная серия астрофизических исследований проводилась с помощью международной обсерватории «Рентген» и телескопа «Глазар»; наблюдались рентгеновские источники X-3 в созвездии Центавр, двойная система в Малом Магеллановом Облаке, источник X-1 в созвездии Скорпион, рентгеновский пульсар Геркулес X-1.

С помощью телескопа «Глазар» сфотографированы источники ультрафиолетового излучения в созвездиях Возничий и Близнецы, проводились съемки участков небесной сферы в созвездиях Южный Крест, Волосы Вероники, Центавр.

По геофизической про-

грамме экипаж исследовал структуру и оптические характеристики атмосферы; эксперименты выполнялись с использованием электронного фотометра ЭФО-1 — измерялись изменения яркости звезды α Возничего в процессе ее захода за горизонт Земли. С помощью магнитного спектрометра «Мария» изучалась возможная взаимосвязь между интенсивностью потоков заряженных частиц высоких энергий и сейсмической активностью на Земле.

С 15 февраля 1989 г. в рамках аэрокосмического эксперимента «Кубань-89» были проведены съемки территории Крыма, Краснодарского и Ставропольского краев, Прикаспийской низменности; оценивалось состояние пахотных земель и пастбищ, велся поиск участков сельскохозяйственных угодий, подверженных эрозии и перенасыщенных минеральными удобрениями. Фотографирование и спектрометрирование земной поверхности из космоса сопровождалось одновременной съемкой с самолетов-лабораторий и наземных измерительных пунктов. Регулярно проводились также съемки отдельных районов Украины, Центрального Черноземья, Поволжья, Средней Азии и других регионов нашей страны для получения информации о состоянии озимых посевов.

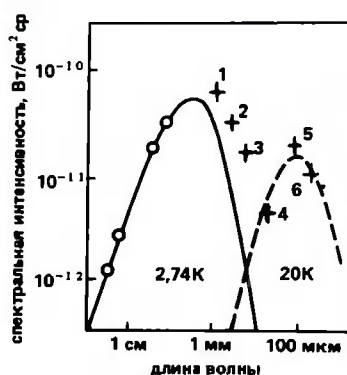
Много времени экипаж уделил медицинским исследованиям и экспериментам.

С. А. Никитин
Москва

Астрофизика

Неравновесное реликтовое радиоизлучение!

Группа исследователей из Университета Нагоя (Япония) и Университета Беркли (Калифор-



Спектр реликтового излучения (слева) и галактической пыли. Крестиками обозначены новые результаты измерений, кружками — предыдущие.

ния, США) провела новые абсолютные измерения температуры реликтового радиоизлучения в широком диапазоне длин волн: от 1,16 до 0,102 мм. Измерения осуществлялись с помощью установленного на ракете приемника, охлаждаемого жидким гелием. В результате была существенно повышена точность измерений по сравнению с предыдущими исследованиями.

Результаты оказались очень неожиданными. Дело в том, что в указанном диапазоне длин волн существуют только два мощных источника излучения — инфракрасное излучение межзвездной пыли в Галактике (с температурой примерно 20 К) и реликтовое радиоизлучение (2,7 К). Реликтовое радиоизлучение представляет собой равновесное излучение, соответствующее очень горячему состоянию ранней Вселенной. Основным его свойством должно быть точное соответствие его спектра планковскому. Но как раз это соответствие, согласно полученным данным, и не наблюдается. Самое удивитель-

ное, что отклонения в спектре (или, что то же самое, отклонение температуры, достигающее примерно 10%) обнаруживаются вблизи максимума интенсивности реликтового излучения. Объяснить такое искажение излучением видимого вещества звезд и галактик нельзя, так как число барионов примерно в 10^9 раз меньше числа фотонов в реликтовом излучении.

Если последующие измерения подтвердят полученный результат, теоретикам придется существенно пересмотреть свои представления о времени возникновения первых звезд или привлечь принципиально новые идеи. В частности, такое искажение спектра излучения может вызываться распадами тяжелых нейтрино на очень ранних стадиях эволюции Вселенной. Такую гипотезу высказали недавно советские ученые. Они вычислили параметры таких частиц, что невозможно было бы сделать по лабораторным экспериментам. Существуют и другие варианты объяснений с привлечением еще более экзотических частиц. Однако они пока плохо поддаются расчету.

В любом случае обнаруженное дополнительное излучение принципиально важно как, возможно, первое и единственное свидетельство процессов, происходивших на ранних стадиях эволюции Вселенной. Его подробное изучение позволит понять зарождение современной крупномасштабной структуры Метагалактики, оценить основные параметры расширения вещества.

Astrophysical Journal. 1988. Vol. 329. P. 567—571 (США).

Астрофизика

Фракталы в космосе

Фракталы, или фрактальные множества (от англ. *fractional* — дробный, частичный), введены в физику Б. Мандельбротом в 1977 г. Это множества, для которых размерность по Хаусдорфу больше топологической, т. е. обычной геометрической размерности. Хаусдорфова размерность характеризу-

ет множества, составляющие часть топологического множества. Обычный отрезок состоит из бесконечного числа точек. Какова размерность множества, состоящего из большого, но конечного числа точек, расположенных на отрезке? Оказывается, хаусдорфова размерность этого множества больше 0 (топологическая размерность точки), но меньше 1 (топологическая размерность отрезка), т. е. это множество не точка, но и не отрезок. Точно так же хаусдорфова размерность ломаной линии, заполняющей, например, квадрат на плоскости, больше 1, но меньше 2.

С помощью хаусдорфовой размерности можно сравнивать различные сложные структуры, ведь фрактальные свойства зависят от физических характеристик системы, в частности от типа взаимодействия в ней. Зная характер взаимодействия, можно рассчитать хаусдорфову размерность и сравнить ее с наблюдаемыми фрактальными свойствами системы.

Фракталы оказались очень полезны в астрофизике. Чтобы понять, что происходит, например, в звезде с переменной интенсивностью излучения, строят много моделей с большим числом параметров. Часто среди них трудно выделить наиболее важные. Но, как оказалось, число основных параметров, определяющих изменение интенсивности излучения, можно оценить с помощью хаусдорфовой размерности кривой блеска звезды.

Фрактальными свойствами обладают и кривые рентгеновской светимости пульсаров. Расчет хаусдорфовой размерности рентгеновской светимости Геркулеса X-1 позволил заключить, что диск вокруг пульсара в этой двойной системе имеет сложную структуру — состоит из нескольких слоев, причем внутри каждого движение вещества турбулентно (хаусдорфова размерность $D=9,09$; между слоями плотность вещества меньше, и его движение упорядоченнее ($D=2,75$)¹.

¹ *Voges M., Atmanspacher H., Scheingraber H. // Astrophys. J.* 1987. Vol. 320. P. 794.

Как показали А. А. Клыпин, Я. Э. Эйнасто и Э. А. Саар (Институт прикладной математики АН СССР и Институт астрофизики и физики атмосферы АН ЭССР), фрактальные свойства характерны и для скоплений и сверхскоплений галактик. Орбиты галактик в сверхскоплениях распределены не хаотично. Так, анализ хаусдорфовой размерности сверхскопления в созвездии Девы показал, что это сверхскопление плоское ($D=1,35$). Интересно, что на расстояниях, превышающих размеры сверхскоплений, хаусдорфова размерность распределения галактик, видимо, близка к топологической размерности трехмерного пространства, если распределение вещества в наблюдаемой части Вселенной однородно в больших масштабах (свыше 300 Мпк).

Препринт А-2 АН ЭССР. Отделение физики и астрономии. Таллин, 1988.

Планетология

Полярные шапки на Плутоне

С 1985 г. Плутон и его спутник Харон расположились так, что для земного наблюдателя они попеременно заслоняют друг друга. Взаимные покрытия продолжались еще примерно три года, и астрономы стараются как можно лучше этим воспользоваться. Так, Р. Бинзел (R. Binsel; Массачусетский технологический институт, Кембридж), наблюдая очередное покрытие планеты ее спутником, обнаружил на Плутоне полярную шапку из метанового льда. Наличие метана на планете было известно и по более ранним спектроскопическим исследованиям, но теперь надежно установлено, что он образует шапки в высоких широтах. Более того, метановые шапки, в отличие от шапок из водного льда на Земле и Марсе, лежат не на скальном (или, как в Арктике, водном) основании, а на «подложке» из замерзшего метана.

Наблюдение метановой

полярной шапки на сходном с ней фоне, к тому же в миллиардах километров от Земли, представляет огромную трудность. Ее удалось преодолеть, анализируя солнечное излучение, отражаемое поверхностью Плутона и Харона.

Поверхностный слой метана подвергается воздействию космических лучей и ультрафиолетового излучения Солнца и в результате происходящих при этом реакций превращается за длительное время в темное смолистое вещество, насыщенное углеродом. Однако, как указывает Бинзел, часть метанового льда в полярных районах Плутона может испаряться, образуя временную атмосферу, а затем снова замерзать, когда планета, двигаясь по вытянутой орбите, удаляется от Солнца. При этом возникает свежее покрытие, которое гораздо светлее поверхности, длительное время подвергавшейся воздействию ультрафиолетовых и космических лучей.

В 1986 г. орбита Харона проходила так, что для земного наблюдателя он временами загораживал северную полярную область Плутона, а временами, наоборот, планета загораживала свой спутник. Проводя наблюдения на 2,7-метровом телескопе Макдональдской обсерватории в штате Техас, Бинзел измерил отраженный планетой свет в момент, когда Харон был заслонен Плутоном. Излучение оказалось более красным, чем в период, когда спутник закрывал собой полярный район Плутона. А годом позже, в момент покрытия Хароном экваториальной области планеты, обнаружилось, что свет, отражаемый Плутоном, более синий. Отсюда был сделан вывод, что Харон и область близ северного полюса Плутона имеют «более синий» цвет, чем экваториальный район Плутона.

По мнению Бинзела, «синеватость», проявляющаяся в моменты, когда полюс планеты находится в поле зрения земного наблюдателя, может быть результатом того, что метановый лед отложился там сравнительно недавно и еще не успел потемнеть. Как считает Д. Стефенсон (D. Stephenson; Калифорнийский технологический институт, Пасадена), поверхность

темнеет за плутоианский год, т. е. около 248 земных лет.

Дальнейшие наблюдения взаимных покрытий Плутона и Харона должны привести к составлению первой, еще достаточно грубой карты целого полушария Плутона:

Science News. 1988. Vol. 134. № 10, P. 156 (США).

Физика

Сражение за восьмой знак в μ

В 1948 г. был создан метод перенормировок в квантовой электродинамике (КЭД), позволивший вычислять физические величины в виде рядов по постоянной тонкой структуры α ($\alpha^{-1}=137$). Этим методом Ю. Швингер определил первый член разложения аномального магнитного момента электрона μ (так называют различие между наблюдаемым магнитным моментом и его величиной, следующей из уравнения Дирака). В том же году Г. Фоли и Р. Каш экспериментально установили μ с точностью $2,4 \cdot 10^{-2}$.

С тех пор 40 лет теоретики и экспериментаторы соревнуются, кто точнее определит μ , поскольку расхождение между измеренным и вычисленным значениями означало бы противоречивость КЭД. Последние годы лидировали экспериментаторы — группа Г. Демелта измерила μ с точностью $4 \cdot 10^{-9}$, но недавно Т. Кинсита (T. Kinoshita; Корнеллский университет, США) вычислил поправку к μ с точностью до α^4 . Тем самым достигалась точность $4,5 \cdot 10^{-9}$, но при условии, что сама α , определяемая экспериментально, была бы известна с такой же точностью.

Разложение аномального магнитного момента $\mu = \mu_B$ (где μ_B — магнетон Бора) в ряд по степеням α/π выглядит так:

$$\mu = C_1 \alpha/\pi + C_2 (\alpha/\pi)^2 + C_3 (\alpha/\pi)^3 + C_4 (\alpha/\pi)^4.$$

Константы C_1 и C_2 вычисляются аналитически и равны: $C_1 = 0,5$; $C_2 = -0,328478965...$

C_3 , включающая 72 фейнмановских диаграммы, получена

численным интегрированием и равна $1,1765(13)$ (число в скобках означает одно стандартное отклонение: вероятность выйти за пределы одного стандартного отклонения равна 31,7 %, двух — 4,6 %, трех — 0,3 %).

Вычислением C_4 , включающей 891 фейнмановскую диаграмму, и занялся Кинсита. Вначале различными аналитическими «трюками» число независимых интегралов было сокращено до 86; затем они вычислялись методом Монте-Карло. Составленная для этих целей программа занимала около 500 килобайт, но чтобы быть уверенным в отсутствии ошибок, автор использовал две независимых версии (на составление каждой ушло около года). В результате было получено значение $C_4 = -1,472(152)$ и улучшена точность ранее известной $C_3 = 1,17562(56)$.

Чтобы сравнить теоретическое значение μ с экспериментальным, в приведенную для него формулу, помимо коэффициентов C , необходимо подставить и значение α . На сегодня ее наиболее точные значения получены из квантовых эффектов Холла (α_H) и Джозефсона (α_J):

$$\alpha_H^{-1} = 137,0359979(33),$$

$$\alpha_J^{-1} = 137,0359769(77).$$

С использованием, как более точного, значения α_H , теоретическим представлением для μ будет величина $\mu_{\text{теор}} = 1159652133(29) \cdot 10^{-12}$, причем ошибка из-за неточности в определении C_3 составит $7,1 \times 10^{-12}$, $C_4 = 4,5 \cdot 10^{-12}$, $\alpha = 28 \cdot 10^{-12}$.

Итак, $\mu_{\text{теор}}$ расходуется с экспериментальными значениями μ_- и μ_+ , определенными для электронов и позитронов, примерно на два стандартных отклонения:

$$\mu_- = 115\,965\,218,8(4,3) \times 10^{-12},$$

$$\mu_+ = 115\,965\,218,7(4,3) \times 10^{-12}.$$

Но было бы поспешно делать вывод о противоречивости КЭД, так как главный источник ошибок в определении $\mu_{\text{теор}}$ — погрешность в экспериментальном значении α (даже α_H и α_J расходятся между собой на несколько приведенных ошибок).

Только устранение расхождения между α_1 и α_2 , или иное, более точное, измерение α позволит проверить самосогласованность КЭД.

Препринт CERN-TH. № 5097. 1988.

Физика

Измерена скорость геодезической прецессии Луны

Одно из следствий общей теории относительности — необъяснимая в рамках законов Ньютона геодезическая прецессия Луны (медленное по сравнению с ее обращением по орбите вращение вектора нормали к плоскости орбиты). Эту прецессию можно объяснить суммой чисто геометрического эффекта поворота вектора момента при параллельном переносе по замкнутому контуру в криволинейном пространстве и эффекта спин-орбитального взаимодействия, аналогичного рассматриваемому в квантовой механике. Прецессия предсказана В. де Ситтером в 1916 г.; по его оценкам, скорость прецессии $2''$ в столетие.

Группа И. Шапиро (I. Shapiro; Гарвардский астрофизический центр, Кембридж, штат Массачусетс) по данным лазерного слежения за Луной с 1970 по 1986 г. определила скорость прецессии Луны; причем результат наблюдения совпал с теоретическим предсказанием с точностью до 2 %.

Трудность оценки заключалась в необходимости выделить геодезическую прецессию на фоне прецессии, вызываемой различными нерелятивистскими эффектами, обусловленными несферичностью Земли, влиянием других массивных тел (планет и астероидов), приливными силами.

Скорость геодезической прецессии оценивалась и раньше. В 1960 г. И. Шапиро с сотрудниками проанализировали данные 350 тыс. оптических наблюдений Луны с 1950 г. В анализ включались также результаты радарного слежения за Луной и космическими кораблями. Однако из-за невысокой

точности данных полученный результат выглядел прикидкой: $1,5 \pm 0,6''$ в столетие.

Проверить предсказания де Ситтера можно и определив вклад геодезической прецессии в полную прецессию оси вращения Земли. Эта величина вычисляется с достаточной точностью из накопленных наблюдений за внегалактическими радиоисточниками, необходимо только выделить ньютоновский член, зависящий главным образом от степени несферичности Земли. Для его вычисления использовалась сейсмическая модель Земли и данные слежения за искусственными спутниками. Однако добиться достаточной точности не удалось.

Еще одна попытка состояла в том, чтобы оценить несферичность Земли по ее вкладу в так называемую главную нутацию земной оси (колебательное движение, наложенное на прецессию). Расчет показал, что этот путь позволяет достичь высокой точности в определении геодезической прецессии, но данные наблюдений за нутацией земной оси по внегалактическим радиоисточникам должны собираться больше, чем 18,6 лет (это период главной нутации).

Наиболее быстро можно было достигнуть результата, используя данные лазерного слежения за Луной. Лазерный луч отражался от уголкового отражателя, установленных на Луне астронавтами с «Аполлона» в конце 1960-х — начале 1970-х годов. Именно этим методом и воспользовалась группа Шапиро.

Physical Review Letters. 1988. Vol. 61. P. 2643—2650 (США).

Биотехнология

Жидкое топливо — из водорослей

Специалисты Научно-исследовательского института солнечной энергии (США) разработали технологию использования водорослей, растущих в морской воде, в качестве сырья для получения жидкого топлива. Плантации размещали в местах, где благоприятный све-

товой режим сохранялся более полугода.

В основе технологии — переработка липидов, содержащихся в водорослях, в дизельное топливо и бензин. Если в морскую воду добавлять в определенных дозах соединения азота и микроэлементы, можно повысить содержание в водорослях липидов с длинными углеводородными цепями. При их последующей тепловой обработке в присутствии соляной кислоты и метанола получается дизельное топливо и бензин.

Авторы показали, что при продувании морской воды двуокисью углерода водоросли растут значительно быстрее: с 1 м^2 поверхности воды ежедневно можно снимать около 50 г водорослей, причем 2/3 этой массы приходится на липиды. Если в дизельное топливо будет перерабатываться 80 % липидов, водоем диаметром 20 м сможет ежегодно давать до 3000 л дешевого топлива. По мнению авторов, в будущем подобная переработка водорослей смогла бы покрыть 8 % потребностей США в горючем.

Environment. 1988. Vol. 30. № 6. P. 23 (США).

Биотехнология

На пути к искусственному мозгу

Результаты работ по созданию «думающих» компьютеров на основе биомолекул вызвали большой интерес участников Международного симпозиума по биоэлектронным и молекулярным устройствам, проведенного в конце 1988 г. в Японии.

С. Хамеров (S. Hameroff; Университет штата Аризона, США) разработал принципы разработки компьютера с элементной базой на основе микротрубчатых структур — волокон белка, находящихся в цитоплазме клеток. Он назвал эти образования «природным биологическим компьютером».

Цилиндрические белковые микроструктуры наряду с другими структурами, находящимися в цитоплазме, образуют

высокоупорядоченные, взаимосвязанные трехмерные матрицы, которые не только обрабатывают информацию, но и координируют деление клетки и передвижение белых кровяных телец. Хамеров описывает клеточную цитоплазму как твердотельную динамическую структуру, выполняющую сложные комплексные функции. К ним относятся, например, рост, формирование и обеспечение взаимодействия синапсов, осуществляющих связь нервных клеток друг с другом и с клетками исполнительных органов. Ученый надеется получить искусственную цитоплазму, способную воспроизводить работу матрицы природных цилиндрических микроструктур. В будущем такие матрицы могут послужить основой для создания ЭВМ с некоторыми функциями искусственного мозга. Первые устройства подобного вида будут состоять как из органического вещества, так и из подсоединенных к нему электронных схем. Уже разрабатывается микросхема для обработки зрительной информации. Материалом послужит бактериородопсин, родственник высокочувствительному пигменту сетчатки глаза родопсину.

Более развиты устройства из искусственного белка и органических полимеров, которые смогут распознавать различные химические соединения. На их основе удастся создать искусственные системы обоняния (надеются, что их можно будет воспроизвести уже в ближайшем десятилетии).

И. Карубе (I. Karube; Токийский технологический институт) разработал микросхему, детектирующую химические соединения ароматического ряда, образующиеся при разложении рыбы. Благодаря ей легко определить, когда рыба начнет портиться.

New Scientist. 1988. Vol. 120. № 1644/45. P. 29 (Великобритания).

Медицина

Ранняя диагностика рака

В Национальном институте рака (США) разработана но-

вая методика исследования мочи, позволяющая с высокой точностью обнаружить рак мочевого пузыря — болезнь, ежегодно поражающую в США 46 тыс. человек (умирают 10 тыс.).

Диагностика основана на обнаружении белка AMF (auto-crine motility factor), выделяемого клетками опухоли и способствующего распространению раковых клеток в организме.

Новым методом обследовали 22 больных раком мочевого пузыря и 27 здоровых людей. Все 22 случая заболевания были диагностированы, и только в двух случаях из 27 был получен ошибочный ответ.

Благодаря этой методике, как полагают авторы, удастся быстро выявить лиц, требующих более детального обследования. Становится возможной ранняя диагностика рака мочевого пузыря, позволяющая начать своевременную терапию заболевания. Метод удобен еще и тем, что не требует внешнего вмешательства.

Science News. 1988. Vol. 134. № 16. P. 252 (США).

Физиология

Аналог интерлейкина вызывает обезболивание

Известно, что интерлейкин-1 β (ИЛ-1 β), белок с молекулярной массой около 17 кД, продуцируемый клетками иммунной системы, способен усиливать болевые ощущения. Группа физиологов под руководством С. Феррейры (S. Ferreira; Медицинская школа в Сан-Пауло, Бразилия) выяснила, какая часть молекулы ИЛ-1 β отвечает за это действие. Два трипептида молекулы ИЛ-1 β при введении их подопытным животным вызывали у них такие же ощущения, что и сам ИЛ-1 β . Причиной этого оказалась активация синтеза простагландинов — низкомолекулярных гормоноподобных соединений.

Далее авторы обнаружили, что если в одном из этих трипептидов произвести только

одну аминокислотную замену, то полученный новый трипептид будет обладать уже противовоспалительным действием, подавляя действие самого ИЛ-1 β . В отличие от наркотических анальгетиков, это соединение не влияло на центральную нервную систему и не блокировало синтез простагландинов. По мнению авторов, это позволит использовать аналог интерлейкина в клиниках, не опасаясь отрицательного побочного действия на желудочно-кишечный тракт. Механизм противовоспалительного действия этого пептида изучается.

Nature. 1988. Vol. 334. № 6184. P. 698 (Великобритания).

Иммунология

Способ предупреждения беременности

Успешными оказались исследования группы П. Примакова (P. Primakoff; отделение физиологии Центра здоровья Коннектикутского университета, США), посвященные изучению способов предупреждения беременности. Известно, что поверхностный антиген спермиев морских свинок, получивший название РН-20, играет важную роль в начальной стадии процесса оплодотворения, а именно в прикреплении этих клеток к прозрачной оболочке яйца животных. РН-20 — это сложный мембранный белок, идентифицированный с помощью моноклональных антител; его молекулярная масса 64 кД.

Авторы выделили и очистили РН-20, после чего иммунизировали им морских свинок, как самцов, так и самок. У животных возникал набор специфических антител, направленных против РН-20, что в результате привело к 100 %-ному предохранению самок от беременности. В опытах *in vitro* эти антитела препятствовали прикреплению спермиев к прозрачной оболочке яйца. Важно, что не только самки после иммунизации теряли способность забеременеть, но и самцы временно теряли фертильность. Контрацептивное действие вакцинации

было длительным, но обратимым: иммунизированные самки через 6—15 мес восстанавливали способность беременеть.

Полученные данные, по мнению авторов, свидетельствуют о возможности создания такой «вакцины» и для людей, хотя свойства поверхностных антигенов спермиев человека отличаются от свойств PH-20.

Nature. 1988. Vol. 335. № 6190. P. 543—546 (Великобритания).

специалистов не прекращается дискуссия о том, в какой мере поведение человека, особенно в пожилом возрасте, может изменить степень его подверженности сердечно-сосудистым болезням.

New England Journal of Medicine. 1988. Vol. 319. P. 1366, 1379 (США); New Scientist. 1988. Vol. 120. № 1642. P. 22 (Великобритания).

Медицина

Медицина

Позаботиться о здоровье никогда не поздно

Б. Хермансон и сотрудники (B. Hermanson; Университет штата Вашингтон, Сиэтл), изучали связь между инфарктом миокарда и курением у мужчин старше 55 лет. Установлено, что те из них, которые на склоне лет отказались от табака, имели большие шансы прожить еще минимум 6 лет, чем те, кто продолжал курить. Относительный риск развития болезни для курящих по сравнению с некурящими составлял 1,7.

Дополняют эти сведения результаты работы большой группы американских физиологов, кардиологов и спортивных врачей из Стэнфордского университета (Пало-Альто, штат Калифорния), Университета штата Калифорния (Ла-Холья) и Университета штата Северная Каролина (Чепел-Хилл) во главе с Л. Экелундом (L. G. Ekelund).

Их наблюдения подтвердили, что физические упражнения, даже начатые в немолодом возрасте, способствуют продолжению жизни. Во всяком случае, инфаркт миокарда настигал тех, кто выполнял их, намного реже и позднее.

Индивидуальный уровень физического развития тесно связан с физической активностью человека. Можно заключить, что занятия физкультурой и спортом укрепляют здоровье человека, и это снижает риск сердечных заболеваний.

Несмотря на очевидность этих выводов, до сих пор среди

Пересадка донорской нервной ткани

В одном из госпиталей Торонто (Канада) в сентябре 1988 г. проведена пересадка взятого у донора седалищного нерва девятилетнему мальчику, которому грозила ампутация ноги после тяжелой травмы при аварии. До сих пор подобные операции заканчивались неудачей из-за отторжения организмом реципиента пересаженной ткани. Эту трудность обходили, пересаживая больному только его собственную ткань из другой части нервной системы. Однако существует предел длины собственной нервной ткани, которую можно взять для прививки. Для раненого мальчика он составил 40 см, хирургам же требовалось 184 см, чтобы нарастить поврежденный пучок нервов.

Канадские хирурги соединили концы разорванного нерва пучком из 8 тончайших нитей донорской нервной ткани. Привитая ткань выполняла роль временной основы, вдоль которой должна была происходить регенерация собственного нерва реципиента. Дело в том, что специфические Шванновские клетки, образующие оболочку привитой нервной ткани, выполняющая опорную и трофическую функции, участвуют также в процессах регенерации нервных волокон; они стимулируют рост пораженных нервных волокон. Скорость роста нервной ткани около 1 мм в день.

Чтобы предотвратить отторжение организмом донорской нервной ткани во время регенерации собственного нер-

ва, применяют циклоспорин, использующийся и при пересадке различных органов, но в меньших количествах (при пересадке нервной ткани доза составляет 1/3 дозы, необходимой для пересадки других органов).

После полного восстановления нерва пациента донорская нервная ткань может быть отторгнута без последствий для его организма.

New Scientist. 1988. Vol. 120. № 1635. P. 25 (Великобритания).

Биология

Температура инкубации яиц влияет на соотношение полов у змей

Соотношение полов в популяциях позвоночных животных зависит от их исходного соотношения у потомства и смертности, различной у самцов и самок. Обычно смертность первых выше, из-за чего меняется не только соотношение полов, но и соотношение средней продолжительности жизни самцов и самок.

Интересные данные о влиянии температуры инкубации яиц на соотношение полов у змей получили американские ученые из Университета Рутгерса и Объединения гиппелогических ассоциаций в Нью-Джерси. Изучение популяции сосновой змеи (*Pituophis melanoleucus*) в течение 11 лет показало, что в природе соотношение самцов и самок у этого вида составляет 0,39. Но оно не остается постоянным у групп особей различного размера: чем крупнее змеи — тем меньше среди них самцов. Инкубация яиц в экспериментальных условиях при различной температуре показала, что это соотношение изменяется от 0,11 при 21 °C до 1,4 при 32°.

Итак, температура инкубации влияет на соотношение полов в каждом поколении змей и, в конечном счете, на количество самцов и самок в популяции.

American Naturalist. 1988. Vol. 132. № 4. P. 492—505 (США).

Биология

Хищники управляют поведением жертв

Метод сигнального управления поведением насекомых, столь заманчивый для борьбы с вредителями сельского и лесного хозяйства, природа изобрела задолго до человека. Вот несколько новых наблюдений, показывающих, как один вид членистоногих, охотясь, имитирует коммуникативные сигналы другого вида.

Так называемые носатые термиты (*Nasutitermes corniger*) надежно защищены от хищников гнездом, сооруженным из самодельного картона. Если в оболочке гнезда вдруг возникнет брешь, враги едва ли смогут воспользоваться ею: солдаты, периодически патрулирующие место ведения работ, вмиг склеят врага защитным липким секретом. И все же хищный клоп-редувид (*Salyavata variegata*) приспособился успешно охотиться на этих термитов. Были проведены наблюдения за нимфами (неполовозрелыми особями) этого клопа¹. Хищник подбирается к пролому в оболочке гнезда, замаскировавшись кусочками картона, и, если посчастливится, хватает термита-работного. Высосав его, вновь возвращается к пролому с пустой шкуркой в качестве «наживки» (в соответствии с эволюционно сложившимся видовым поведением рабочие должны занести мертвую особь в гнездо); покачивая шкуркой над головой, клоп дразнит рабочих (не солдат). Как только рабочий вцепится в шкурку-приманку, клоп оттаскивает его в сторону и съедает. Лишь в редких случаях термиту удается выхватить шкурку и самому не стать жертвой клопа. Наблюдали, как за три часа охоты одна нимфа выманила из гнезда и съела 31 термита, при этом брюхо ее раздулось до невероятных размеров. Через час после начала охоты пролом был уже



Нимфа клопа *Salyavata variegata*, замаскировавшаяся кусочками картона.

заделан, и следующие два часа нимфа тыкала шкуркой в сырой картон, искусственно создавая бреши. Изредка жертвой клопа может стать и солдат; на 20 съеденных рабочих приходится один солдат.

Самки хищных светлячков рода *Photuris* подражают ритму световых всплесков самок чужих видов, чтобы привлечь их самцов и съесть². Такая агрессивная мимикрия известна по крайней мере у трех видов. Кроме того, охотящаяся самка иногда сама активно двигается к подающим световые сигналы особям других видов. В связи с этим среди исследователей возникло еще нуждающееся в детальной проверке предположение, что у данных светлячков существует и обман второго рода: самцы подражают световым сигналам чужих видов в надежде привлечь собственную охотящуюся самку и склонить ее вместо трепезы к спариванию.

Пауки рода *Mastophora* сетей не плетут, но во время охоты висят на паутинке-опоре и держат в одной из ног паутинку-аркан с липким шариком на конце. Добычей паука становятся только самцы неко-

торых видов бабочек (известно 19 видов), которые приближаются к хищнику всегда с подветренной стороны. Но если охотящегося паука посадить в экспериментальную ловушку (например, банку), то бабочки стремятся и туда. Кропотливое исследование по сбору и идентификации летучих химических веществ, выделяемых пауком, позволили заключить, что пауки продуцируют 3 или 4 из 8 компонентов половых феромонов хозяев (девяти видов ночных бабочек, в основном совок), встречавшихся в месте проведения экспериментов³. Интересно, что пауки синтезируют как раз те компоненты, из которых каждый в отдельности вполне достаточен для эффективного привлечения хозяина определенного вида. Однако картина осложняется тем, что вещество, привлекающее для одного вида, может подавлять активность другого. Но оказалось, что в течение одного охотничьего сеанса паук выделяет всего одно, реже — два вещества. Когда пауков содержали группами, все они выделяли одно и то же вещество. Где производят и как испускают пауки аналоги половых феромонов — неизвестно. В паутине этих веществ не обнаружено.

В. М. Карцев,

кандидат биологических наук
Москва

Биология

«Компас» тутового шелкопряда

Известно, что животные регистрируют стимулы, абсолютно недоступные нашим органам чувств: они могут, например, различать направление поляризации света, ощущать магнитные поля; последняя способность впервые была отмечена у птиц, затем у низших организмов и насекомых. Зависит от магнитного поля и ориен-

¹ McMahon E. A. // *Insectes Sociaux*. 1982. Vol. 29. № 2 bis. P. 346—351.

² Copeland J. // *Science*. 1983. Vol. 221. P. 484—485.

³ Stowe M. K., Tumlinson J. H., Heath R. R. // *Science*. 1987. Vol. 236. P. 964—967.

тация пчелиных сотов, гнезд шершней. Ориентацию гусениц тутового шелкопряда, выбирающих место для окукливания, изучали индийские ученые М. В. В. Субрахманьям и П. М. Чандрасекар (M. V. Subrahmanyam, P. M. Chandrasekar, Бангалорский университет).

Готовую к окукливанию гусеницу из лабораторной культуры помещали в центр деревянной коробки с четырьмя рукавами-направляющими. Сверху коробку накрывали прозрачной целлофановой лентой, чтобы гусеница не убежала, и равномерно освещали рассеянным светом. Над экспериментальным столом смонтировали электромагниты. Когда с помощью компаса коробку сориентировали так, что одна пара рукавов смотрела в направлении север — юг, а другая — восток — запад, в северном рукаве кокон обнаруживали в 86 случаях, в южном — в 90 случаях, а в восточном и западном почти вдвое реже — в 52 и 56 случаях соответственно. При включении искусственного магнитного поля, маскирующего естественное поле Земли, соотношение выбираемых направлений стало равномерным — 50:49:48:49 (очевидно, направления рукавов не совпадали с направлением движения, предписываемым магнитным полем). Ориентация гусениц оказывалась случайной и тогда, когда дополнительное магнитное поле не подключали, но коробку ориентировали так, что направление рукавов не соответствовало строго сторонам света.

В зависимости от направления, в котором расположились окукливающиеся гусеницы, немного менялись пропорции кокона, хотя его вес и количество шелка от этого не зависели.

Как гусеница воспринимает направление магнитного поля, не известно. Обращает внимание ее привычка приподнимать голову, поворачиваясь при выборе направления. Вполне вероятно, что орган, фиксирующий магнитное поле, находится вблизи головы. Остается открытым вопрос о биологическом значении магнитной ориентации тутового шелкопряда. Едва ли она важна сегодня, когда шел-

копряд одомашнен, но, возможно, была важна, пока он жил в природе.

Journal of the Bombay Natural History Society. 1988. Vol. 85. No 1. P. 108—111 (Индия).

Биология

Как гадюки находят брачных партнеров

Гадюка обыкновенная (*Vipera berus*), численность которой быстро сокращается в большинстве районов Европы, имеет даже в самых благополучных популяциях столь низкую плотность, что зоологов давно интересовал вопрос, как обеспечиваются в природе встречи брачных партнеров. В последние годы утвердилось мнение, что помогает им хемокоммуникация: благодаря специальным железам на брюшной стороне тела самки якобы оставляют на земле «пахучий след», по которому их и находят самцы, использующие для этого так называемый вомеро-назальный орган и язык («жало»). Однако исследователи В. Фелькль из ФРГ (W. Völkl) и Х.-Ю. Биелла из ГДР (H.-J. Biella), обобщив свои многолетние наблюдения за мечеными гадюками, предложили другое объяснение.

По их данным, область обитания популяции обыкновенной гадюки имеет определенную структуру: существуют места зимовки, места летнего кормления и одно (всегда одно для популяции или субпопуляции!) место размножения. Весной на нем собираются все половозрелые особи и происходит спаривание (популяция, за которой наблюдал Биелла, насчитывала примерно 20 взрослых животных, а популяция у Фелькля — около 35 и состояла из двух субпопуляций). Выяснилось, что самцы и самки зимуют раздельно и, приползая на место размножения разными путями, не могут, конечно, использовать «пахучий след». Тем не менее они всегда попадают на нужное место, расположение которого для популяции постоянно в течение мно-

гих лет. Как же находят его гадюки? Исследователи считают, что дело в импринтинге — запечатлении этого места детенышами гадюк: беременные самки всегда возвращаются на место размножения и именно здесь приносят потомство. Детеныши запоминают место, на котором появились на свет, и возвращаются на него, став взрослыми. (Аналогичные примеры импринтинга известны и у других животных, например лососевых рыб, обыкновенной жабы, морских черепах.)

Zoologische Abhandlungen Staatliches Museum für Tierkunde Dresden. 1988. Bd. 44. No 1. S. 19—23 (ГДР).

Биология

Хищные травоядные

Биолог Р. Фернесс (R. Furness; Университет Глазго, Шотландия) длительное время наблюдал за поведением овец и оленей на Шетлендских и Гебридских о-вах и обнаружил, что овцы, населяющие о. Фаула (Шетлендские о-ва), и благородные олени, или маралы, на о. Рам (Гебриды) нередко нападают на птиц. До сих пор было известно, что, испытывая недостаток в кальции и других элементах, некоторые травоядные начинают пережевывать старые кости или сброшенные животными рога. Но, оказывается, их жертвами могут быть и живые пернатые. При этом как у овец, так и у благородных оленей повадки одинаковы: они нападают главным образом на птенцов. Овцы предпочитают полярных крачек (*Sterna*), у которых они откусывают ноги и крылья; олени же всегда обезглавливают птенцов буревестника (*Puffinus*) и лишь изредка жуют их крылья или ноги.

Свидетельства употребления в пищу птиц травоядными во всем мире очень немногие. Очевидно, такое приспособительное поведение могло выработаться только там, где почва, а следовательно, и растительность бедны необходимыми для жизни веществами, а побли-

зости имеются гнездовья под-
ходящих для охоты птиц.

Journal of Zoology. 1988. Vol. 216.
P. 565; New Scientist. 1988. Vol.
120. № 1643. P. 13 (Великобрита-
ния).

Охрана природы

Перемещение спасает виды от вымирания

Спасая виды от вымира-
ния, долгое время применяли
реинтродукцию — повторное,
искусственное вселение вида
в местообитание, где он исчез.
К лучшим результатам приводит
перемещение — образование
новых популяций за пределами
естественного ареала. Для пере-
мещения особенно подходят
архипелаги, на небольших остро-
вах которых отсутствуют
хищники и другие опасные фак-
торы. Например, известен слу-
чай спасения в Новой Зелан-
дии практически нелетающей
эндемичной птицы из воробьи-
ных (*Philesturnus carunculatus*),
популяция двух рас которой при-
жились на маленьких островках.

Но перемещения, альтер-
нативные реинтродукции, могут
иметь неожиданные последст-
вия. Ш. Конант (S. Conant;
Университет Гонолулу, США)
изучала популяцию эндемичных
гавайских выюров *Telespiza*,
59 самцов и 51 самка, кото-
рые были перемещены в 1967 г.
с о. Лайсан на атолл Перл-
энд-Хермес, примерно в 400 км.
Она обнаружила, что ныне особи
в популяции, образовавшейся
в результате перемещения, до-
стоверно отличаются от абори-
генных по форме и величине
клюва. Пока неизвестно, можно
ли считать эти изменения при-
мером быстрой эволюции, или они
модификационные.

Популяция кенгуру-вал-
лаби (*Petrogale*) на о. Оаху
происходит от одной пары,
сбежавшей из частного зоо-
парка Австралии в 1916 г. Не-
давно проведенный морфоло-
гический анализ показал зна-
чительные отличия островных
экземпляров от австралийских
по размерам, окраске и ске-
летным характеристикам. Эти

примеры показывают, что пере-
мещению животных из перво-
начальных местообитаний долж-
но предшествовать их тщатель-
ное изучение.

Bioscience. 1988. Vol. 38. № 4.
P. 254—257 (США).



Экология

Мелиорация промышлен- ными отходами

Нарушение природного
водного баланса из-за орошения
и создания водохранилищ при-
вело к засолению почв в раз-
ных районах нашей страны.
Один из них — пойма Нижнего
Дона: прежде его плодород-
ные земли содержали 6,7 % гу-
муса, а сейчас всего 0,9—1,2 %;
почвы стали щелочными (в них
накопились карбонат и бикарбо-
нат натрия) и обеднились ионами
кальция. Пока в Ростовской
области засоленных почв не-
много, но засолены как раз
участки, наиболее удобные для
выращивания овощных и кор-
мовых культур.

Обычно щелочные почвы
мелиорируют природным гип-
сом. Но это — дефицитное
сырье строительной промыш-
ленности, к тому же его в
Ростовской области нет, а имею-
щийся глиногипс малоэффекти-
вен. Сотрудники факультета
почвоведения Московского го-
сударственного университета и
Новочеркасского инженерно-
мелиоративного института пред-
ложили способ мелиорации этих
земель отходами Крымского
промышленного объединения
«Титан» — фосфогипсом и
железным купоросом.

Сначала авторы проанали-
зировали важнейшие реакции
в почвах при химическом рас-
солении чистым фосфогипсом,
железным купоросом и их сме-
сью (в равных количествах).
Поскольку в отходах «Титана»
содержатся также свободные
серная, фосфорная, кремневая
и кремнефосфорная кислоты,
проверялось и их воздействие
на почву, но вредного влия-
ния этих компонентов в тех

концентрациях, в которых они
содержатся в отходах, не обна-
ружено.

В лабораторных экспери-
ментах самой эффективной ока-
залась смесь фосфогипса с
железным купоросом. Выясни-
лось, что отходы не загрязняют
почвы ни тяжелыми металлами,
ни другими токсическими эле-
ментами.

Свой метод авторы про-
верили на полях одного из сов-
хозов. В течение трех лет они
вносили отходы на поверхность
почвы и вспахивали ее на глуби-
ну 20—25 см. За счет мелиора-
ции снижался pH почвы, причем
наибольший эффект достигался
в пахотном слое; она положи-
тельно сказалась и на фильтра-
ционной способности почвы
(почвенные агрегаты стали круп-
нее). К третьему году свойства
солонцов существенно улучши-
лись, но еще не достигли показате-
лей чистой пойменной почвы:
видимо, мелиоративный процесс
не успел закончиться. На треть-
ем году мелиорирования увели-
чилась наземная и корневая
масса, и все же урожайность
оказалась ниже, чем в незасо-
ленных почвах поймы Дона. Ис-
следователи объясняют это не
только незавершенностью ме-
лиорации, но и бедностью со-
лонцов минеральными и орга-
ническими веществами.

Мелиорацией щелочных
почв отходами авторы предла-
гают «убить сразу двух зайцев»:
вовлечь в сельскохозяйственный
оборот практически непродук-
тивные земли и предотвратить
накопление отходов в окружаю-
щей среде.

Почвоведение. 1988. № 12. С. 10—
20.



Экология

Балластные воды наносят ущерб марикультуре

Из-за высокого содержа-
ния токсинов в водах, омываю-
щих берега Тасмании и Южной
Австралии, здесь в 1988 г. на
восемь месяцев были закрыты
хозяйства, занятые разведением
устриц.

Загрязнение вод вызвано
ядовитыми жгутиковыми вида

Gymnodinium catenatum. В их жизненном цикле есть стадия стойкой покоящейся клетки — цисты, способной при благоприятных условиях становиться активной и бурно размножаться. Научный совет при Службе рыболовства Австралии установил, что эти жгутиковые распространены в районах портов, посещаемых японскими судами-лесовозами (в водах Японии *G. catenatum* известны с 1967 г.). В пробах балластных вод, взятых из трюмов во время стоянки этих судов в портах Тасмании, были обнаружены жизнеспособные цисты.

Широко практикуемый сброс балластных вод и мусора в акваториях портов, по-видимому, и служит основной причиной появления *G. catenatum* в водах Тасмании и Южной Австралии.

Владельцы марикультуры хозяйств потребовали установить контроль за сбросом балластных вод и мусора с иностранных судов.

Marine Pollution Bulletin. 1988. № 10. Р. 500 (США — Великобритания).

Экология

Экосистема Черного моря сегодня

В последние 15—20 лет в экосистеме Черного моря сложилась тревожная ситуация: эвтрофикация, интенсификация судоходства и тралового промысла, нефтеналивные работы влияют не только на шельфовые районы западной части моря, где речной сток особенно велик, но и на всю его акваторию. Резко снизилась численность многих видов рыб, дельфинов, важнейшей промысловой водоросли — филофоры и ряда других организмов, увеличилось количество медуз, ночесветки, перидиниевой водоросли эксувиеллы, снизивших рекреационный потенциал западных побережий моря. С лета прошлого года началось массовое развитие гребневика *Mnemiopsis leidyi*, проникшего в Черное море от атлантического побережья Северной Америки. При-

чины этих изменений как в усиливающемся антропогенном воздействии, так и в разно-периодных климатических флуктуациях.

Несколько лет в рамках общесоюзных проектов «Экосистема» и «Черное море» исследуется динамика функционирования и изменчивости экосистемы Черного моря. Одним из наименее изученных был период ранней весны (февраль — март), когда в открытых районах моря продуцируется основная масса органического вещества, в значительной мере определяющая состояние экосистемы в течение всего года. В марте — апреле 1988 г. Институтом океанологии им. П. П. Ширшова АН СССР был проведен рейс научно-исследовательского судна «Витязь», в котором выяснялись механизмы подъема вод в циклонических круговоротах и формирования холодного промежуточного слоя; закономерности пространственной структуры и функционирования сообществ открытых районов моря в зависимости от условий окружающей среды; особенности существования и функционирования сообществ вблизи границы аэробной и анаэробной зон.

В центрах восточного и западного циклонических круговоротов наблюдались различные фазы подъема глубинных вод, их охлаждение на поверхности и опускание с образованием холодного промежуточного слоя. Были пересмотрены бытовавшие представления о содержании фосфора, аммиака и сероводорода в глубинных водах. Подтверждено наличие максимума концентрации кислорода в верхней части слоя сосуществования кислорода и сероводорода и выяснен механизм переноса фосфатов в анаэробную зону. Показано, что образование резкого окислины, характерного для Черного моря, определяется на 70 % окислением восстановленных в анаэробной зоне соединений серы, марганца и железа и лишь около 30 % кислорода тратится на окисление органического вещества¹.

Фитоценоз в первой половине марта находился в разгаре весеннего (диатомового) цветения. Биомасса фитопланктона достигала 120—800 г/м³ на всей акватории глубоководной части моря. В конце марта — начале апреля биомасса снизилась до 30 г/м³. В конце апреля в верхних слоях начал развиваться весенне-летний комплекс жгутиковых, в том числе перидиней.

Неожиданно высокой оказалась продукция хемосинтеза, соизмеримая по величине с первичной продукцией. Продукция сульфатредуцирующих бактерий была максимальной выше границы слоя сосуществования кислорода и сероводорода вплоть до основного пикноклина. Выше хемосинтез шел за счет нитрификаторов.

Биомасса мезопланктона колебалась от 14 мг/м³ до 52 г/м³. Днем появлялся резкий и узкий (до 2 м) ее максимум у верхней границы основного пикноклина, полностью исчезавший ночью из-за подъема организмов в верхние слои воды. Изучены особенности биохимической адаптации черноморского планктона к дефициту кислорода.

Биомасса медузы *Aurelia aurita* заметно не менялась по сравнению с предыдущими годами и для всего моря составляла 500—600 млн т. (Осенью того же года при массовом развитии гребневика-мнемиопсиса биомасса медуз снизилась на порядок.) Анализ сукцессии планктона показал, что в период наблюдений сообщество перешло из продукционной фазы цикла развития в деструкционную. В западном круговороте смена фаз пришлась на конец марта. Биомасса черноморского планктона соответствует его биомассе в мезотрофных районах океана, однако кормового планктона в нем в 10 раз меньше. Кормового (рачкового) планктона в Черном море около 1 % от общей биомассы (в сыром весе), а 99 % составляют медузы, ночесветки, гребневники.

Полученные в рейсе материалы позволяют обоснованнее судить о развитии черноморской экосистемы и прогнозировать ее изменения. Так, они

¹ Виноградов М. Е. // Вестник АН СССР. 1987. Т. 10. С. 58.

показали, что антропогенная эвтрофикация в открытых районах моря пока играет подчиненную роль на фоне естественного перемешивания и эвтрофикации поверхностных слоев.

Член-корреспондент АН СССР
М. Е. Виноградов
Москва

Геология

Сверхглубокое бурение на Кавказе

Саатлинская сверхглубокая скважина на Кавказе заложена в районе, где, по предположениям геологов и геофизиков, осадочный слой земной коры контактирует непосредственно с «базальтовым», а «гранитный» слой, обычный для континентальной коры, отсутствует. Выбор пал на Талыш-Вандамское поднятие, расположенное в пределах Куринской межгорной впадины, недалеко от города Саатлы. Проектная глубина бурения 15 км, пройдено 8267 м¹.

Ученые предполагают выяснить строение и состав глубоких горизонтов земной коры, дать геологическую трактовку установленных геофизических границ, уточнить типовую геофизическую модель земной коры региона, а также выявить особенности эндогенных процессов на недоступных до сих пор глубинах. Особое внимание уделяется изучению осадочного комплекса в связи с оценкой перспектив нефтегазоносности на больших глубинах.

Впервые на территории Кавказа вскрыты породы на глубине свыше 8 км. Разрез представлен кайнозойскими грубообломочными осадками — молассами мощностью 2830 м, ниже залегает толща нижнемеловых карбонатных пород, которая подстилается юрскими вулканитами. При бурении установлен длительный перерыв в осадконакоплении, охватывающий

Эра	Период	Глубина, м	Колонка	Мощность, м	Толща
КАЙНОЗОЙСКАЯ	четвертичный	600		840	преимущественно терригенная
		1200		1080	
	неоген	1800		340	
		2400		507	
МЕЗОЗОЙСКАЯ	мел	3000		710	карбонатная
		3600			
	юра	4200		1213	
		4800		409	
		5400		891	
		6000			
		6600		700	
		7200		1200	
		7800			
		8000			

Разрез Саатлинской сверхглубокой скважины.

	Галечники, конгломераты
	Глины
	Песчаники
	Известняки
	Обломочные и песчаные известняки
	Известняки коралловые (а), брекчированные (б)
	Базальты
	Андезитобазальты
	Долериты
	Габбро-нориты
	Андезиты
	Дациты
	Риодациты
	ТUFFы (дацитовые)

верхний мел, палеоген и большую часть миоцена. Выявлена глыбовая природа Саатлинского погребенного поднятия. На глубине 3,5 км вскрыта юрская вулканогенная толща, в то время как на соседних территориях на тех же глубинах залегают вулканогенные отложения верхнего мела. Абсолютный возраст юрских вулканитов 146 ± 6 млн лет. По химическому составу они подразделяются на два комплекса. Верхний представлен базальтами и андезитами. В нижнем, вскрытом на глубине свыше 7 км, преобладают породы более кислого состава — дациты и риодациты. По-видимому, в юрское время произошло внедрение мантийного вещества, которое преобразовало докембрийскую субконтинентальную

¹ Шихалибеи Э. Ш., Абдуллаев Р. Н., Али-Заде А. А. // Сов. геология. 1988. № 11. С. 61—66.

земную кору. Предполагается, что в дальнейшем скважина пройдет по мезозойским породам до глубин 9—10 км, а примерно с 10,5 км вскрыет источник Талыш-Вандамского гравитационного максимума, который может быть связан с выступом верхнеархейско-нижнепротерозойской консолидированной коры.

О. Л. Базилевская
Москва

Геология

Докембрийские породы в Канзасе

Опубликованы результаты изучения материалов, полученных при бурении глубокой скважины на территории штата Канзас (центральная часть США). Эта скважина, длина керн из которой превышает 3000 м, вскрывает докембрийские породы и проливает свет на проблемы геологии и тектоники Северо-Американского континентального палеорифта.

Скважиной удалось пройти около 3400 м докембрийских пород. В верхней части (от 850 до 2200 м) они на 90 % представлены базальтами — тонкими от 1 до 20 м, темноокрашенными лавовыми потоками, а на 10 % — осадочными породами — главным образом алевроитами. В нижней части (от 2200 до 3400 м) соотношение обратное: лишь 10 % — породы вулканического происхождения и до 90 % — осадочная толща. Вскрытые скважиной базальты типичны для лежащих севернее районов штата Миннесота и оз. Верхнее. Исследовавший образцы пород П. Берендсен (P. Berendsen; Геологическое управление штата Канзас) полагает, что ниже достигнутого при бурении уровня могут залегать осадочные или вулканические породы еще на глубину около 1000 м.

Бурение показало, что палеорифт — это «несостоявшийся центр спрединга», который образовался около 1 млрд лет назад и оставался активным в течение 300—400 млн лет. Он тя-

нется от оз. Верхнее через территорию штатов Айова и Небраска в центр Канзаса. Большую часть палеорифта составляют горстовые и грабеновые (соответственно приподнятые и опущенные) структуры северо-восточного простирания, образующие блоки. Возраст пород определен калий-аргоновым методом: габбро верхних слоев — от 587 до 800 млн лет; базальты на глубине около 1600 м — от 833 до 981 млн лет и на глубине около 3200 м — 837—1021 млн лет. Таким образом, эти породы оказались моложе рифтовых базальтов в Миннесоте, однако пока неясно, означает ли это большую молодость южной части рифта или же более медленный рифтогенез в его южной части.

Ранее предполагалось, что эта территория потенциально богата крупными залежами нефти. Сейсмическое профилирование позволило проанализировать разрез к северу от точки бурения и на основе этих данных предположить существование купольной структуры, которые нередко содержат нефть. Подтверждением служит просачивание нефти в одной из мичиганских медных шахт в пределах того же палеорифта. С другой стороны, органики в породах крайне мало, а их плотность слишком велика для достаточной проницаемости и возможно накопления значительных объемов нефти. Если образование палеорифта, как можно теперь полагать, шло медленнее, нежели считалось до сих пор, то и количество осадочных пород могло быть большим. Кроме того, рифтинг мог протекать в более позднее время, когда существовали уже достаточно развитые формы жизни, дающие больше органики.

В нижней части скважины обнаружены также сульфиды меди и железа, указывающие на возможные залежи металлов платиновой группы или никеля.

Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 1988. Vol. 69. № 31. P. 753 (США).

Геофизика

Сдвиговые разломы и землетрясения

Группа сейсмологов во главе с С. Дж. Уэсноуски (S. G. Wesnousky; Университет штата Теннесси, Мемфис, США) изучила и сопоставила условия, которые характерны для семи связанных с землетрясениями разломов земной коры, расположенных в Турции и в Калифорнии (США). Особое внимание привлекли сдвиговые разломы (у них противоположные стороны смещаются в противоположных направлениях, а вертикальные движения развиты слабо). Сдвиг вдоль такого разлома определяется тем расстоянием, на которое одна сторона сместилась относительно другой за время существования разлома. Классический пример — сдвиговый разлом Сан-Андреас, протянувшийся почти на 1000 км; это граница, вдоль которой Тихоокеанская плита движется на северо-запад по отношению к Северо-Американской плите, при этом сдвиг за последние 5 млн лет составил примерно 250 км.

Хотя взаимное смещение плит происходит непрерывно, все же время от времени, когда предел прочности пород на каком-нибудь из участков разлома превышает, породы дробятся и наблюдается их «проскальзывание». В одних случаях разлом вспарывается на сотни километров и сопровождается сильным землетрясением, в других — трещина образуется на небольшом протяжении и происходит слабое землетрясение.

Исследователи полагают, что все семь изученных ими разломов проходят примерно аналогичный путь развития. Разломы с наибольшим сдвиговым движением отличаются максимальной сглаженностью своих очертаний: они могут тянуться на сотни километров без единого изгиба. Разломы с незначительным сдвигом обычно расчленены на короткие (до 20 км) сегменты, которые резко меняют направление, образуя левосторонние или правосторонние «колена». Таким образом, выя-

ляется тенденция: сдвиговые разломы с течением времени, по мере своего продвижения, «самовыглаживаются». На это указывали ранее некоторые модели, но в полевых условиях подтверждение получено впервые.

Важность этого факта очевидна, поскольку сдвиговые разломы играют существенную роль в характере возникающих землетрясений. Подземные толчки происходят, когда отрезок разлома ломается, а новый разрыв коры «пробегает» вдоль разлома и останавливается у достаточно крупного «колена», не пропускающего его дальше. Поэтому гладкость или прерывистость разлома, обусловленные, как теперь установлено, степенью его развития, позволяють судить о мощности грядущего подземного толчка. Разумеется, не всякое землетрясение тормозится у того или иного «колена» разлома, поэтому для точного прогноза необходимо учитывать и другие важные факторы: локальное напряжение в земной коре, количество почвенных вод, служащих своеобразной смазкой при движениях плит вдоль границы разлома, и т. д.

Nature. 1988. Vol. 335. № 6188. P. 340—342 (Великобритания)

Вулканология

Вулканы не умирают

По существующей классификации вулканы подразделяются на действующие, «спящие» и полностью угасшие. Против этой точки зрения выступил Р. Тиллинг (R. Tilling; Геологическая служба США, Менло-Парк, штат Калифорния) на конференции Американской ассоциации развития науки в январе 1989 г. По его мнению, отсутствие активности в течение столетий и даже тысячелетий вовсе не говорит о «смерти» вулкана; наибольшие катастрофы, например извержение Везувия в 79 г., как раз связаны с вулканами, которые ошибочно считались угасшими. Тиллинг считает: чем длительнее период покоя, тем более вероятно извержение

эруптивного (взрывного) типа, приводящее к выбросу гигантских масс вулканических пород.

Ныне на земном шаре вблизи потенциально опасных вулканов или даже на их склонах проживает не менее 360 млн человек, причем большая часть — в так называемом Огненном поясе, окаймляющем Тихий океан, и в основном в странах, где отсутствуют необходимые предосторожности для изучения существующей угрозы и принятия мер по предотвращению или уменьшению ее пагубных последствий.

На Земле примерно 600 действующих вулканов, из них ежегодно извергаются около 50, причем половина считается «новодействующими». С начала XX в. самыми тяжелыми оказались 80-е годы, на которые пришлось мощные извержения вулканов Сент-Хеленс (США), Невадо-дель-Руис (Колумбия), Эль-Чичон (Мексика) и др.

New Scientist. 1989. Vol. 121. № 1648. P. 31 (Великобритания).

Океанология

Рейс «Поларштерна»

Судно «Поларштерн» Института полярных и морских исследований (ФРГ) совершило в июле — сентябре 1987 г. экспедицию в Северный Ледовитый океан. В ней участвовали 55 специалистов из 19 научных учреждений разных стран Европы и Северной Америки. Направляясь от Шпицбергена почти строго на север, «Поларштерн» достиг $86^{\circ}11'$ с. ш., т. е. подошел к полюсу ближе (430 км), чем любое другое надводное судно, не считая советских атомных ледоколов.

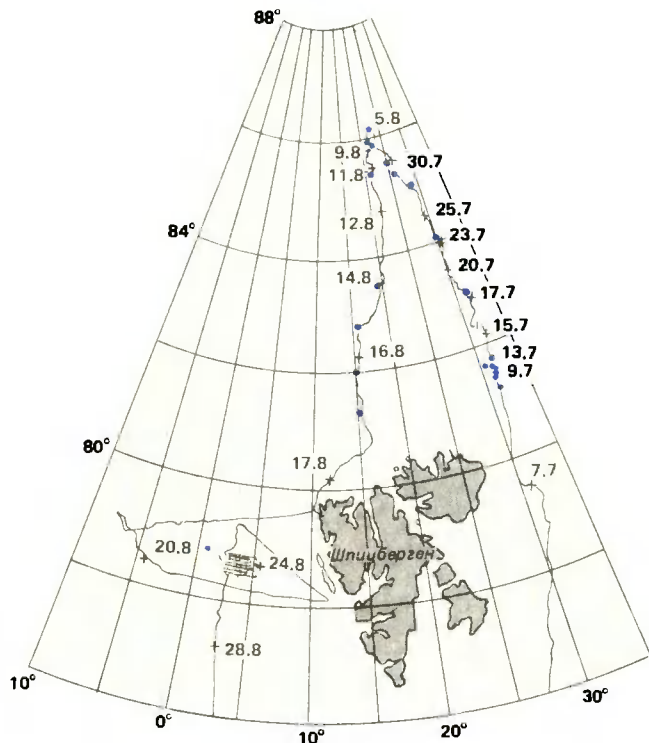
Глубоководный бассейн между хребтом Ломоносова и Евразийской континентальной окраиной — один из наименее изученных в Мировом океане. Он участвует в водообмене с Норвежским и Гренландским морями, а также в формировании североатлантических потоков глубинных вод, «вентилирующих» весь Мировой океан.

Наиболее уникальная черта Ледовитого океана — его

многолетние паковые льды. Судно прошло через ключевую для их циркуляции северную часть Баренцева моря в Сибирскую ветвь Трансполярного течения, к востоку от подводного плато Ермака. Было установлено 12 буев, передающих на спутники данные о метеобстановке, перемещении льда и его температуре. Взяты образцы льда для биологического, седиментологического, химического и кристаллографического анализов.

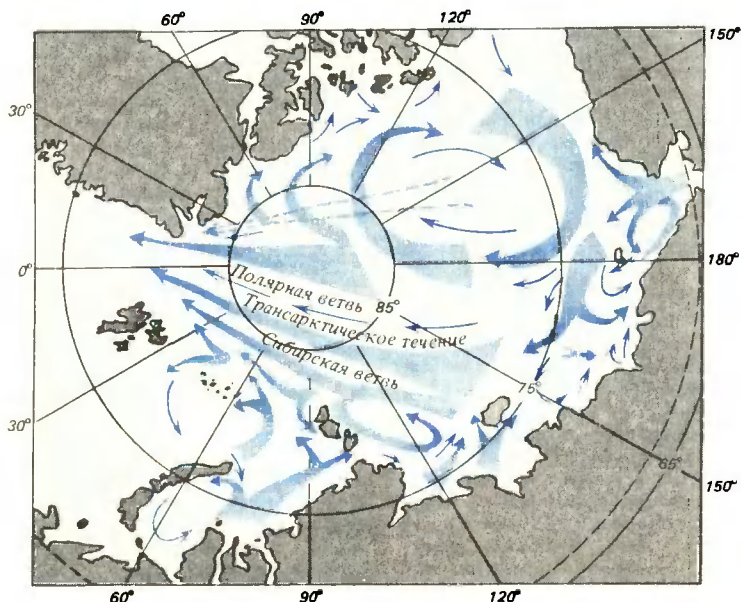
Ледовая обстановка в проливе Фрам оказалась для этого сезона наиболее тяжелой в сравнении с любым годом, по которому имеются данные. Лед в окраинной части бассейна Нансена — это однолетний довольно тонкий покров; он формируется, очевидно, или на месте, или в Карском и Баренцевом морях. Большая его часть тает у плато Ермака и в пролив не поступает. Мощные же сильно деформированные многолетние льды Сибирской ветви, по видимому, образуются на шельфе Сибири и затем покидают Ледовитый океан в основном через пролив Фрам. На поверхности и внутри льдин обнаружено неожиданно много осадочного материала. К югу от 83° с. ш. им покрыто до 10 % (местами до 50 %) поверхности льда, хотя к северу — не более 1 %. По данным с буев средняя скорость юго-западного дрейфа льда — примерно 3 км/сут. Одна льдыня во время наблюдений сохраняла те же скорость и направление движения, что и «Фрам» Ф. Нансена в период его исторического дрейфа 1895 г. Главные факторы, влияющие на дрейф, — направление и сила ветра.

Океанографы с «Поларштерна» измерили температуру, проводимость и химический состав вод, их акустические свойства и содержание взвешенных частиц. Гидрографические и химические исследования позволили описать циркуляцию вод вдоль 30° в. д. через весь бассейн Нансена. В районе северного склона дна Баренцева моря обнаружено несколько развитых течений, питаемых стоками с шельфа или водами Норвежского и Гренландского морей, поступающими через пролив. Около 83° с. ш. обнаружен фронтальный переход вод из южной половины бассейна (с характер-



Маршрут «Поларштерн» (июль — август 1987 г.).

Направления течений в Арктическом бассейне.



ристиками, свойственными водам пролива Фрам и Баренцева моря) в северную, напоминающую центральную часть Ледовитого океана.

Важно, что во внутренней глубинной части бассейна практически нет хлорфторметанов, а тетрахлорид углерода присутствует. Поскольку последнее вещество стало производиться еще в начале 1900-х годов, а хлорфторметаны — только в 1940-х, видимо, глубинные воды бассейна сформировались несколько десятилетий назад. В поверхностном слое северной половины изученного района преобладают воды сибирских рек, а в южной — растаявших морских льдов.

Тяжелая ледовая обстановка не позволила геофизикам использовать буксируемые приборы, тем не менее им удалось провести акустическое профилирование дна, собрать образцы осадочных пород, поднять колонки донного грунта, измерить градиент теплового потока в верхней части осадочного чехла, произвести гравиметрические и другие работы.

Как следует из батиметрических профилей, континентальный склон к северу от Шпицбергена переходит в уникально плоскую равнину с большими, чем считалось до сих пор, глубинами — около 4 км. Однако пробурить слой осадков здесь не удалось. На севере равнина ограничена хребтом Нансена — Гаккеля. Этот участок срединно-океанического хребта залегает много глубже, чем аналогичные образования во всех других океанах. Его гребень рассечен узкой долиной, глубина которой превышает 5300 м, а северная ее часть лежит ниже южной. В пределах плато Ермака открыт почти вертикальный обрыв, возвышающийся над окружающей равниной.

Измерения теплового потока в рифтовой долине хребта Нансена — Гаккеля свидетельствуют о необычном температурном режиме: его интенсивность в 2—3 раза выше, чем, например, на подводном хребте Киповича. Это присуще районам активного магматизма и, возможно, объясняет непонятные прежде гидротермальные характеристики здешних пород.

Следующая экспедиция планируется в 1991 г. в бассейнах Амундсена и Макарова.

Eos. Transactions of the American Geophysical Union. 1988. Vol. 69. № 25, P. 665, 676—678 (США)

Океанология

Новые горы и «курильщики» на морском дне

На конференции Американского геологического общества в ноябре 1988 г. Дж. А. Хеггерти (J. A. Haggerty; Университет в Талсе, штат Оклахома) сообщила об итогах изучения материалов, полученных при погружении научно-исследовательской подводной лодки «Алвин» в Тихом океане.

На морском дне к западу от Марианского желоба обнаружены неизвестные ранее горные сооружения высотой 2500 м, а также необычные «черные курильщики» — подобие печных труб, извергающих не горячую, как в других местах¹, а холодную минерализованную воду.

Большая часть ранее открытых подводных гор образовалась в результате вулканических извержений. Здешные же сложены породами невулканического происхождения — серпентинитами. В районе Марианского желоба Тихоокеанская плита земной коры погружается под Филиппинскую. Хеггерти полагает, что вода, захваченная породами погружающейся плиты, затем просачивается наверх; достигнув подошвы надвигающейся плиты, она вызывает серпентинизацию слагающих ее пород. Новообразованные породы менее плотны, чем окружающий материал, поэтому они медленно воздымаются, образуя горы. Флюиды, выделяемые породами погружающейся плиты, выносятся через трещины и образуют «черные курильщики», венчающие этот тип подводных гор.

Science News. 1988. Vol. 134. № 21. P. 333 (США).

¹ См. также: «Черные курильщики» на дне Марианского трога // Природа. 1983. № 6. С. 117.

Археология

Доинкские грядковые поля

Непривычной для европейца особенностью индейского земледелия являются грядковые поля. В заболоченных низменностях Колумбии, Суринама, Эквадора и других стран их остатки прослеживаются на десятках тысяч гектаров. Посевы на искусственных грядах позволяли не только регулировать увлажнение, но и ежегодно удобрять почву илом, скапливавшимся в междурядьях. Предполагается, что эта система земледелия была одной из основ экономики майя. В Древнем Перу ее использовали жители Боливийского плоскогорья в районах, прилегающих к оз. Титикака. Однако инки, захватившие горную Боливию в середине XV в., предпочитали другие формы земледелия, а после конкисты (испанского завоевания) грядковые поля окончательно пришли в упадок. Попытки распахать этих земель в наше время привели к эрозии почвы.

Археологические материалы свидетельствуют, что наибольшую площадь грядковых полей близ Титикаки занимали в I тысячелетии н. э. в период цивилизации тиауанако. В это время север плоскогорья и, вероятно, прилегающая часть побережья южного Перу и северного Чили входили в состав государства со столицей в г. Тиауанако (70 км западнее Ла-Паса). Некоторые ученые считают, что устройство грядковых полей на столь значительной территории и уход за ними стали возможны благодаря централизованному аппарату, который организовал эти работы, а с распадом государства грядковые поля были заброшены. Есть и другое мнение: гибель тиауанако около тысячи лет назад была вызвана каким-то экологическим кризисом, в результате которого грядковые поля перестали давать урожай.

Исследования Г. Грефема (G. C. Graffam; Университет Торонто, Канада) на южном берегу Титикаки ставят под сомнение оба эти предположения. Ему удалось доказать, что боль-

шие массивы грядковых полей, ранее датировавшиеся исключительно I тысячелетием н. э., обрабатывались и в период между гибелью тиауанако и появлением инков, когда на этой территории обитали племена предков индейцев аймара. На всей изученной территории обнаружены остатки мелких крестьянских хозяйств того времени. Поля могли, очевидно, поддерживаться силами сельских общин, не нуждавшихся в бюрократической опеке, что лишнее раз демонстрирует ошибочность известной теории К. Виттфогеля, утверждавшего, что возникновение восточных деспотий было обусловлено нуждами ирригации.

Выводы Грефема косвенно подтверждают также древность грядкового земледелия в горной Боливии: оно могло зародиться еще до того, как на плоскогорье во второй половине I тысячелетия до н. э. сложилось первое крупное политическое образование (ему соответствует культура пукара). Предполагается, что индейцы стали осваивать заболоченную равнину вокруг Титикаки не позже конца II тысячелетия до н. э., хотя следы этих первых полей в основном стерты более поздними.

Willay: Newsletter of the Andean Anthropological Research Group. 1989. № 29/30. P. 7—8 (США).

"Понять замысел Бога..."

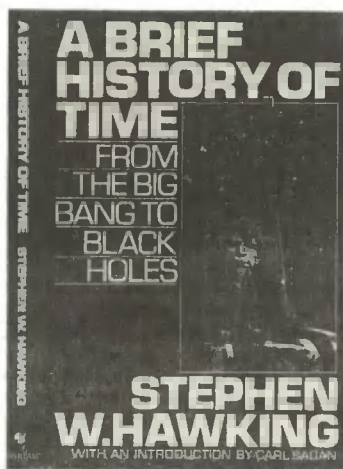
Я. А. Смородинский,
доктор физико-математических наук
Москва

КНИГА С. Хокинга вышла одновременно в Канаде и США в апреле 1988 г. В мае появился в продаже ее итальянский перевод. В Англии дата была объявлена заранее — 18 июня. К этому времени уже появились первые рецензии. Так, читатели американского еженедельника «Newsweek» 13 июня были оповещены, что «прикованный к инвалидному креслу, лишенный даже дара речи, физик Стивен Хокинг ищет теорию Великого объединения, которая объяснит Вселенную...»

А в конце июня Хокинг приехал в Ленинград на конференцию, посвященную 100-летию со дня рождения А. А. Фридмана и привез свою новую книгу, один из экземпляров которой подарил мне (в издательстве «Мир» готовится ее перевод).

В Ленинграде Хокинг проявлял необычайную активность — выступил с докладом, участвовал в дискуссии, прочел лекцию в Доме ученых, дал короткое интервью для «Природы»¹. При этом Хокинг не говорил: за него четким, но лишенным человеческой теплоты голосом говорил синтезатор речи. То, что он произносил, Хокинг набирал на дисплее маленького компьютера, прикреплённого к его инвалидной коляске. Активность Хокинга вне физики была столь же поразительна. Он совершал экскурсии по городу, ездил в своем кресле по Эрмитажу, общался с друзьями. И старался впитать в себя все, что его окружало.

Хокинг много путешествует, не раз он приезжал и в нашу страну и обрел здесь друзей. Вся его жизнь — необычайный



Stephen W. Hawking. A BRIEF HISTORY OF TIME. FROM THE BIG BANG TO BLACK HOLES / With an introduction by Carl Sagan. N. Y.: Bantam Books, 1988. 189 p.

Стивен У. Хокинг. КРАТКАЯ ИСТОРИЯ ВРЕМЕНИ. ОТ БОЛЬШОГО ВЗРЫВА К ЧЕРНЫМ ДЫРАМ / С предисловием Карла Сэгана. Нью-Йорк, Бэнтем Букс, 1988. 189 с.

пример того, как много может сотворить мозг, даже тогда, когда каналы его связи с внешним миром сведены до минимума.

Книга Хокинга необыкновенная, ее тема — рассказ о выборе цели его жизни и о трудном пути ее достижения, рассказ о поисках решения самой большой загадки, которая стоит перед естествоиспытателем. «Моя цель добиться полного понимания Вселенной, почему она такая, какая она есть, и почему она вообще существует», — пишет он о своих исканиях.

Такие вопросы человек задавал себе давно. Варианты ответов есть в мифах почти всех народов. Может быть, и рассуждения ученых нашего века также когда-то будут считать легендами. У новых мифов есть авторы,

один из них Хокинг. Его жизнь уже сейчас представляется легендой. Это легенда о человеке, силой мысли побеждающем немощь.

Хокингу сейчас 47 лет. В начале 60-х годов, когда он уже кончал университет в Оксфорде, появились первые признаки грозной болезни — бокового амиотрофического склероза. Настроение становилось мрачным, да и научные успехи были в это время не слишком впечатляющими. Д. Сиам, известный физик, руководитель его дипломной работы, заметил, что «вокруг оказалось не так уж много проблем, достойных человека с такими способностями». К счастью, проблема все же нашлась — это была теория черных дыр, которую Хокинг увидел в новом свете после работы Р. Пенроуза об особенностях уравнений тяготения.

В это время изменилась и личная жизнь Хокинга. В 1965 г. он женился на студентке-филологе Джейн Уайлд (ей он посвятил книгу). У них есть дочь и два сына (младшему ребенку 10 лет).

1985 год принес новое несчастье. После операции на горле Хокинг потерял способность говорить. На помощь приходят друзья, и калифорнийская фирма приносит ему в дар коммуникационную систему — компьютер + синтезатор. Об этом Хокинг сам рассказывает во введении к книге, желая выразить благодарность тем, кто помогает ему жить. «Эта система изменила все: мне даже стало легче общаться, чем до того, как я потерял голос», — пишет он.

Существование в таких условиях требует не только воли к жизни, но и чувства юмора. О Хокинге рассказывают много историй. Так, занимаясь черными дырами, но не имея пока наблюдательного доказательства

¹ См. в этом номере: Горячие точки космологии (интервью с участниками Международной конференции по космологии).

их существования, Хокинг включает пари с другим специалистом по космологии К. Торном. Условия пари подчинялись изысканной логике. Хокинг, веря, что во Вселенной должно быть много черных дыр, делает ставку против их существования. Если дыр не окажется, то в качестве компенсации за потерю смысла главной своей работы он получает четырехлетнюю подписку на английский юмористический журнал «Private Eye». Если же черные дыры есть, Торн получает годовую подписку на «Penthouse», а Хокинг (вполне вероятно) Нобелевскую премию.

Сейчас Хокинг профессор Кембриджского университета. Он занимает кафедру, которую когда-то занимал И. Ньютон, а в наше время — П. Дирак. С 1974 г. Хокинг член Лондонского королевского общества.

Чтобы начать, наконец, разговор о книге, полезно привести слова астронома К. Сагана, написавшего предисловие: «Книга эта о Боге... или, скорее, об отсутствии Бога. Слово Бог повторяется часто. Хокинг отправляется на поиски ответа на знаменитый вопрос Эйнштейна, был ли у Бога какой-нибудь выбор, когда он создавал Вселенную. Хокинг стремится, он говорит об этом прямо, понять замысел Бога. Поиски приводят к неожиданному заключению, может быть, не окончательному: во Вселенной, не имеющей ни границ в пространстве, ни начала и конца во времени, на долю Создателя не остается никакого дела». Рассуждения о Боге, конечно, не новы. Вспомним П. Лапласа, который будто бы ответил Наполеону, что не нуждается в этой гипотезе.

После того как гипотеза о рождении Вселенной в Большом взрыве превратилась в почти общепринятую, вопрос о том, что было до рождения Вселенной, стал как бы незаконным. В этом смысле наука приблизилась ко многим мифам, в том числе и к библейскому варианту создания Вселенной.

Прочитаем в первой главе Библии: «И назвал Бог свет днем, а тьму ночью. И был вечер, и было утро: день один». Иногда переводят: «день первый». Это неверно. Комментаторы канони-

ческого текста считают, что не могло быть сказано «день первый», так как не было последующего². По-видимому, идея, что время также должно было быть создано, занимала авторов Библии.

Проблема времени привлекала внимание и христианских философов раннего средневековья. В «Исповеди» Блаженного Августина мы читаем: «Если же раньше неба и земли не было времени, зачем спрашивать, что Ты делал тогда. Когда не было времени, не было и тогда»³.

Вселенная Фридмана начинается с «особенности» — мировой точки, в которой обрывается в бесконечность кривизна, а с нею и плотность вещества. В этой точке теряют свою силу физические законы, и что происходило в самом начале времени, как возник Большой взрыв, нельзя понять, оставаясь в рамках обычной модели Вселенной Фридмана.

Это утверждение правильно, и физики не ошиблись, считая, что не имеет смысла сам вопрос о продолжении координаты времени за «особенность». Действительно, проблему нельзя даже сформулировать аккуратно на языке математики, если оставаться в рамках классической теории тяготения Эйнштейна. Доказано, что в этих рамках не существует решений уравнений общей теории относительности — уравнений Эйнштейна — Гильберта, которые бы не имели «особенностей».

«Особенности» появляются не только для всей Вселенной, но и для звезд, масса которых столь велика, что вещество не может преодолеть собственного гравитационного поля и падает к ее центру так, что поверхность звезды стягивается в конце концов в математическую точку — сингулярность. Происходит коллапс звезды, ее «схлопывание». Такая звезда и есть черная дыра, привлекавшая внимание Хокинга.

Проблемой сингулярности занимался Р. Пенроуз, кото-

рый показал, что начавшийся коллапс звезды не может прекратиться. Хокинг пишет, что он очень обрадовался новым идеям, считая их достойными развития. Его подстрекали и личные обстоятельства.

Прогнозы врачей были мрачными. Работа над докторской степенью (Ph. D.) казалась бессмысленной. Но прошло два года, и ухудшения не наступило. «Напротив», — говорит Хокинг, — дела мои пошли замечательно. Я стал женихом очаровательной девушки Джейн Уайлд. Но чтобы жениться, нужна была работа, для получения работы нужна была Ph. D. А тут подвернулась хорошая тема».

Хокинг увидел, что между задачей о черной дыре и задачей о Большом взрыве есть большое сходство. Если черная дыра кончает свое существование в сингулярности, то, повернув в ее истории время, мы получим модель Вселенной, которая в сингулярности рождается. Это подтвердило старые предположения, и в 1970 г. Хокинг с Пенроузом опубликовали работу с доказательством того, что расширяющаяся Вселенная должна начать свою историю в сингулярности.

Между черной дырой и Вселенной есть принципиальная разница. Точнее, есть различие между положением наблюдателя в одном и другом случае. Коллапс черной дыры мы наблюдаем снаружи, и теория говорит, что для наблюдателя, покоящегося на бесконечности, т. е. в области, где гравитационное поле черной дыры столь угодно мало, время полного коллапса, время достижения сингулярности бесконечно велико. Строго говоря, наблюдатель никогда не увидит конца эволюции черной дыры. Во Вселенной наблюдатели находятся внутри, они разбегаются вместе с галактиками, и время их жизни (считая от Большого взрыва) конечно.

Но у обоих объектов есть общая черта: процесс коллапса и расширение Вселенной необратимы. Если необратимость расширения Вселенной представляется естественной (диссипативные процессы сопровождают эволюцию), то необратимость коллапса — теорема Пенроу-

² См.: Пятикнижие Моисеево / Пер. Д. К. Штейнберга. Вильно, 6. г.

³ Блаженный Августин. Исповедь. Кн. II // Богословские труды. Сб. 19. М., 1979. С. 186.

за — Хокинга — не столь понятна. Диссипативные процессы приводят к необратимости, к росту энтропии системы. Но можно ли приписать энтропию черной дыре? Как в детективной истории, Хокинг находит улику, она лежала почти на виду.

Когда вещество или излучение падает на черную дыру, площадь ее поверхности может только увеличиваться. Радиус черной дыры пропорционален ее массе, а поверхность — квадрату массы. Когда масса растет, растет и поверхность. Далее, Хокинг замечает, что если две черные дыры сливаются в одну, то поверхность новой дыры становится больше, чем суммарная поверхность двух исходных. Можно отметить и очевидный факт. Если при коллапсе на черную дыру ничего не падает, т. е. поверхность (ее называют горизонтом) остается постоянной — поверхность определяется только массой.

Следующий шаг делает американец Дж. Бекенштейн. Он высказывает смелое предположение, что для черной дыры можно ввести понятие энтропии и что энтропия черной дыры пропорциональна ее поверхности. Поверхность растет (или остается постоянной) со временем, хорошо имитируя поведение энтропии. Гипотеза, которая выглядела довольно сомнительной, в работе Хокинга превратилась в строгую теорему. Как выяснилось, она следовала из законов квантовой механики и общей теории относительности.

Открытие Хокинга повлекло за собой цепочку новых утверждений. Если у черной дыры есть энтропия, то должна быть и температура. Термодинамика позволяет вычислить, что если энтропия полностью определяется квадратом энергии и не зависит, например, еще и от объема, то температура должна быть обратно пропорциональна энергии (или массе) черной дыры.

Немного подумав, можно понять, что такое заключение не очень согласуется с исходным представлением о черной дыре. Тело, падающее на черную дыру, описывается уравнениями механики (конечно, механики ОТО), и для энтропии в таком описании нет места. Но уравне-

ния механики обратимы во времени, а звезда коллапсирует необратимо. В теории должны были появиться энтропия и температура. Но дальше предъявляет свои обязательные требования термодинамика. Всякое тело, имеющее температуру, должно излучать по закону Стефана — Больцмана (со спектром Планка). Значит, вопреки всему сказанному о безвозвратности коллапса и невозможности ничему вырваться из гравитационного поля, черная дыра излучает, и интенсивность излучения растет как четвертая степень ее температуры. «Черная дыра не так уж черна» — так названа седьмая глава книги.

В чем физическая природа этого излучения? Было ясно, что ответ на новый вопрос нельзя искать в теории Эйнштейна и надо привлекать вторую королевую физики нашего века — квантовую механику. Конечно, вторжение квантовой механики было не так уж неожиданно. Уже в формуле для энтропии Бекенштейна возникла трудность с размерностью коэффициента, обращаящего площадь в безразмерную энтропию. Единственной величиной, с помощью которой разумно «обезразмерить» площадь, был квадрат планковской длины, равной 10^{-33} см и составленной из постоянной Планка и постоянной тяготения. Не вовлекая в игру постоянную Планка, написать формулу для энтропии не удастся.

Первый вариант решения был предложен Я. Б. Зельдовичем и А. А. Старобинским: если черная дыра вращается, она должна излучать. Хокинг исследовал эту идею подробно после того, как авторы рассказали ему о ней в 1973 г. (Хороший пример того, как быстро и четко резонирует Хокинг на новые идеи.) Выяснилось, что для излучения звезде не обязательно вращаться: излучает вакуум, в который она погружена. Это почти мистическое свойство вакуума — пространства, в котором ничего нет. Но в квантовой механике «даже если ничего нет, что-то происходит», как заметил кто-то из физиков.

В «пустом» вакууме есть поля, и хотя величины полей, например магнитного, равны в

среднем нулю, их квадраты (или абсолютные значения) в нуль не обращаются даже в среднем (хотя бы потому, что они всегда положительны). Вблизи черной дыры такие флуктуации рождают пары. Масса таких пар почти равна нулю, так как большой (отрицательный) гравитационный потенциал практически компенсирует массу свободных электрона и позитрона.

У компонентов родившейся пары разные судьбы. Одна из частиц «проваливается» в черную дыру и перестает существовать для нас. Но частица не отдала свою жизнь зря. Ее энергия передалась второй частице и дала ей возможность вырваться из гравитационного плена. Это и есть излучение Хокинга. Вычисление спектра излучения привело к формуле Планка. Так было опровергнуто мнение, что черные дыры бессмертны. Правда, излучение существенно сокращает жизнь только маленькой черной дыры, черная дыра с радиусом протона (10^{-13} см), возникшая в процессе Большого взрыва, не дожила бы до нашего времени. Но продолжительность жизни черной дыры растет, как куб ее радиуса. Для черной дыры с радиусом 3 км (гравитационный радиус Солнца) продолжительность жизни столь велика, что не стоит ее и подсчитывать⁴.

Но тем не менее черной дыре предстоит исчезнуть. Как это произойдет, наука не знает. Можно лишь сказать, что конечных состояний может быть очень много, и предсказать, как погибнет черная дыра, никто сейчас не в состоянии. Как нельзя предсказать, на какие куски разобьется бутылка, упавшая на камень.

О черных дырах написано много, и мы можем не продолжать. Но прежде чем оставить эту тему, хотелось бы досказать историю, которую Хокинг упоминает в книге.

Первый раз речь о черной дыре завел в 1783 г. англичанин Дж. Мичелл, который написал, что если бы тело с плотностью, равной плотности Солнца, имело бы радиус в 500 раз меньше, то свет, излученный таким телом,

⁴ Она примерно в 10^{64} раз больше возраста Вселенной.

должен вернуться обратно из-за собственной тяжести. Мичелл размышлял об этом не просто так. Ему очень хотелось найти способ измерения массы дальних звезд. Для него свет состоял из корпускул, которые, преодолевая гравитационное поле звезды (определяемое ее массой), теряют свою скорость. Именно так он и пришел к своему выводу. Но для него более важным было следствие обнаруженного им явления: чтобы определить массу звезды, надо измерить на Земле скорость света, приходящего к нам от этой звезды.

Сегодня мы понимаем, что измерять надо не изменение скорости света, а изменение его частоты — красное смещение. Но для своего времени идея была красивая.

Размышление о конце черной дыры с неизбежностью приводит к выводу, что без квантовой механики не обойтись. С такими сомнениями и результатами Хокинг в 1981 г. вернулся к попытке объяснить начало Вселенной. Но его занимают не математические вычисления (в уме их делать нелегко), а поиски самых глубоких истин.

Как установились начальные условия, приведшие ко Вселенной, которую мы видим и в которой оказались сами? «Один возможный ответ состоял в том, что Бог выбрал начальную конфигурацию Вселенной из соображений, которые мы не можем надеяться понять... Но если он ее запустил столь непонятным образом, то почему сделал так, что она развивается по законам, нам понятным...» Поскольку уже эти законы понятны, то «естественно предположить, что порядок существует не только в законах, но и в условиях на границе пространства-времени, определяющих исходное состояние Вселенной».

Так Хокинг вступает в спор с Богом, отнимая у него роль Создателя. Идея Хокинга носит еще достаточно смутный характер. В книге он совсем не пишет формул — издатель предупредил его, что одна-единственная формула уполовинит тираж (формула $E=mc^2$ все же приводится, но это не помешало книге стать бестселлером). И свою новую идею Хокинг пытается объяснить словами. Ка-

жется, все же в его мозгу есть более четкая картина, которую он просто еще не может передать компьютеру. Когда я говорю об этом, меня не покидает ощущение какого-то фантастического (или сюрреалистического) романа, в который я попал.

Почему и как возникла Вселенная — объяснить, оставаясь в рамках классической модели, нельзя, как нельзя объяснить свойство электрона, зная лишь одну-единственную его траекторию (или небольшой ее кусочек). Но квантовая механика благодаря принципу неопределенности имеет дело сразу со многими (или даже со всеми) возможными историями.

То, с чего начинается современная теория, — это некоторым образом определенная сумма по всем историям, которые, интерферируя друг с другом, создают нашу реальную (в каком-то смысле наиболее вероятную) Вселенную. Но математика отказывается реализовать такую идею. Чтобы теория была формально последовательной, надо отказаться от обычного времени. Для описания возможных историй Вселенных приходится переходить от реального времени к мнимому, превращая пространство Минковского в более понятное четырехмерное пространство Евклида. В таком евклидовом четырехмерии исчезают особые точки (так, полюса Земли ничем геометрически не отличаются от точек экватора). У поверхности сферы, как и у любой другой замкнутой поверхности, «границ нет». Кавычки здесь поставлены потому, что это есть новое граничное условие. Совсем просто, но, к сожалению, не вполне понятной. Ведь история, начинающаяся в сингулярности, развивается вместе с нами в реальном времени, так что наше психологическое время оказывается не тем, в котором описывается развитие Вселенной. Надо еще думать, как совершить переход от мнимого времени к реальному. Идея кажется заманчивой, но пройдет, наверное, еще немало времени (реального), пока (мы надеемся) она станет понятной.

Вся книга Хокинга написана им с целью подвести читателя к своей идее. Он не очень много может сказать в ее за-

щиту. Он призывает читателя к раздумьям о самых общих законах, результатом которых (случайным или необходимым) стало появление жизни, читателя (и, конечно, книги Хокинга).

Есть и еще важный и, несомненно, великий закон — закон о направлении времени. «Стрела времени» — так называется девятая глава книги. Эта глава — великолепный научный этюд, и его имело бы смысл опубликовать отдельно.

Кстати, здесь уместно не очень лирическое отступление. Мы живем в эпоху перемен. Но до сих пор тратим на перевод книги несколько лет. Итальянское издание рецензируемой книги вышло через месяц после оригинала. В наших же условиях вопрос надо сначала «согласовывать» (глагол, заменивший собой «доказывать», что делалось быстрее), а потом начинается тоже неоправданно длительный издательско-типографский процесс. Но скорость передачи информации — показатель прогресса. А у нас даже библиотеки (кроме одной-двух, наверное) не могут позволить себе роскоши купить книгу Хокинга.

Рецензию мне хочется закончить словами автора — не исправимого оптимиста: «Если мы откроем полную теорию, она должна стать со временем понятной для каждого в своих основных принципах, а не только для избранных ученых. И тогда мы все, философы, ученые и просто люди, сможем принять участие в обсуждении вопроса, почему же все-таки мы и Вселенная существуем».

Нам может нравиться или не нравиться ход мысли Хокинга, но от поставленных им вопросов уйти нельзя... В некоем смысле мы подошли к границе познания, и мы смущены самой сутью: может ли система (Вселенная и мы) быть устроена так, что часть ее — человек — способен понять все ее законы, включая законы собственного познания. Основное положение науки состоит в том, что мир реален и познаваем. Но очевидно ли, что он познаваем человеком? Сомнения в этом нередко приводят к мысли о могучих разумом нас изучающих инопланетянах. Нуждаемся ли мы в этой гипотезе? Возможно, на это ответит Хокинг.

Геофизика

Н. Мазно. НАУКА О ЛЬДЕ / Пер. с яп. А. И. Лаконова под ред. В. Ф. Петренко. М.: Мир, 1988. 229 с. Ц. 60 к.

Столь полной картины научных представлений о льде, притом опирающейся на новейшие данные, до сих пор не было. Известный японский физик Н. Мазно смог сделать лед объектом увлекательного рассказа о природе Земли и Вселенной. Он включил в свой рассказ энергетический баланс Земли, с которым связано возникновение и существование льда, описал его физические и механические свойства, процессы, происходящие во льду, из которых особое внимание читателя привлекут восстановление — замерзание льда при механических нарушениях — и так называемое спекание. Читатель получит представление о типах льда с необычной структурой и свойствами, образующегося в особых условиях при сверхвысоких давлениях. Большое место уделено космическому льду и льду на планетах Солнечной системы.

Книга, как и предупреждает автор, местами оказывается трудной для неподготов-

ленного читателя. Да и цель у автора была непростая — «пробудить в читателях азарт исследователей». Будем надеяться, что он ее достигнет.

Почвоведение

Л. О. Карпачевский. ЖИЗНЬ ПОЧВЫ. М.: Знание. Сер. «Сельское хозяйство». (Новое в жизни, науке, технике) № 2, 1989. 62 с. Ц. 15 к.

Не так часто в популярной печати обсуждаются экологические аспекты сохранения почв. Но к этой актуальнейшей теме уже не в первый раз обращается известный специалист по физике почв Л. О. Карпачевский. «...Злоупотребление удобрениями, пестицидами, неправильные использование техники и организация ландшафта приводят к тому, что почвенный покров резко нарушается... И земледелец зачастую испытывает стыд за такое обращение с землей, сострадание к нарушенной почве. И пусть это не совсем соответствует истине, но будем думать о почве, как о живом существе, жизнь которого имеет свои особенности и может прерываться», — предлагает автор брошюры.

Рассказывая о свойствах

почвы, он широко использует лексику науки о живом — говорит о теле, скелете, плазме, легки и даже нервах почвы. Такая образность при аккуратных и точных комментариях — хороший популяризаторский прием.

В центре повествования — понятие агроэкосистемы, которая представлена как совокупность сельскохозяйственных полей, а также возделываемых на них культур, сельскохозяйственных машин и т. д. В оценке состояния почв автор занимает позицию реалиста, сознающего, что полностью вернуть пахотным почвам их первоначальный естественный облик невозможно.

Спасение почвы, как и лечение человека, — конкретно и должно основываться на знании ее свойств. Эти знания необходимы каждому, кто связан с почвой, будь то земледелец или энергетик. «Может быть», — заключает автор, — тогда работы по восстановлению нарушенных почв велись бы намного лучше, а необоснованных нарушений почвенного покрова было бы намного меньше».

Научные редакторы:

И. Н. АРУТЮНЯН,
О. О. АСТАХОВА,
Л. П. БЕЛЯНОВА,
А. В. ДЕГТЯРЕВ,
М. Ю. ЗУБРЕВА,
Г. В. КОРОТКЕВИЧ,
Г. М. ЛЬВОВСКИЙ,
В. В. МАЙКОВ,
Л. Д. МАЙОРОВА,
Н. Д. МОРОЗОВА,
Е. М. ПУШКИНА,
Н. В. УСПЕНСКАЯ

Литературные редакторы:

Г. И. ПАНКОВА, С. С. ПЕРЕПЕЛКИНА

Художник П. П. ЕФРЕМОВ

Художественные редакторы:

Л. М. БОЯРСКАЯ, Д. И. СКЛЯР

Заведующая редакцией

О. В. ВОЛОШИНА

Корректоры:

О. Н. БОГАЧЕВА, Т. Д. МИРЛИС

В художественном оформлении номера принимали участие

А. Б. ГАЛИЦКИЙ,
М. Л. МОРГЕНШТЕРН,
В. А. СКРЕБНЕВ,
Е. К. ТЕНЧУРИНА

Ордена Трудового Красного
Знамени издательство «Наука»

Адрес редакции:

117049 Москва ГСП-1,
Мароховский пер., 26
Тел. 238-24-56, 238-26-33

Сдано в набор 28.04.89

Подписано в печать 20.06.89

Т — 12103

Формат 70×100 1/16

Бумага офсетная, № 1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 1445, 6 тыс.

Уч.-изд. л. 15,3

Тираж 54 000 экз.

Зак. 1113

Цена 80 к.

Ордена Трудового

Красного Знамени

Чеховский полиграфический

комбинат Государственного

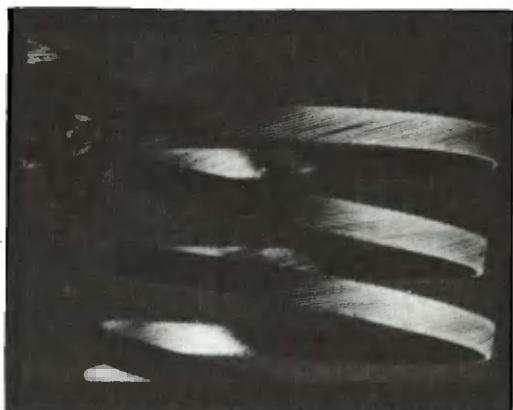
комитета СССР

по делам издательства,

полиграфии и книжной торговли.

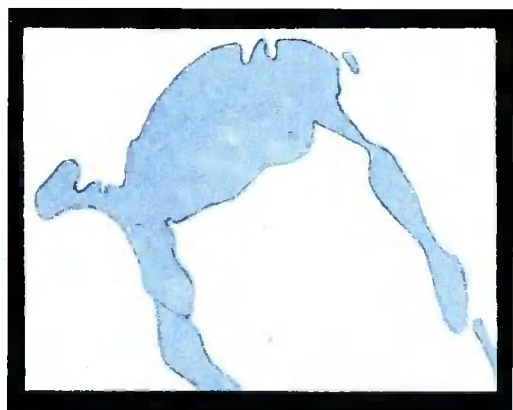
142300, г. Чехов

Московской области



Многочисленные примеры и конкретные экономические расчеты показывают, что фундаментальные исследования не просто выгодны обществу, во многом они — основа национального благосостояния.

Матиян С. Г. ФУНДАМЕНТАЛЬНАЯ НАУКА И НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ПРОГРЕСС



Впервые предпринята попытка комплексной оценки экологической ситуации в стране. На карту положены ареалы природоохранных проблем различной остроты и происхождения.

Кочуров Б. И. НА ПУТИ К СОЗДАНИЮ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ КАРТЫ СССР

Открытие и изучение уникальной фауны венда позволили по-новому взглянуть на некоторые проблемы в области систематики и исторического развития древнейших беспозвоночных.

Федонкин М. А. ЗАГАДКИ ВЕНДСКОЙ ФАУНЫ

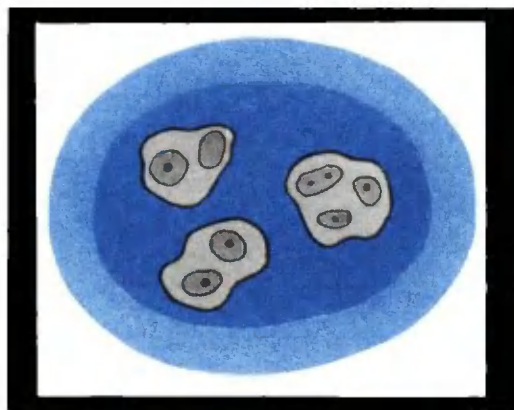
ПРИРОДА

8⁸⁹



Возраст и следы неизвестных ранее сильных землетрясений в горах Средней Азии были установлены с помощью измерений размеров лишайников, растущих на каменных поверхностях.

Смирнова Т. Ю., Никонов А. А. ЛИШАЙНИКИ — ХРОНОМЕТР СЕЙСМИЧЕСКИХ КАТАСТРОФ



Открытие сверхмассивных облаков из молекул водорода изменило взгляды астрофизиков на роль диффузного вещества в эволюции Галактики.

Сурдин В. Г., Рудницкий Г. М. ГИГАНТСКИЕ МОЛЕКУЛЯРНЫЕ ОБЛАКА

