

ISSN 8032-874X

ПРИРОДА

2 99



Главный редактор академик А.Ф.АНДРЕЕВ

Первый заместитель главного редактора доктор физико-математических наук А.В.БЯЛКО

Заместители главного редактора:

доктор физико-математических наук А.А.КОМАР (физика),

доктор биологических наук А.К.СКВОРЦОВ (биология),

доктор геолого-минералогических наук А.А.ЯРОШЕВСКИЙ (науки о Земле)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Доктор геолого-минералогических наук С.В.АПЛОНОВ (геофизика), О.О.АСТАХОВА (редактор отдела биологии и медицины), доктор геолого-минералогических наук А.Т.БАЗИЛЕВСКИЙ (планетология), доктор геолого-минералогических наук И.А.БАСОВ (геология), кандидат химических наук Л.П.БЕЛЯНОВА (редактор отдела экологии и химии), кандидат технических наук В.П.БОРИСОВ (история науки), член-корреспондент РАН В.Б.БРАГИНСКИЙ (физика), доктор физико-математических наук А.Н.ВАСИЛЬЕВ (физика), доктор географических наук А.А.ВЕЛИЧКО (география), академик М.Е.ВИНОГРАДОВ (биоокеанология), академик РАН А.И.ВОРОБЬЕВ (медицина), доктор биологических наук Н.Н.ВОРОНЦОВ (охрана природы), член-корреспондент РАН С.С.ГЕРШТЕЙН (физика), доктор биологических наук А.М.ГИЛЯРОВ (экология), академик Г.С.ГОЛИЦЫН (физика атмосферы), кандидат физико-математических наук Ю.К.ДЖИКАЕВ (ответственный секретарь), академик Г.В.ДОБРОВОЛЬСКИЙ (почвоведение), академик А.М.ДЫХНЕ (физика), академик Г.А.ЗАВАРЗИН (микробиология), академик Ю.А.ЗОЛотов (химия), М.Ю.ЗУБРЕВА (редактор отдела географии и океанологии), академик РАН В.И.ИВАНОВ (генетика), академик В.Т.ИВАНОВ (биоорганическая химия), академик В.А.КАБАНОВ (химия), доктор физико-математических наук М.В.КОВАЛЬЧУК (физика), Г.В.КОРОТКЕВИЧ (редактор отдела научной информации), академик Н.П.ЛАВЕРОВ (геология), член-корреспондент РАН В.В.МАЛАХОВ (зоология), доктор биологических наук К.Н.НЕСИС (биология), член-корреспондент РАН Л.В.РОЗЕНШТРАУХ (физиология), П.Е.РУБИН (история науки), член-корреспондент РАН А.Н.САХАРОВ (история), академик В.П.СКУЛАЧЕВ (биохимия), кандидат физико-математических наук К.Л.СОРОКИНА (редактор отдела физики и математики), член-корреспондент РАН Н.П.ТАРАСОВА (физическая химия), Н.В.УЛЬЯНОВА (редактор отдела геологии, геофизики и геохимии), Н.В.УСПЕНСКАЯ (редактор отдела истории естествознания и публицистики), академик Л.Д.ФАДДЕЕВ (математика), член-корреспондент РАН М.А.ФЕДОНКИН (палеонтология), доктор биологических наук С.Э.ШНОЛЬ (биофизика), О.И.ШУТОВА (редактор отдела охраны природы), член-корреспондент РАН А.М.ЧЕРЕПАШУК (астрономия, астрофизика).

НА ПЕРВОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Красный волк. См. в номере: **Чесноков Н.И.** *Возвращение красного волка...*

Фото из книги M. Greeley «Wolf» (1996)

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Компьютерное цветное изображение планетарной туманности «Гантель» (M27, NGC 6853). См. в номере: **Сурдин В.Г.** *Первые спектры, полученные Очень большим телескопом.*

ESO Press Photos 38 a-e/98



Эмблема отмечает статьи, которые победили в Конкурсе РФФИ 1998 г. на лучшую научно-популярную статью. Подробнее о результатах конкурса читайте в этом номере журнала.



Издательство «Наука» РАН

© Российская академия наук,
журнал «Природа», 1999

В НОМЕРЕ

- 3 Бялко А.В.**
РЕЗУЛЬТАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЕЙ

- 5 Дебатов В.Г., Богуш В.Г.**
ПРИРОДНЫЕ ВОЛОКНА ДЛЯ БУДУЩЕГО

В современном мире человек все чаще пользуется плодами биотехнологии. Но специалисты продолжают исследования, пытаются, например, получить паутинную нить и целлюлозу без пауков и растений, поручая производство этих природных волокон микроорганизмам.

- 16 Пудалов В.М.**
КВАНТОВЫЙ ЭФФЕКТ ХОЛЛА:
ГЛОБАЛЬНАЯ КАРТИНА ЯВЛЕНИЯ

Интерес к квантовому эффекту Холла не угасает. Он уже принес исследователям две Нобелевские премии. Оказывается, зарождение и исчезновение эффекта тесно связано с беспорядком в системе.

- 29 Короновский Н.В.**
ПОСЛЕДНИЙ ДЕНЬ ПОМПЕИ

Соединив потрясающие описания Плиния Младшего событий 24 и 25 августа 79 г. и результаты детального изучения туфов и пеплов, которые погребли древние римские города, мы теперь буквально по минутам знаем, что происходило в те трагические дни.

- 42 Чесноков Н.И.**
ВОЗВРАЩЕНИЕ КРАСНОГО ВОЛКА

- 45 Авакян А.Б.**
ЧТО ДЕЛАТЬ С ВОЛЖСКИМИ ВОДОХРАНИЛИЩАМИ?

Ни спуск водохранилищ, ни понижение их уровня не помогут справиться с тяжелой экологической ситуацией в Волжском бассейне. Для ее стабилизации необходим комплекс самых различных мер.

- 59 ВЕСТИ ИЗ ЭКСПЕДИЦИЙ**
Калякин В.Н.
КАМЕННЫЕ ЛАБИРИНТЫ НА
НОВОЙ ЗЕМЛЕ

Несмотря на то что к настоящему времени в Северной Европе известно около 150 таких необычных сооружений древнего человека, их предназначение и возраст остаются невыясненными. К существующим предположениям на этот счет добавляется еще одна гипотеза.

- 70 Сурдин В.Г.**
ПЕРВЫЕ СПЕКТРЫ, ПОЛУЧЕННЫЕ
ОЧЕНЬ БОЛЬШИМ ТЕЛЕСКОПОМ

- 74 Иваницкий Г.Р.**
ДВИЖЕНИЕ ЧАСТИЦ В МИКРО-
МИРЕ ЖИВЫХ СИСТЕМ

- 86 ЗАМЕТКИ И НАБЛЮДЕНИЯ**
Несис К.Н.
ОСТРОРЫЛЫЙ СКАТ НА ГРАНИ
ВЫМИРАНИЯ

- 89 ВОЗВРАЩЕНИЕ**
Сорокина М.Ю.
ГЕОРГИЙ ВЛАДИМИРОВИЧ
ВЕРНАДСКИЙ

Материалы, хранящиеся в архиве Колумбийского университета, раскрывают с неожиданной стороны судьбу известного историка-эмигранта, сына нашего знаменитого естествоиспытателя.

- 103 НОВОСТИ НАУКИ (72)**
КОРОТКО (73, 88)

- 118 РЕЦЕНЗИИ**
Сытин А.К.
«ПОДАРОК» ПЕРЕВОДЧИКУ

- 119 НОВЫЕ КНИГИ**

- 122 ВСТРЕЧИ С ЗАБЫТЫМ**
Борисов В.П.
ЭХО БУДУЩЕГО, ЗВУЧАЩЕЕ ИЗ
ПРОШЛОГО
Невероятная судьба Льва Термена

CONTENTS

- 3 Byalko A.V.**
RESULTS OF THE CONTEST OF
POPULAR SCIENCE ARTICLES

- 5 Debabov V.G. and Bogush V.G.**
NATURAL FIBERS FOR THE
FUTURE

In the modern world, humans are increasingly using the fruits of biotechnology. Yet specialists continue their research. Seeking to obtain spider threads and cellulose without spiders and plants, they entrust microorganisms with the task of producing these natural fibers.

- 16 Pudalov V.M.**
QUANTUM HALL EFFECT: A
GLOBAL PICTURE OF THE
PHENOMENON

There is a continued interest in quantum Hall effect, which has already brought two Nobel Prizes to researchers. It has been found that the initiation and disappearance of the effect is closely related to disorder in the system.

- 29 Koronovsky N.V.**
THE LAST DAY OF POMPEII

By combining the terrifying descriptions of the events of August 24 and 25, AD 79, left by Pliny the Younger and results of detailed research on tuffs and ashes that buried ancient Roman cities, we now have a literally minute-by-minute account of what happened in those tragic days.

- 42 Chesnokov N.I.**
THE RETURN OF THE RED WOLF

- 45 Avakyan A.B.**
WHAT'S TO BE DONE WITH THE
VOLGA RESERVOIRS?

Neither the release of the reservoirs nor the lowering of their levels can help cope with the severe ecological situation in the Volga River basin. It can only be stabilized through a complex of various measures.

- 59 NEWS FROM EXPEDITIONS**
Kalyakin V.N.
STONE LABIRINTHS ON NOVAYA
ZEMLYA

Although North Europe numbers some 150 such unusual structures erected by ancient humans, their designation and age remain obscure. There is yet another addition to the existing hypotheses on this subject.

- 70 Surdin V.G.**
FIRST SPECTRA OBTAINED WITH
A VERY LARGE TELESCOPE

- 74 Ivanitsky G.R.**
MOTION OF PARTICLES IN
THE MICROWORLD OF LIVING
SYSTEMS

- 86 NOTES AND OBSERVATIONS**
Nesls K.N.
RAJA LAEVIS ON THE VERGE OF
EXTINCTION

- 89 COMEBACK**
Sorokina M.Yu.
GEORGY VLADIMIROVICH
VERNADSKY

Records in the archives of Columbia University disclose an unexpected aspect of the life of the noted emigre historian, the son of our famous natural scientist.

- 103 SCIENCE NEWS (72)**
IN BRIEF (73, 88)

- 118 BOOK REVIEWS**
Sytin A.K.
A "GIFT" TO A TRANSLATOR

- 119 NEW BOOKS**

- 122 ENCOUNTERS WITH THE FORGOT-
TEN**

- Borlsov V.P.**
ECHO OF THE FUTURE
RESOUNDING FROM THE PAST
Incredible Destiny of Lev Termen

РЕЗУЛЬТАТЫ КОНКУРСА НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫХ СТАТЕЙ

Бялко А.В.,

доктор физико-математических наук,
первый заместитель главного редактора журнала «Природа»

В МАРТЕ 1998 г. Российский фонд фундаментальных исследований (РФФИ) объявил конкурс научно-популярных статей, отражающих результаты исследований, которые были поддержаны грантами РФФИ. На 42 объявленные премии конкурса было представлено 135 работ. Конкурсная комиссия была сформирована на основе экспертных комиссий РФФИ совместно с представителями ведущих академических научно-популярных журналов («Природа», «Вестник РАН», «Наука в России», «Земля и Вселенная»).

В декабре прошлого года были подведены итоги конкурса. Решением совета РФФИ присуждено 43 премии размером 6000 руб. (к сожалению, индексировать премии не удалось). Представление работ по отделам фонда оказалось неравномерным, поэтому и количество премий по различным научным направлениям также заметно различается.

Публикуем фамилии победителей (руководители проектов выделены) и названия статей-лауреатов.

ОТДЕЛ МАТЕМАТИКИ, МЕХАНИКИ И ИНФОРМАТИКИ (01). Представлено 14 работ, присуждено 6 премий:

Иванов А.П. Закономерности удара в механических системах.

Ильин В.П. Супералгоритмы для сверхбольших алгебраических систем.

Нестеренко Ю.В. Трансцендентные числа.

Попов А.Л., Чернышев Г.Н. Эффект геометрической локализации упругих волн и некоторые его применения.

Теляковский С.А., Андреев Н.Н., Юдин В.А. Приближение индивидуальных функций — от Чебышева до наших дней.

Фурман Я.А. Микромир форм изображений.

ОТДЕЛ ФИЗИКИ И АСТРОНОМИИ (02). Представлено 20 работ, присуждено 6 премий:

Гончаров Г.А. Тени звезд.

Мейлихов Е.З. Высокотемпературные сверхпроводящие керамики.

Пудалов В.М. Переходы металл—диэлектрик: новая физика старого явления.

Сидоренков Н.С. Межгодовые колебания системы атмосфера—океан—Земля.

Федоров В.В. Обнаружение сильных электрических внутрикристаллических полей и новая возможность поиска ЭДМ нейтрона дифракционным методом.

Фридман А.М., Хоружий О.В. Предсказание и открытие гигантских вихрей в галактиках.

ОТДЕЛ ХИМИИ (03). Представлено 17 работ, присуждено 4 премии:

Саввин С.Б., Михайлова А.В. Органические реагенты в аналитической химии.

Никонов Г.Н. От внутримолекулярных взаимодействий до многопалубных структур.

Вертегел А.А. Мир, основанный на самоподобии.

Третьяков Ю.Д., Гудилин Е.А. Синтез левитирующих сверхпроводников. — путь от фантастики к реальности.

ОТДЕЛ БИОЛОГИИ И МЕДИЦИНСКИХ НАУК (04). Представлено 32 работы, присуждено 9 премий:

Берштейн Л.М. Курение и гормональный канцерогенез: дело — табак?

Бляхман Ф.А. Много ли мы знаем о сердце?

Болдырев А.А. Механизмы возбуждения, повреждения и гибели нейронов.

Гомазков О.А. Нейропептиды — универсальные регуляторы. Почему?

Захаров И.А. Бактерии управляют половым размножением насекомых.

Степаньянц С.Д., Анохин Б.А., Кузнецова В.Г. О пресноводном полипе с рогами в форме рогов.

Супин А.Я. Как измерить остроту слуха?

Чесунов А.В. Многоклеточные животные паразитируют в простейших?

Янковский Н.К., Боринская С.А. Геном человека: нити судьбы; Молекулярно-генетические методы.

ОТДЕЛ НАУК О ЗЕМЛЕ (05). Представлено 30 работ, присуждено 10 премий:

Басов И.А. Океанологическая и климатическая эволюция в миоцене.

Богатиков О.А., Кононова В.А. Магматическое «окно» в глубины Земли.

Еланский Н.Ф. Международные конвенции по атмосфере и климату и интересы России.

Каплин П.А., Павлидис Ю.А., Селиванов А.О. Развитие побережий в условиях глобального потепления климата и подъема уровня океана.

Киселев А.А., Кароль И.Л. Атмосферный озон вчера, сегодня и ...

Масайтис В.Л. Сотворены силами небесными.

Несис К.Н. Сколько можно сидеть на яйцах?

Пальчик Н.А., Столповская В.Н., Григорьева Т.Н., Мороз Т.Н. Биоминеральные образования патогенной природы в организме человека.

Рогачев К.А. Смена режима в северной части Тихого океана: термохалинный переход и усиление субарктической циркуляции.

Шварцев С.Л. Загадки самых крепких рассолов нашей планеты.

ОТДЕЛ НАУК О ЧЕЛОВЕКЕ И ОБЩЕСТВЕ (06). Представлено 19 работ, присуждено 7 премий:

Гаспаров М.Л. С цифрами сквозь стих: об одной новой области науки.

Дубовский С.В. Моделирование процессов трансформации российской социально-экономической системы: 1985—2010.

Есипова В.А., Климкин В.М., Калайда В.Т., Чернявская Ю.О., Белов В.В. Применение лазерных, спектроскопических и плазменных технологий и методов математического моделирования для визуализации, обработки и идентификации филигранных.

Ковальзон В.М. Стресс, сон и нейропептиды.

Нижегородцев Р.М. Информационная экономика и технико-экономическая динамика России: что впереди?

Фрумкина Р.М. Когнитивная лингвистика с точки зрения парадигмы в науках о человеке: эпистемологические проблеммы.

Шишлина Н.И. Евразийская степь: поиск и открытия.

ОТДЕЛ ТЕЛЕКОММУНИКАЦИЙ И ИНФОРМАЦИОННЫХ ПРОГРАММ (07). Представлено 3 работы, присуждена 1 премия:

Мельников М.Я., Кочетова Э.К., Лебедев А.И., Лукин В.В., Покровский Б.И., Петросян И.В., Табунов М.М. Телекоммуникация как основа эффективной работы с научной информацией в химии.

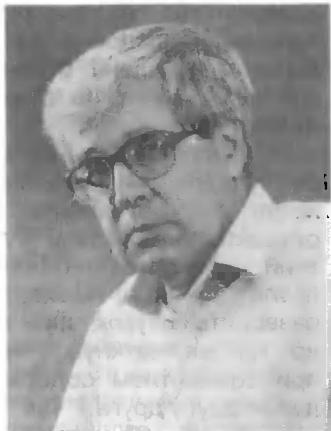
Совет РФФИ решил опубликовать статьи лауреатов в специальном сборнике, поручив его подготовку коллективу журнала «Природа». Мы также будем помещать в журнале ранее неопубликованные статьи победителей конкурса, сопровождая их такой эмблемой.



Сам конкурс научно-популярных статей среди держателей грантов по решению совета РФФИ будет проводиться ежегодно. О размерах премии сообщим дополнительно. Так что — готовьтесь! Пишите статьи в «Природу», Ваш шанс победить на конкурсе возрастет.

Природные волокна для будущего

В. Г. Дебабов, В. Г. Богуш



Владимир Георгиевич Дебабов, член-корреспондент РАН, академик РАСХН, доктор биологических наук, директор Государственного НЦ «Государственный научно-исследовательский институт генетики и селекции промышленных микроорганизмов».



Владимир Григорьевич Богуш, кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник того же центра.

Научные интересы авторов связаны с разработкой биотехнологических процессов получения биологически активных соединений.

НАУКА, как известно, «умеет много гитик», а природа неизмеримо больше, многое в ней поражает воображение своей сложностью и целесообразностью. Недаром техническая мысль нередко стремится уподобить свои рукотворные создания живым организмам или использовать принципы, которыми их щедро наградила природа. Вспомним бионику — одно из направлений кибернетики, в которой особенности строения и жизнедеятельности организмов используются для конструирования новых приборов, механизмов и систем, совершенствования вычислительной техники и т.д. Подражание природе в химии привело к возникновению нового направления — биомиметики, разработке необычных датчиков-биосенсоров.

В биологии появилась и широко распространилась чрезвычайно важная научно-практическая отрасль — биотехнология. Развившись на основе технологии рекомбинантных ДНК и методов промышленной микробиологии, она получила официальное название сравнительно недавно — в 70-х годах. Тем не менее уже сейчас есть области, в которых успехи биотехнологии бесспорны. Например, создано новое поколение лекарств на основе белков человека: генноинженерные инсулин, гормон роста, интерфероны, интерлейкины, эритропоэтин, факторы роста клеток и т.д. Сегодня сумма продаж таких биотехнологических медикаментов в мире превышает 20 млрд долл. США, т.е. составляет 10—12% фармацевтического рынка, и в два раза больше сумм, вырученных от продаж антибиотиков, которые, впрочем, тоже представляют продукт биотехнологии.

Созданные методами генетической инженерии трансгенные растения (хлопок, картофель, кукуруза, томаты,

табак и другие виды), устойчивые к вирусам, насекомым-вредителям, гербицидам, уже заняли миллионы гектаров на полях некоторых стран¹. По сути, это знаменует начало второго этапа «зеленой революции» в сельском хозяйстве.

Потенциал биотехнологии далеко не исчерпан, существует много направлений, которые еще не достигли промышленной реализации, но имеют такую перспективу через 5—10 лет.

Здесь речь пойдет об одном таком направлении — биотехнологическом методе получения волокон с уникальным набором полезных потребительских свойств. Имеются в виду всем известные паутина и целлюлоза — полисахарид, широко распространенный в природе, главная составная часть клеточных стенок растений, а также слизистая капсула, которой покрыты многие водоросли и бактерии.

Эту статью можно бы озаглавить «Назад в будущее», ведь природные волокна — шелк, хлопок — употреблялись в хозяйственной деятельности человека на протяжении веков. В нашем же столетии такие волокна в значительной мере вытеснены химическими, но произведенные биотехнологическим способом они вновь могут занять определенное место в технике и быту людей в грядущем веке. И, что немаловажно, их производство, основанное на возобновляемом сырье, будет экологически чистым.

Биотехнология может предложить новые пути рентабельного производства паутинной нити и целлюлозы методом микробиологического синтеза, т.е. без пауков и без растений.

ПАУТИНА — НИТЬ, ПОДОБНАЯ ТУМАНУ

Пауки с древнейших времен привлекали внимание людей своей способностью плести паутину. Само

название класса паукообразных (*Arachnida*) связано с греческим мифом об Арахне, лидийской девушке, которая славилась искусством прясть прозрачные, как воздух, ткани из нитей, подобных туману. Арахна осмелилась соперничать в ткачестве с самой Афиной Палладой и за свою дерзость была превращена богиней в паука. С той поры висит он в паутине и вечно плетет ее.

Первые научные опыты, в которых удалось оценить необычную прочность и эластичность паутины, были осуществлены еще в XVIII в. Французский исследователь Бон де Сент-Илез (*Bond de Saint-Hilaire*) пытался даже разводить пауков для научных целей, но тут же наткнулся на препятствие: при совместном содержании они съедали друг друга. Так что известное выражение «Как пауки в банке», — возникло давно и не без оснований.

Пауки строят из паутины убежища, плетут ловчие тенета и яйцевые коконы, самцы делают из нее сперматическую сеточку, для молодежи длинные нити служат парашютами при расселении ветром. Вырабатывается паутинная нить парными железами (их у разных видов пауков от 8 до 16, причем разного строения), которые находятся в брюшке и открываются на паутинных бородавках. Механические свойства паутины, вырабатываемой разными железами, неодинаковы, как и белки, из которых образована нить. Кроме того, пауки могут менять ее толщину и до некоторой степени свойства, выдавливая паутину с разной скоростью. Интересно, что внутри железы макромолекулы белков находятся в растворимом состоянии, и только при выдавливании происходит их агрегация и ориентация. Благодаря этому и возникает нить — чрезвычайно тонкая, прочная, эластичная и практически не растворимая ни в каких обычных растворителях.

Дальнейший рассказ пойдет лишь об одном сорте паутины — нити основы, самой прочной и толстой (около 5 мкм), из которой строится каркас ловчих сетей. Паук плетет ее с

¹ Гапоненко А.К., Долгов С.В. От гибридных растений к трансгенным // Природа. 1997. № 5. С.52—65.

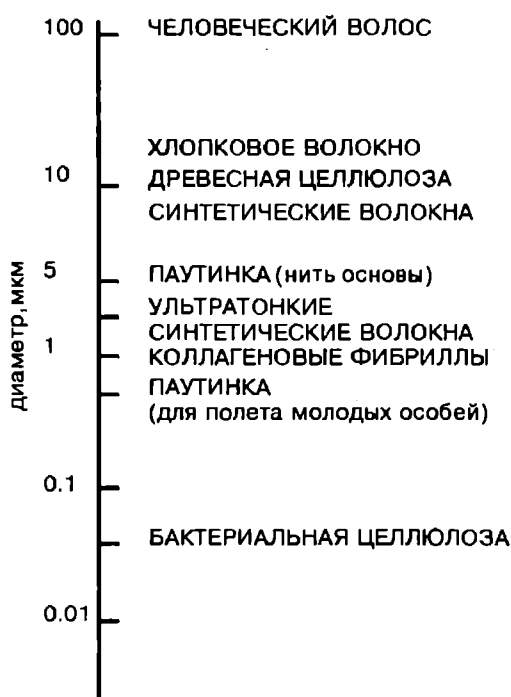
перерывами, так как выработка паутины отнимает много энергии: произведя 30—35 м нити, он восстанавливает силы в течение нескольких дней. (Ясно, что такой производительности недостаточно, чтобы использовать пауков для получения нити, например, в технических целях.)

Механические свойства нити основы уникальны: на разрыв она в пять раз прочнее стали, в два раза превосходит нейлон по эластичности, способна вытягиваться на треть своей длины, обладает малой плотностью и низкой температурой стеклования.

Будучи фибриллярными белками (их полипептидные цепи упорядоченно располагаются вдоль одной оси и образуют длинные волокна, фибриллы), спидроины, из которых построена нить, по аминокислотному составу напоминают белки шелка, фиброины. Те и другие белки содержат необычно большое количество глицина, аланина, много серина и глутамина. Хотя за это паутину называют паучьим шелком, он гораздо прочнее обычного: нагрузка на разрыв для последнего составляет примерно 33—43 кгс/мм², а для паутинки — около 260. Эта особенность связана с разным расположением аминокислот в спидроинах и фиброинах.

Исследование белков паутины чрезвычайно затруднено тем, что она, как упоминалось, не растворяется ни в чистой воде, ни в присутствии в ней денатурирующих (разрушающих естественную конфигурацию белковых молекул) агентов. До недавнего времени даже представления о размерах спидроинов были на редкость противоречивы.

Принципиальные изменения в изучении этих белков произошли в 1990—1992 гг., когда Р.В.Льюис и его коллеги клонировали в клетках *Escherichia coli* гены спидроинов, составляющих нить основы паука *Nephila clavipes*². Выяснилось, что эта



Толщина природных и синтетических волокон.

нить содержит два белка: спидроин-1 и спидроин-2 — очень длинные молекулы размером в несколько тысяч аминокислотных остатков. Первичная структура спидроинов (т.е. чередование аминокислот) была выведена из нуклеотидной последовательности соответствующих генов и оказалась весьма необычной. В ней множество раз повторяются следующие друг за другом одинаковые полипептидные фрагменты: из 34 аминокислотных остатков в спидроине-1 и из 47 — в спидроине-2. Полные повторы обычно перемежаются тремя—четырьмя неполными, в которых отсутствуют от трех до шести аминокислот. Еще одна характерная черта белков паутины — довольно протяженные полиаланиновые участки.

В нашем институте уже несколько лет проводится работа по клонированию генов спидроинов. Чтобы начать ее, нужно было получить исходный генетический материал. Здесь, видимо, следует вкратце напомнить принцип биотехнологического получения какого-

² Xu M., Lewis R.V. // Proc. Natl. Acad. Sci., USA. 1990. V.87. P.7120—7124; Hinman M.B., Lewis R.V. // J. Biol. Chem. 1992. V.267. P.19320—19324.

СПИДРОИН-1

1 5 10 15 20
 (-Ала-Гли-Глн-Гли-Гли-Тир-Гли-Гли-Лей-Гли-Сер-Глн-Гли-Ала-Гли-Арг-Гли-Гли-Лей-Гли-Гли-
 25 30 34
 Глн-Гли-Ала-Гли-Ала-Ала-Ала-Ала-Ала-Ала-Гли-Гли-)n

СПИДРОИН-2

1 5 10 31 35 40
 [(-Гли-Про-Гли-Гли-Тир-Гли-Про-Гли-Глн-Глн)3-Гли-Про-Сер-Гли-Про-Гли-Сер-Ала-Ала-Ала-
 47
 Ала-Ала-Ала-Ала-Ала-Ала-Ала-]n

Аминокислотные последовательности, многократно повторяющиеся в белках паутины.

либо природного полимера, будь то антибиотик, интерферон, инсулин или, как в нашем случае, спидроин. Заставить какой-либо организм синтезировать несвойственный ему, чужеродный, белок можно одним способом: ввести в геном тот ген (разумеется, со всем необходимым сопровождением, т.е. с регуляторными последовательностями), которым кодируется этот полимер. Но прежде предстоит выделить этот ген из ДНК клеток организма-хозяина, в нашем случае — паука. Нередко, когда синтез чужеродного белка «поручается», скажем, кишечной палочке (*E.coli*), биотехнологическому процессу предшествует получение не самого гена, а его «слепок» (транскрипта), т.е. информационной РНК (иРНК). Дело в том, что *E.coli*, будучи прокариотическим организмом, не имеет так называемой системы сплайсинга (от англ. to splice — сращивать) — удаления из нуклеотидной последовательности, уже «переписанной» на язык РНК, интронов (незначимых для структуры белка участков). А поскольку в зрелой иРНК организма-хозяина интроны уже вырезаны, то ее и используют, чтобы получить с помощью специального фермента (обратной транскриптазы) интересующий ген, размножить (клонировать) его и «вставить» в ДНК микроорганизма. Вся биотехнологичес-

кая процедура сложна и многоступенчатая, и мы еще будем обсуждать некоторые ее детали, а сейчас вернемся к паутине.

Информационную РНК спидроинов можно выделить из ампульных желез паука. Мы выбрали крестовика Уемуры (*Araneus uetura*) — самого крупного представителя крестовиков, который обитает в Южном Приморье. Известно, что наиболее мощные сети строят половозрелые самки в конце августа, когда плетут яйцевые коконы. Стало быть, в это время активнейшим образом работают гены спидроинов, и, следовательно, в ампульных железах больше, чем в другой период, содержится нужной иРНК.

Крестовики были отловлены на о-ве Попова, и одних «доили», чтобы получить паутинные нити, а другие, точнее, их ампульные железы, послужили источником для выделения иРНК спидроинов.

Для «доения» пришлось разработать специальную методику, позволившую изолировать все бородавки, кроме одной передней, и только из нее тянуть нить. В большинстве случаев удавалось вытянуть довольно длинную паутинку, но если паук был ослаблен голодом и стрессом, она быстро обрывалась.

Сухая паутина использовалась для определения N-концевой последовательности аминокислот, но, к сожалению, получить достоверных результатов не удалось. Это связано, оче-

CCCTGTGGAGCCACCCCTAGGGTTGGCCA
 ATCTACTCCCAGGAGCAGGAGGGCAGGAG
 CCAGGGCTGGGCATAAAAGTCAGGGCAGAG 5'
 CCACTCTATTGCTTACATTTCTCTGACAC
 AACTGTGTTCCACTAGCAACTCAACAGACA
 CCTGGTGCACCTCAGCTCTGAGCAAGT
 CTGCGCTTACTGCCCTGTGGGGCAAGGTGA
 AGSTGGATGAAGTTGGTGGTGAGGCCCTG
 GCGCTTTGGTATCAAGTTTACACAGAGT
 TTAAGGAGACCAATAGAACTGGGCATGTG
 GAGACAGAGAAGACTCTTGGGTTTCTGATA
 GGCACCTGACTCTCTCTGCCTATTGGTCTAT
 TTTCCACCCCTTACGCTGCGGGGCTAT
 CCTTGGACCCAGAGGTTCTTTTGAAGCTTT
 GGGGATCTGTCCACTCGTGTGCTGTAT
 GGCAACCTTAAGGTGAAGGCTCATGGCA
 AAAGTGCCTGGTGCCCTTATGTGATGGCTC
 GCTGAGCTGGACAACCTCAAGGGCAGCTT
 GGCACACTGAGTGAGCTGCACTGTGACAAG
 CTGACCTGGATCTTGAAGCTTCAGGCTG
 AGTCTATGGGACCCCTGATGTTTTCTTCC
 CTTCTTTTCTATGGTTAAAGTTCATGTCAT
 AGGAAGGGGAGAAGTAACAGGGTACAGTTT
 AGAATGGGAAACAGACGAATGATTGCATCA
 GTGTGGAAGTCTCAGGATCGTTTATGTTT
 TTTTATTGCTGTTCATAACAAATGTTTTCT
 TTTTGTTTAATCTTCTTCTTTCTTTTTTT
 CTCTCCCGCAATTTTACTATTATACATTA
 TGCCCTTAACATGTGTATAACAAAGGAAA
 TATCTCTGAGATACATTAAGTAACCTAAAA
 AAAAACTTTACACAGCTCGCTAGTACATT
 ACTATTGGGAATATATGTGTGCTTATTTGC
 ATATTCAATCTCCCTACTTTATTTTCTT
 TTATTTTAAATGATACATAATCATATAC
 ATATTATGGGTTAAAGTGAATGTTTTAA
 TATGTGTACACATATTGACCAAAATGGGT
 AATTTTGCATTTGTAATTTAAAAAATGCT
 TTCTCTTTTAAATATACTTTTTTGTATC
 TTATTTCAATACTTTCCCTAATCTCTTT
 TTTACGGCAATAATGATACAATGTATCAT
 GCTCTTTGACCACTTCAAGAAATCAACAG
 TGATAATTCTTGGGTTAAGGCAATAGCAAT
 ATTTCTGCATATAAATATTCTGCATATAA
 ATTGTAACCTGATGAAGAGGTTTCATATTG
 CTAATAGCAGCTACAATCCAGCTACCATT
 TGCTTTTATTTATGGTTGGGATAAGGCTG
 GATTATCTGAGTCCAAGCTAGGCCCTTTT
 GCTAATCATGTTTCATACCTCTTATCTCTCT
 CCCACAGCTCTTGGGCAAGGTGCTGCTG
 TGGGCTGGCCATCACTTTGGCAAGAAT
 TACCCGACCACTGACGCTGCTATCAGAA
 AGCTGGGCTGGGCTGCTTAATGCTTGGG
 GCAAGCTATGAGTATCTGCTCTTCTGCT
 TGTCCAATTTCTATTAAAGGTTCTTTGTT
 CCTAAGTCCAACCTAACTGGGGGATA
 TTATGAAGGGCCTTGACCATCTGGATTCTG
 CCTTATAAAACCAATTTATTTTCTTCA
 TGATGTATTAAATTTTCTGAATTTT
 ACTAAAAAGGGAATGTGGGAGGTCAGTGCA
 TTAAAAACATAAGAAATGATGAGCTGTTC
 AAACCTTGGGAAAATACATATCTTAA
 CTCCATGAAAGAAGCTGAGGCTGCAACCAG
 CTAATGCACATTGGCAACAGCCCTGATGC
 CTATGCTTATTCATCCCTCAGAAAAGGAT
 TCTTGAGAGGCTTGATTTGCAAGTTAAAG
 TTTTGCTATGCTGATTTTACATTACTTAT
 GTTTTATGCTGCTCATGAATGTCTTTTC

интрон 1 экзон 1

экзон 2

интрон 2

экзон 3

Участок ДНК, ген эукариотического организма. Обычно вся эта нуклеотидная последовательность, состоящая из экзонов (структурных элементов гена) и интронов (фрагментов, не значимых для кодирования белка) считается на одну молекулу РНК. Затем из такой молекулы-предшественницы интроны вырезаются, а экзоны сращиваются друг с другом и образуется зрелая иРНК. Этот процесс называют сплайсингом.

видно, с наличием у спидроинов «рваных концов» — белковых цепей с разными N-концевыми остатками.

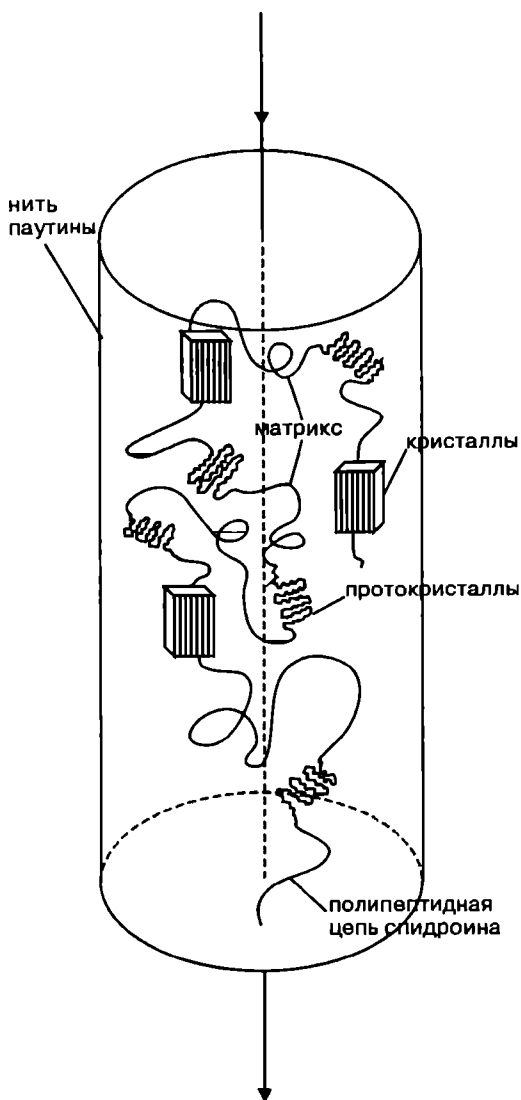
Надо сказать, что структура паутины нити исследуется во многих лабораториях мира с применением всего арсенала современных методов, включая рентгеноструктурный анализ, ядерный магнитный резонанс, просвечивающую электронную микроскопию, масс-спектрометрию и т.д. Хотя эти работы еще не завершены и детали структуры уточняются, общая архитектура нити стала понятной.

Сама каркасная нить состоит из многих переплетенных между собой молекул спидроина. Каждая из них представляет собой чередующиеся α -спиральные участки (обогащенные глицином) и β -складчатые слои, уложенные антипараллельно и содержащие полиаланиновые фрагменты³. В нити паучьего шелка α -спиральные участки образуют аморфный неупорядоченный матрикс, в который погружены кристаллы (50×50 нм²) из β -слоев⁴. Примечательно, что существуют две субпопуляции кристаллической фазы: кристаллы одной строго ориентированы вдоль оси волокна, в другой ориентация слабая. Содержание кристаллической фазы оценивается, по разным данным, от 30 до 45%. Таким образом, паучий шелк представляет собой композитный материал, в котором кристаллическая часть отвечает за прочность, а аморфная — за эластичность.

Описанная здесь вторичная структура спидроинов в виде серии

³ Thiel B.L. Viney C. // Journ. of Microscopy. 1997. V.185. Pt.2. P.179—187.

⁴ Simmons A.N., Michal C.A., Jelinsky L.W. // Science. 1996. V.271. P.84—87.



антипараллельных складчатых β -слоев, перемежающихся неупорядоченными участками, формируется в процессе биосинтеза уже в железах паука. Во время выдавливания из них длинные молекулы спидроинов, которые находятся в растворимом состоянии, ориентируются в потоке и области складчатых β -структур разных молекул, накладываются друг на друга, образуют кристаллы. Из-за того, что одни и те же аминокислотные последовательно-

Упрощенная модель молекулярной организации паутиновой нити. Сама нить, показанная здесь в виде цилиндра, состоит из многих молекул спидроинов, переплетенных между собой. В каждой такой молекуле есть α -спиральные участки и β -складчатые слои. Первые образуют в пауьем шелке неупорядоченный матрикс, в который погружены β -складчатые элементы структуры в виде слабо ориентированных включений (протокристаллов) и кристаллов, строго ориентированных вдоль оси волокна.

сти (вспомним, по 34 и 47 остатков у разных спидроинов) многократно повторяются, молекулы могут агрегировать «с перехлестом», благодаря чему образуется непрерывная нить. Кстати, пауки могут менять ее свойства именно в процессе выдавливания паутины. Так, если увеличить вес паука, вращая его в центрифуге, он выделяет более толстую и прочную, но менее жесткую паутину.

Что же сделано современными биотехнологами на пути рентабельного производства паучьего шелка микроорганизмами? Мы упоминали, что расшифровать первичную структуру спидроинов удалось по нуклеотидным последовательностям их генов, которые были клонированы в клетках *E.coli*. Значит, в принципе можно заставить работать эти гены (экспрессироваться) с такой интенсивностью, чтобы в кишечной палочке синтезировались преимущественно спидроины. Казалось бы, при современных успехах биотехнологии сделать это довольно просто: следует подставить гены под сильные промоторы (фрагменты последовательности ДНК, к которым присоединяется фермент РНК-полимераза, чтобы начался синтез, транскрипция, информационная РНК); организовать структурные участки для оптимального начала (инициации) и окончания (терминации) биосинтеза белка (трансляции). Иными словами, нужно создать экспрессионную кассету.

(Для любознательных читателей неспециалистов поясним, что делает сильный промотор. Он позволяет считывать с одного и того же гена до нескольких тысяч молекул иРНК. На-

пример, в одной клетке железы тутового шелкопряда ген фиброина — основного белка натурального шелка — воспроизводится в 10^4 копиях иРНК и на каждой из них синтезируется 10^5 молекул фиброина. Столь громадную производительность и обеспечивает сильный промотор.)

Именно таким образом сконструированы сотни продуцентов для уже упомянутых биологически активных белков человека — инсулина, фактора роста и др.

Так же, начав с выделения иРНК из паутинных желез крестовика Уемур и выполнив все обычные процедуры, мы внебрили гены спидроинов в состав коммерческого вектора и клонировали их в клетках *E.coli*. Сделаем очередное отступление. Вектором, т.е. переносчиком генов в бактериальную ДНК, могут быть вирусы, плазмиды (кольцевые ДНК), специально модифицированные и снабженные необходимыми для активного биосинтеза элементами. Сейчас биотехнологам почти не приходится конструировать векторы, так как этим занимаются специальные фирмы.

Так вот, в составе полученной нами клонированной ДНК были обнаружены повторяющиеся последовательности, близкие повторы в гене спидроина-1 паука *N.clavipes*, но не идентичные им. Это вполне естественно — ведь у нас был другой вид паука. Но конечная цель биотехнологических процедур — получить интересный продукт гена. Нам это не удалось, ни одна попытка не завершилась биосинтезом спидроина паука в клетках *E.coli*. Заметим (на полях), что мы достигли этого обходным путем: в плазмиду, предназначенную для доставки в ДНК *E.coli* гена человеческого интерлейкина-3, был вставлен ген спидроина. В результате кишечная палочка стала производить его в слитном составе с интерлейкином.

Надо сказать, что со многими трудностями биотехнологического способа получения спидроинов столкнулись и другие исследователи.

На самом деле подобным неуда-

чам есть веские причины, и связаны они с особенностями структуры спидроинов, да и вообще фибриллярных белков.

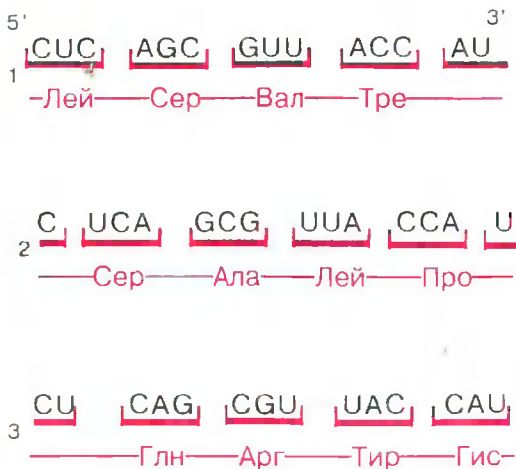
Первая из них — огромные размеры этих полимеров. Если они состоят из нескольких тысяч аминокислотных остатков, то количество нуклеотидов в структурных генах должно быть по крайней мере в три раза больше. А столь длинные гены невозможно внедрить в плазмиду, поэтому встраивают не все повторяющиеся нуклеотидные фрагменты, а лишь несколько.

Еще одна причина неудач — многократная повторяемость одинаковых генетических фрагментов. Именно она может приводить к генетической нестабильности бактериального хозяина. Правда, ее удается избежать, как показали исследователи из лабораторий концерна «DuPont», если сконструировать довольно протяженные блоки — примерно из 300 пар нуклеотидов⁵.

Очень высокое содержание некоторых аминокислот — более 40% глицина, более 20% аланина, в том числе и его протяженные монотонные последовательности, — тоже затрудняют полноценный биосинтез спидроинов. Во-первых, может происходить сдвиг рамки считывания, что приведет к сбою трансляции. (В зависимости от того, с какого нуклеотида в кодоне начнется считывание генетической информации, в принципе могут образоваться три разные аминокислотные последовательности.) Во-вторых, из-за недостатка в клетках *E.coli* транспортных РНК (тРНК), поставляющих к месту синтеза полипептидной цепи аланин и глицин, которых очень много в спидроинах, образуются не только крупные фрагменты этих белков, но и набор более коротких пептидов.

И, наконец, последнее затруднение. Оно связано с тем, что одной и той же аминокислоте соответствует несколько разных кодонов (сочетаний трех нуклеотидов): для аланина и

⁵ Fahnestock S.R., Irwin S.L. // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1997. V.47. P.23—32.



Возможные рамки считывания при биосинтезе белка. Последовательность нуклеотидов иРНК считывается (от 5'-конца) по три нуклеотида (каждый такой триплет, или кодон, соответствует той или иной аминокислоте). Поэтому одна молекула иРНК в зависимости от того, с какого нуклеотида началось считывание, в принципе может кодировать три разные последовательности аминокислот в белке.

глицина, например, их по четыре. А в натуральном гене паука используются преимущественно не те кодоны, которые предпочитает *E.coli*. К счастью, эта трудность не принципиального, а технического характера, так как с помощью химического синтеза можно изменить кодоны в гене на более приемлемые для бактериального хозяина.

С перечисленными трудностями столкнулись, как упоминалось, многие исследователи, тем не менее биотехнологам «DuPont» удалось получить некоторое количество аналогов спидроинов в растворимом виде. Эти растворы оказались чувствительными к гидродинамическим сдвигам, благодаря которым белок переходил в нерастворимую форму. Короче говоря, из таких растворов довольно легко приготовить нить.

Судя по результатам разных экспериментов, *E.coli* и, вероятно, бактерии вообще — не лучшие хозяева

для производства крупных фибриллярных белков. Гораздо лучшим хозяином оказались метилотрофные дрожжи *Pichia pastoris*⁶. Этот эвкариотический микроорганизм производил моделирующие спидроин полипептиды размером до 1000 аминокислотных остатков с выходом 1г/л. Примечательно, что штаммы дрожжей были стабильными — не изменялись по крайней мере в течение 100 генераций. А это очень важно для биотехнологических целей, поскольку генетическая нестабильность препятствует биосинтезу белков паучьего шелка.

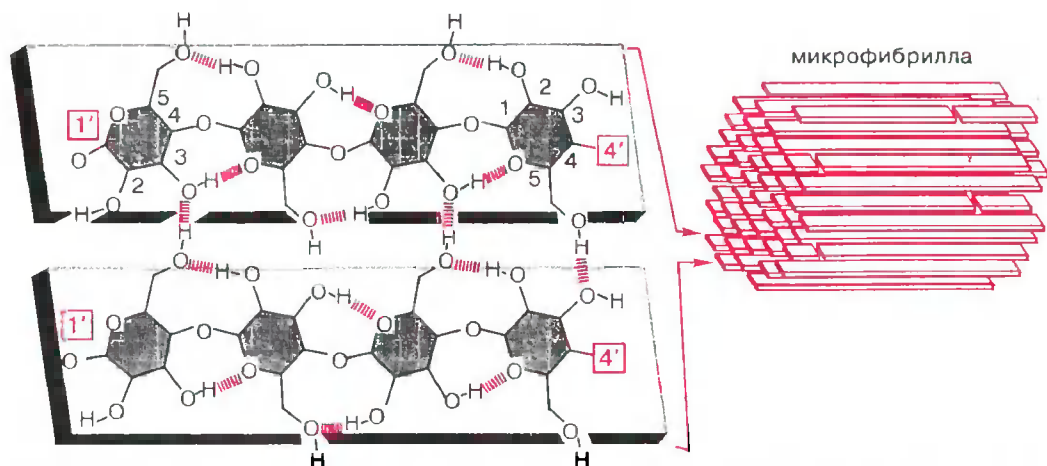
В настоящее время мы тоже приступили к конструированию системы для синтеза спидроина-1 в дрожжах, но другого вида — *Saccharomyces cerevisiae*. Не исключено, что в обозримом будущем биотехнологи научатся получать такого рода белки в растениях или в организме тутового шелкопряда.

Итак, ясно, что биотехнологический процесс синтеза паучьего шелка еще только разрабатывается. Тем не менее достигнутые успехи уже сегодня открывают широкие перспективы в изучении связи между структурой макромолекул и свойствами нитей искусственной паутины. Привлекательная особенность биотехнологического пути — матричный синтез белка, дающий совершенно одинаковые молекулы. А это принципиально не достижимо при химической полимеризации более простых полимеров. Не исключено, что в дальнейшем биотехнологи смогут конструировать полимеры, которые по своим свойствам превзойдут натуральную паутину. Кроме того, принципы, позаимствованные у природы, могут оказаться полезными и при создании химических полимеров.

Для чего же биотехнологи ломают копыта, пытаются заставить разные организмы производить паучий шелк? Где могут найти применение эти нити, подобные туману?

Каркасную нить пауков начали

⁶ Fahnestok S.R., Redzyk L.A. // Appl. Microbiol. Biotechnol. 1997. V.47. P.33—39.



применять с 1880 г. в качестве рисок в телескопах и других оптических приборах. В ходе второй мировой войны потребности в паутине были столь велики, что в США поставками ее для нужд армии занимались 10 небольших фирм. По мнению современных специалистов, паучий шелк — идеальный материал для парашютного корда, бронежилетов, шовных нитей в хирургии и многого другого. И теперь это уже не фантазия. Например, все та же компания «DuPont» объявила, что в течение 5—7 лет может организовать производство такого рода полимеров для специальных технических целей.

ЦЕЛЛЮЛОЗА ИЗ БАКТЕРИЙ

Другое природное волокно, издревле используемое человеком, — целлюлоза. Это самый распространенный на Земле биополимер: в камыше, злаках и подсолнечнике его масса составляет 30—40%, в древесине — 40—50%, в стеблях льна и джута — 75—90, а в волокнах хлопка — 95. Значение целлюлозы в хозяйственной деятельности человека огромно: из нее получают хлопчатобумажные ткани, бумагу, картон; производные этого природного полимера служат для изготовления вискозного и ацетатного волокон, целлофана, пластмассы и лаков, бездымного пороха и т.д.

Целлюлоза представляет собой линейный полисахарид, образованный

Фрагмент молекулы целлюлозы и целлюлозная микрофибрилла. В этом линейном полисахариде мономеры глюкозы соединены между собой 1,4-глюкозидными связями, а вся плоская цепь стабилизирована еще и водородными связями. Множество параллельно расположенных молекул (на рисунке изображены только короткие фрагменты двух молекул), прочно сшитых тоже водородными связями, образуют микрофибриллу.

не менее чем 500 остатками глюкозы (в целлюлозе древесины их 2—3 тыс., а льна — до 30 тыс.). Путь его биосинтеза, начиная с глюкозы до непосредственного предшественника полимера — уридиндифосфатглюкозы, описан в любом учебнике биохимии, хорошо известны ферменты, осуществляющие этот процесс в растениях. Но, как это ни странно, до сих пор нет исчерпывающих данных относительно ферментов и точного механизма самой полимеризации, т.е. прибавления очередного звена глюкозы к растущему концу полимера. Известно, что позвонное наращивание производится комплексом белков (с общим названием целлюлозосинтазы), связанным с мембраной, и можно предположить два механизма: либо комплекс передвигается по нити растущего полимера, либо сам полимер проталкивается через ферментативный комплекс. Каждый такой комплекс, видимо, синтезирует 60—70 цепей целлюлозы, которые, будучи «прошиты» во-

дородными связями, образуют одну микрофибриллу длиной во много микрометров. Структура фибрилл не однородна по длине, в ней есть кристаллические зоны со строго упорядоченной упаковкой молекул и аморфные. В бактериальной и древесной целлюлозах обнаружены два типа кристаллических структур — 1α и 1β , но если в древесном полисахариде их 30 и 70% соответственно, то в бактериальном — 60 и 40. С этим, очевидно, и связаны различия в свойствах таких целлюлоз.

Полагая, что укладка цепей происходит по мере их полимеризации, этот процесс и исследуют специалисты с конца 80-х годов (с тех пор на эту тему опубликовано более 200 работ). Наиболее простая модель для его изучения — бактериальная клетка, поскольку давно известно, что некоторые бактерии, синтезируя целлюлозу, выделяют ее через поры на свою поверхность.

Механизм биосинтеза изучается главным образом в клетках бактерий рода *Acetobacter*. К настоящему времени обнаружены четыре гена (A, B, C и D), которые кодируют белки целлюлозосинтазного комплекса. Установлено, что гены находятся в одном опероне (участке ДНК, информация которого считывается на одну молекулу иРНК). Если инактивировать любой из первых трех генов, синтез целлюлозы прекратится, но выключение гена D приведет только к снижению продукции на 40%, правда, при этом изменятся и свойства целлюлозы.

Благодаря просвечивающей электронной микроскопии удалось увидеть секрецию микрофибрилл из пор, расположенных на поверхности бактериальной клетки. Растущая нить постепенно утолщается по мере приближения к поре, собирается сначала в пачки, потом в ленту и, наконец, покидает поверхность клетки. По способности создавать ультратонкие нити (их диаметр всего 0.05 мкм, т.е. фибрилла в 100 раз тоньше паутины и в 200 раз — волокон растительной целлюлозы) бактерии не знают себе равных среди всех других организмов



Схема начальных стадий биосинтеза целлюлозы в клетках *Acetobacter xylinum*. Мономер — глюкоза — в цепи последовательных ферментативных реакций превращается в уридиндифосфатглюкозу. С нее и начинается полимеризация (здесь не показанная), т.е. присоединение одного мономера за другим вплоть до образования длинного линейного полимера.

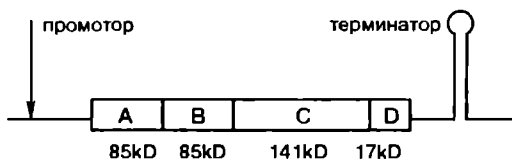


Схема строения целлюлозосинтазного оперона *Acetobacter xylinum*. A, B, C и D — кодирующие области генов, промотор и терминатор — сигнальные последовательности. Внизу указаны молекулярные массы соответствующих генных продуктов — белков этого комплекса.

и пока превосходят технические возможности людей.

Всушенные листы очищенной микробиологической целлюлозы имеют самый высокий модуль Юнга (коэффициент пропорциональности между напряжением и деформацией) из всех

плоскоориентированных слоев органических полимеров. Удельный модуль Юнга, который рассчитывается как его отношение к плотности, одинаков для пластин алюминия и бактериальной целлюлозы. Это свойство уже сегодня привело к ее широкому использованию в акустических мембранах для радиотехники. Бактериальный полисахарид находит и другое применение — в композитных материалах. Тонкие нити целлюлозы могут удерживать вместе материалы, например стекло и волокно, которые в норме не связываются друг с другом. Ряд таких композитов запатентован.

Бактериальную целлюлозу издавна используют в пищевой промышленности. Кстати, еще в 1886 г. английский исследователь Браун установил, что желатинообразная субстанция десерта (традиционного для индонезийской кухни), образуемая бактериями, представляет собой целлюлозу.

Сейчас интенсивно изучается возможность ее применения в медицине, косметике... и даже технике бурения скважин.

Надо сказать, что для промыш-

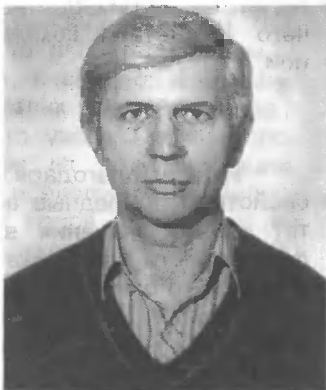
ленного производства бактериальной целлюлозы нет надобности в технологии рекомбинантных ДНК, бактерии сами способны синтезировать полимер. В настоящее время хорошо разработан процесс культивирования микроорганизмов, производящих бактериальную целлюлозу, освоена технология ее производства, в результате чего она стала коммерчески доступной.

* * *

Итак, благодаря удивительным свойствам природные волокна не утратят своего значения в хозяйственной деятельности человека. Наоборот, в новом веке они могут быть востребованы не только для пищевых и медицинских, но и самых разных технических целей. А специалисты в области химии полимеров могли бы позаимствовать некоторые принципы организации природных макромолекул, чтобы создавать новые полимеры. И все это благодаря биотехнологии, которая уже сейчас все заметнее вторгается в нашу повседневную жизнь

Квантовый эффект Холла: глобальная картина явления

В. М. Пудалов



Владимир Моисеевич Пудалов, доктор, физико-математических наук, заведующий лабораторией Физического института им. П.Н.Лебедева РАН. Область научных интересов — электронные свойства металлов и полупроводников. Соавтор монографий «Электроны проводимости» (М., 1985) и «Physics of the Quantum Electron Solid» (Cambridge, 1994).

НЕОБЫЧАЙНАЯ красота и богатство физики квантового эффекта Холла (КЭХ)¹ сразу же привлекли многих исследователей в эту неизведанную область, и новые результаты пошли бурным потоком, так что спустя всего лишь несколько лет после открытия К.фон Клитцингом этого явления уже было нетрудно написать обзор по КЭХ². В начале 90-х данной теме были посвящены несколько книг³. Сейчас, в конце 90-х, чтобы описать явление КЭХ во всех деталях, необходим был бы коллектив ученых — для создания многотомного собрания сочинений. Исследования квантового эффекта Холла заслуженно находятся на самом переднем фронте физики конденсированного состояния уже в течение 18 лет и не перестают приносить все новые удивительные результаты. Свидетельством тому служат две Нобелевские премии, присужденные в этой области (К.фон Клитцинг, 1985 г. и Х.Штёрмер, Д.Цуи и Р.Лафлин, 1998 г.). Даже не думая о задаче полного описания квантового эффекта Холла или его микроскопической природы, попытаемся дать представление лишь о самых общих закономерностях возникновения, развития и исчезновения этого явления.

© В.М.Пудалов

¹ Клитцинг К. фон. Квантованный эффект Холла (Нобелевская лекция) / Пер. с англ. // Новое в жизни, науке и технике. 1986. № 9. С.3; Успехи физ. наук. 1986. Т.150. С.107.

² Квантовый эффект Холла / Пер. с англ. Под ред. Ю.В.Шмарцева. М., 1986; Рашба Э.И., Тимофеев В.Б. // Физика и техника полупроводников. 1986. Т.20. Вып.6. С.977; Краснополин И.Я., Пудалов В.М., Семеновичский С.Г. // ПТЭ. 1987. № 6. С.5.

³ Квантовый эффект Холла / Под ред. Р.Пренджа и С.Гирвина, М., 1989; Janssen M., Viehweger O., Fastenrath U., Haidu J. Introduction to the Theory of the Integer Quantum Hall Effect. Weinheim, 1994; Chacraorty T., Pietilainen P. The Fractional Quantum Hall Effect. N.Y., 1988.

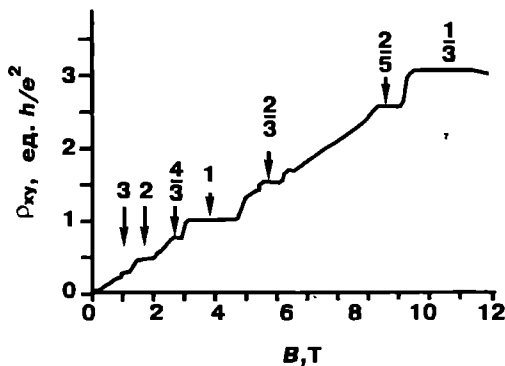
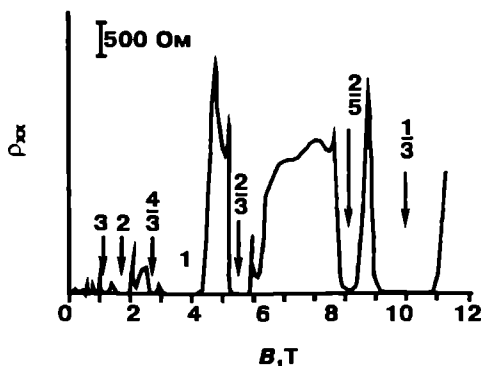


Рис.1. Зависимость диагональной и холловской компонент тензора сопротивления от магнитного поля. Числа со стрелками отмечают области КЭХ и соответствующие значения i .

ДВА РАЗЛИЧНЫХ ПОДХОДА

Классический эффект, открытый Э.Холлом 120 лет тому назад, состоит в том, что, если пропускать ток I_x (вдоль оси x) через любой проводник, помещенный в магнитное поле B_z (вдоль оси z), перпендикулярное направлению тока, на краях проводника возникает так называемое «холловское» напряжение в направлении, перпендикулярном току и полю $V_y = I_x R_{xy}$. Это напряжение появляется из-за силы Лоренца, отклоняющей в магнитном поле носители заряда. В классической физике холловское сопротивление $R_{xy} = B/(ne)$ пропорционально полю и обратно пропорционально концентрации носителей n в образце. Такое соотношение хорошо выполняется в обычных трехмерных материалах при комнатной температуре; его используют для измерения концентрации носителей, а в технике — и для измерения магнитного поля.

Если проводником является двумерный слой электронов (например, на границе раздела двух полупроводников или на границе полупроводник—окисел), а температура при измерениях достаточно низка (заметно ниже температуры кипения жидкого гелия, 4,2 К) и магнитное поле настолько сильно, что энергия циклотронного движения намного превышает тепловую энергию $k_B T$, то вместо классичес-

кого эффекта Холла возникает эффект квантования холловского сопротивления. При этом холловское сопротивление принимает дискретные значения $h/(ie^2)$, где i — целое или дробное числа (рис.1). В этих двух случаях говорят соответственно о целочисленном (ЦКЭХ) и дробном (ДКЭХ) КЭХ. Отметим, что для двумерной системы холловское полное R_{xy} и удельное ρ_{xy} сопротивления равны, поэтому R_{xy} оказывается характеристикой материала, не зависящей от размера образца.

Помимо низкой температуры и сильного поля, для наблюдения КЭХ необходимы образцы высокого совершенства, в которых время свободного пробега носителей τ было бы велико настолько, что электроны⁴ при движении по циклотронной орбите в магнитном поле успевали бы совершить много оборотов за время между столкновениями: $\omega_c \tau \gg 1$ (здесь $\omega_c = eB/m$ — циклотронная частота). Для тех образцов, на которых наблюдается КЭХ, τ обычно составляет от 10^{-13} до 10^{-10} с; максимальное значение примерно соответствует 10^8 рассеивающих центров на одном см^2 — минимальной концентрации дефектов при современных возможностях полупроводниковой технологии.

Квантовый эффект Холла традиционно изучался в двух почти незави-

⁴ Электроны, точнее, в веществе — квазиэлектроны, и дырки в КЭХ играют одинаковую роль; будем дальше называть их электронами.

симых предельных случаях, которые отвечают различным соотношениям энергии взаимодействия электронов друг с другом E_{ee} и флуктуирующей в пространстве части электрического потенциала $eV(r)$. Последняя учитывает любое нарушение идеального порядка в системе (примеси, дефекты, шероховатость границы и т.д.). Явление локализации — делокализации электронов в случайном внешнем потенциале⁵ тесно связано с КЭХ.

ЕСЛИ КАЖДЫЙ ЭЛЕКТРОН — ИНДИВИДУАЛИСТ

В «грязном пределе» ($eV/E_{ee} \gg 1$) электроны рассматриваются как не взаимодействующие частицы; главным здесь оказывается их взаимодействие с флуктуациями внешнего потенциала. Этот предельный случай означает не столько «плохие» образцы, сколько пренебрежимо малую роль взаимодействия между электронами и соответствует, например, большой концентрации электронов.

При наложении внешнего поля B , перпендикулярного плоскости двумерного слоя, энергетический спектр электронов из непрерывного становится полностью дискретным. При достаточно большой индукции (когда $\omega_c \tau \gg 1$) спектр состоит из отдельных эквидистантных уровней Ландау:

$$E_i = (i + 1/2)\hbar\omega_c, \quad i = 0, 1, 2, \dots \quad (1)$$

Каждому уровню отвечает вращение электрона по циклотронной орбите радиуса $r_i = \sqrt{2(i + 1/2)}r_B$, где $r_B = (\hbar/eB)^{1/2}$ — радиус наименьшей орбиты, или «магнитная длина» (≈ 25 нм в поле $B = 1$ Т). В соответствии с запретом Паули два электрона не могут находиться в одном и том же квантовом состоянии, поэтому, в частности, электронам энергетически выгодно располагаться как можно дальше друг от друга, чтобы площади их циклотронных орбит не перекрывались.

В результате число носителей, которые могут разместиться на каждом уровне Ландау n_B , ограничено и, как оказывается, в точности равно числу квантов магнитного потока, пронизывающего двумерную систему:

$$n_B = \frac{eBS}{2\pi\hbar} = \frac{\Phi}{\Phi_0}, \quad (2)$$

где $\Phi = BS$ — магнитный поток, а $\Phi_0 = \hbar/e$ — квант магнитного потока (всюду в статье мы для удобства рассматриваем систему с единичной площадью $S = 1$).

При наличии в системе беспорядка к энергии электронов на уровнях Ландау прибавляется флуктуирующая в пространстве часть потенциала $eV(r)$. Дискретные уровни Ландау приобретают конечную ширину $\hbar/\tau$, как изображено на рис. 2, вверху. Упомянутое ранее требование $\omega_c \tau \gg 1$ для наблюдения КЭХ означает, что уровни Ландау не должны перекрываться: $\hbar/\tau \ll \hbar\omega_c$. При $T \rightarrow 0$ все нижние уровни Ландау заполнены вплоть до граничного значения энергии, называемого уровнем Ферми E_F . В эксперименте можно изменять концентрацию электронов n (а значит, E_F , которая в двумерной системе пропорциональна n) или магнитное поле (рис. 1). В первом случае уровень Ферми перемещается относительно системы неизменных уровней Ландау, а во втором, наоборот, — система уровней Ландау растягивается или сжимается, как гармонь, при неизменном положении уровня Ферми.

Подавляющая часть электронов заполняет те состояния на уширенных крыльях уровней Ландау, которые соответствуют нахождению частиц в локальных «впадинах» или «на вершинах» потенциала $V(r)$. Из таких состояний электрон не может уйти по эквипотенциальной линии, поэтому он привязан к месту и не принимает участия в проводимости; такие состояния называют локализованными. Лишь бесконечно узкая по энергии полоска состояний в центре каждого уровня Ландау отвечает делокализованному (ДЛ) состоянию (называемому иногда также «протяженным», поскольку его волновая функция простирается на расстояние больше размера

⁵ Подробнее о делокализованных и локализованных состояниях см. в предыдущем номере журнала: Пудалов В.М. Переход металл—диэлектрик: новая физика старого явления // Природа. 1999. № 1. С. 11—22.

образца). Только электроны делокализованных состояний участвуют в проводимости. Если уровень Ферми E_F находится в области провала в плотности состояний (как показано на рис.2, вверху), то каждое заполненное ДЛ-состояние вносит вклад в проводимость, равный e^2/h , и полная проводимость оказывается равной $i e^2/h$, где i — число заполненных ДЛ-состояний. Наоборот, локализованные состояния не дают вклада в ток, и проводимость системы не меняется до тех пор, пока E_F находится в области локализованных состояний. Таким образом, в одночастичной картине протяженные плато в ЦКЭХ появляются из-за локализации состояний на крыльях уширенных уровней Ландау (рис.2, в низу).

В эксперименте можно пропускать ток j_x и измерять падение напряжения V_x и V_y в направлении вдоль и поперек тока, находя тем самым обе компоненты тензора сопротивления: $V_x = \rho_{xx} j_x$ и $V_y = \rho_{xy} j_x$. Можно также определять компоненты обратного тензора — тензора проводимости, — поддерживая постоянным электрическое поле и измеряя протекающий ток: $j_x = \sigma_{xx} \epsilon_x + \sigma_{xy} \epsilon_y$. Здесь ϵ_x и ϵ_y — компоненты напряженности электрического поля вдоль и поперек направления тока.

Как видно из рис.1, ρ_{xx} обращается практически в нуль в целом интервале значений магнитной индукции, которые отвечают заполнению целого числа i (или рациональной дробной части) уровней Ландау. Падение сопротивления в минимуме $\rho_{xx}^{\max}/\rho_{xx}^{\min}$ достигает 10 порядков величины для совершенных образцов. В двумерной системе в режиме КЭХ соотношение между диагональными компонентами проводимости и сопротивления выглядит парадоксально: минимумы проводимости σ_{xx} соответствуют и минимумам сопротивления ρ_{xx} . В этих же интервалах индукции холловские проводимости и сопротивление постоянны и равны

$$\sigma_{xy} = 1/\rho_{xy} = i e^2/h \quad (3)$$

с очень малой погрешностью, $\sim 10^{-9}$ и менее (в ЦКЭХ $i=1, 2, 3...$). Благодаря

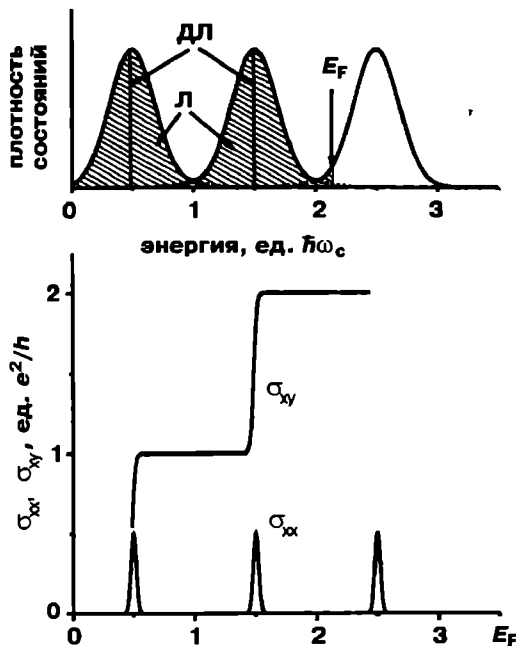


Рис.2. Вверху — схематическая зависимость плотности состояний от энергии при фиксированной E_F . Стрелкой показано положение уровня Ферми. Л — локализованные состояния, ДЛ — делокализованные состояния. Внизу — схематическая зависимость диагональной и холловской компонент тензора проводимости от E_F . Все энергии нормированы на циклотронную энергию $\hbar\omega_c$.

этому замечательному свойству ЦКЭХ уже используется в метрологии для практического поддержания единицы электрического сопротивления (Ом) на основе согласованного и постулированного значения отношения фундаментальных констант $h/e^2 = 25812.8... \text{ Ом}$. Максимальные значения сопротивления ρ_{xx} обычно близки к значениям холловской компоненты ρ_{xy} .

КЭХ демонстрирует симметрию по отношению к добавлению или удалению целого числа заполненных уровней Ландау: при этом свойства системы периодически повторяются аналогично тому, как повторяются химические свойства элементов при добавлении заполненных электронных оболочек в Периодической системе

Менделеева. В квантующем поле естественной мерой концентрации электронов оказывается не их число на одном см^2 , а доля заполненных уровней Ландау $\nu = n/n_B$, причем свойства двумерной квантованной системы определяются только дробной частью ν .

КОГДА ПОБЕЖДАЕТ КОЛЛЕКТИВИЗМ

Если образец достаточно совершенен, так что примесями, дефектами и т.д. можно пренебречь, главную роль играет взаимодействие между электронами. В этом предельном случае («чистый предел») наиболее красивым объектом теоретических и экспериментальных исследований оказывается дробный квантовый эффект Холла, обнаруженный в 1982 г. Д.Цуи, Х.Штёрмером и А.Госсардом⁶. Для наблюдения ДКЭХ нужны образцы с большей подвижностью носителей или более высокие поля, чем требуется для наблюдения ЦКЭХ. Физика дробного КЭХ крайне увлекательна и включает возбуждения с дробным зарядом, несжимаемую квантовую жидкость, необычные магнитные свойства и т.д. На рис.1 в области более сильных полей видны плато ρ_{xy} и минимумы ρ_{xx} при нескольких дробных значениях i .

В эксперименте поведение компонент тензора сопротивления в ЦКЭХ и ДКЭХ удивительно близко, с тем лишь отличием, что минимумы ρ_{xx} и плато ρ_{xy} достигаются в последнем не при целых, а при дробных значениях фактора заполнения $\nu = 1/3, 2/3, 1/5, 2/5, 3/5$ и т.д., причем только при нечетных значениях знаменателя дробей. Для этих же значений ν холловское сопротивление имеет вид плато

$$\rho_{xy} = \frac{ve^2}{h} = \frac{e^*}{(h/e)}, \quad (4)$$

где вместо целого i в (3) стоит рациональная дробь $\nu = p/q$. В формулы (3), (4) элементарный заряд входит в квадрате. Еще в 1981 г. Р.Лафлин для объяснения целочисленного КЭХ пока-

зал, что при увеличении магнитного потока на один квант происходит перемещение делокализованного элементарного возбуждения в холловском поле от одного края образца до другого. Таким образом, одна степень e связана с квантом потока, а другая — с зарядом элементарного возбуждения e^* . В целочисленном КЭХ возбуждения отвечают вакантным местам или избыточным квазичастицам на уровнях Ландау и их заряд равен заряду электрона: $e^* = e$. Из формулы (4), таким образом, следует, что в дробном КЭХ возбуждение должно иметь дробный заряд $e^* = (p/q)e$. Такие возбуждения не существуют в одночастичном приближении, они возникают в результате коллективного взаимодействия электронов друг с другом. Последующие усилия теории были направлены на установление вида основного и возбужденного состояний электронной системы в условиях ДКЭХ.

Ключевую роль в понимании явления ДКЭХ сыграла теория Лафлина⁷, согласно которой основное состояние электронной системы в этих условиях представляет собой многочастичный бозе-конденсат нового типа. Фактически это — несжимаемая квантовая жидкость, образованная состоянием с заполнением $\nu = 1/3$ и его дочерними. Собственно, электроны как частицы с полуцелым спином подчиняются статистике Ферми и эффективно отталкиваются друг от друга. Поэтому Лафлин постулировал: каждый электрон, находясь в магнитном поле на наинизшем уровне Ландау, «присоединяет» к себе три кванта магнитного потока и образует новую композитную «частицу». Композитные частицы не подчиняются статистике Ферми и конденсируются в квантовую жидкость (аналогично бозе-конденсации атомов He^4 при переходе в сверхтекучее состояние). Добавление в конденсат (с точным равенством числа квантов потока утроенному числу электронов) лишнего электрона оказывается настолько невыгодным, что в результате рождаются возбуждения с зарядом

⁶ Tsui D.C., Stormer H., Gossard A.C. // Phys. Rev. Lett. 1982. V.48. P.1559.

⁷ Laughlin R.B. // Phys. Rev. Lett. 1983. V.50. P.1395; Phys. Rev. 1983. V.B27. P.3383.

$\nu^* = \nu/3$, и энергия системы резко повышается на конечную величину (это объясняет наличие энергетической щели в спектре возбуждений). При изменении магнитного поля или числа электронов величина ν отклоняется от точного значения $1/3$ и количество возбуждений в системе растет. Когда возбуждений становится много, происходит уже их конденсация в дробное состояние следующего порядка (дочернее состояние). Несжимаемость квантовой жидкости, т.е. конечное изменение энергии системы при бесконечно малом изменении числа частиц, хорошо наблюдается экспериментально. Кроме того, существование квазичастиц с дробным зарядом было действительно надежно подтверждено в эксперименте⁶. Установленную Лафлиным картину основного состояния по крайней мере для $\nu = 1/3$ можно считать достоверной.

Несмотря на видимую аналогию свойств ЦКЭХ и ДКЭХ, их теоретическая трактовка до недавнего времени проводилась с совершенно противоположных позиций. Заложенная Лафлиным теория ДКЭХ, основанная на представлениях о чисто кулоновском взаимодействии электронов, достигла очень многого, но в конце концов так и не смогла правильно объяснить иерархию дробных состояний и отсутствие ДКЭХ для состояний с четным знаменателем фактора заполнения ($1/2$, $1/4$, и т.д.).

КАК ИЗ ДРОБНОГО СДЕЛАТЬ ЦЕЛОЕ

Ключ к объединению обоих направлений и, значит, более плодотворному описанию КЭХ дала концепция композитных квазичастиц, впервые введенная Дж.Джэйном⁹.

Пусть к системе из n электронов на единичной площади приложено произвольное перпендикулярное магнитное поле $B = N\Phi_0$ (рис.3).

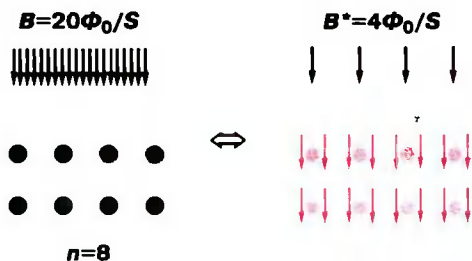


Рис.3. Пример, поясняющий образование композитных фермионов при факторе заполнения вблизи $1/2$. Слева — система из 8 электронов, находящихся в магнитном поле B , соответствующем 20 квантам потока на единицу площади. Справа — подобная ей по свойствам система из 8 композитных частиц (электрон с 2 квантами потока), находящаяся в эффективном магнитном поле B^* , соответствующем 4 квантам потока.

Вычленим из магнитного поля $2n$ квантов магнитного потока и присоединим по 2 кванта к каждому электрону. В результате получится новая система из композитных частиц (электрон + 2 кванта потока), находящаяся в другом внешнем поле $B^* = B - 2n\Phi_0$, свойства которой должны быть аналогичны свойствам исходной системы¹⁰. Запишем соотношение соответствия между этими двумя системами:

$$B \Leftrightarrow B^* + 2n\Phi_0, \text{ или } N\Phi_0 \Leftrightarrow N^*\Phi_0 + 2n\Phi_0.$$

Разделив второе равенство на n (число электронов), получим соотношение

$$\frac{N}{n} \Leftrightarrow \frac{N^*}{n} + 2,$$

которое устанавливает аналогию свойств двух систем с факторами заполнения ν и ν^* , связанными соотношением:

⁶ Picciotto R. de, Reznikov M., Heiblum M. et al. // Nature. 1997. V.389. P.162; Прямое наблюдение дробного заряда // Природа. 1998. № 7. С.103.

⁹ Jain J.K. // Phys. Rev. Lett. 1989. V.63. P.199; Phys. Rev. 1989. V.B40. P.8079; Ibid. 1990. V.B41. P.7653.

¹⁰ Каждый квант магнитного потока Φ_0 можно представить себе в виде потока, сосредоточенного внутри тонкого, бесконечно длинного соленоида; движение электронов — происходящим в «лесу» с N стволами. Взаимодействие электронной волны с отдельным соленоидом (эффект Ааронова—Бома) таково, что амплитуда рассеяния электрона остается той же при изменении потока в соленоиде на четное число квантов $2\Phi_0$.

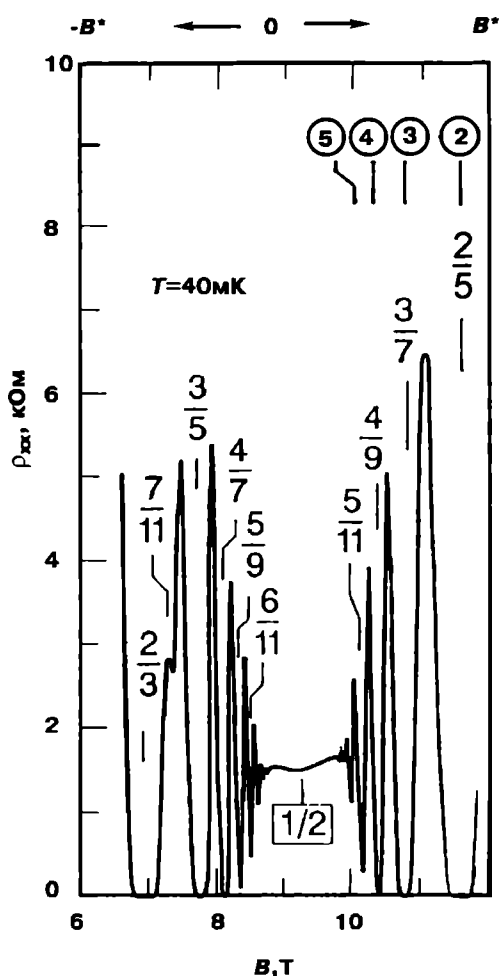


Рис.4. Удельное сопротивление в режиме дробного квантового эффекта Холла в зависимости от магнитного поля (нижняя абсцисса), в диапазоне $\nu > 1/2$ и $\nu < 1/2$. Дроби с вертикальными отрезками под ними указывают положения коэффициентов заполнения на низшем уровне Ландау для электронов. Целые числа в кружочках и вертикальные отрезки под ними указывают заполнение уровней Ландау для композитных квазичастиц. Верхняя абсцисса изображает эффективное магнитное поле для композитных квазичастиц.

$$\frac{1}{\nu} \Leftrightarrow \frac{1}{\nu^*} + 2. \quad (5)$$

Для примера приведем несколько численных соотношений соответствия между состояниями в ЦКЭХ и ДКЭХ:

$$\nu^*=1 \Leftrightarrow \nu=1/3, \quad \nu^*=2 \Leftrightarrow \nu=2/5 \text{ и,}$$

наконец, $\nu^* = \infty$ (нулевое поле) $\Leftrightarrow \nu = 1/2$.

Такая аналогия между свойствами систем с целочисленным и дробным заполнением означает, что ДКЭХ в интервале полей вблизи $\nu=1/2$ может быть интерпретирован как ЦКЭХ для новых квазичастиц — композитных фермионов (КФ). Композитные частицы не «видят» двух «присоединенных» к ним квантов потока и поэтому находятся в эффективно меньшем магнитном поле B^* . Подробная теория композитных квазичастиц была развита Б.И.Гальпериным и др. в работе¹¹.

Рис.4 иллюстрирует наблюдаемую в эксперименте симметрию ДКЭХ по величине фактора заполнения ν относительно значения $1/2$, связанную с тем, что в диапазонах $\nu < 1/2$ и $\nu > 1/2$ дробный КЭХ эквивалентен целочисленному для композитных частиц, находящихся в поле $-B^*$ и $+B^*$, соответственно. Концепция КФ, таким образом, легко и изящно объясняет отсутствие ДКЭХ при дробном заполнении с четными знаменателями ($\nu=1/2, 1/4, \dots$): в этих условиях система должна вести себя как металл в нулевом поле. В недавних экспериментах трех групп: Х.Штёрмера (исследовательская лаборатория компании «Белл», США), М.Шайегана (Принстонский университет, США) и В.Голдмана (Университет Стони-Брук, США)¹² измерялась эффективная масса композитных квазичастиц в условиях ДКЭХ, в частности, путем измерения радиуса их циклотронной орбиты в сильном магнитном поле вблизи дробного фактора заполнения $\nu \approx 1/2$. Было установлено, что КФ не просто математическая абстракция, удобная для теории, а вполне реальные квазичастицы, имеющие измеряемую массу m^* (отнюдь не равную массе электрона в веществе).

¹¹ Halperin B.I., Lee P.A., Reed N. // Phys. Rev. 1993. V.847. P.7312.

¹² Kang W., Störmer H.L., Pfeiffer L.N. // Phys. Rev. Lett. 1993. V.71. P.3850; Manoharan H.C., Shayegani M., Klepper S.J. // Ibid. 1994. V.73. P.3270; Goldman V.J. // Ibid. 1994. V.72. P.2065.

Эти эксперименты похожи на классическую масс-спектрометрию, но не свободных частиц в вакууме, а композитных квазичастиц в двумерном слое полупроводникового гетероперехода в эффективном внешнем поле $B^* = B - 2\pi\Phi_0$ вблизи $B^* = 0$. Таким образом, с помощью концепции композитных квазичастиц (физика которых сейчас интенсивно изучается) удалось свести задачу сильно взаимодействующих электронов в магнитном поле к задаче слабо взаимодействующих КФ.

Итак, двумерные системы в квантующем магнитном поле обладают симметрией трех типов:

- по отношению к добавлению полностью заполненного уровня Ландау $v \Leftrightarrow v+1$ (характер ЦКЭХ с различными номерами плато одинаков);

- между «недозаполненным» и «перезаполненным» уровнями Ландау, что напоминает электронно-дырочную симметрию в пределах одного уровня (например, свойства системы с $v=2.2$ и $v=2.8$ должны быть аналогичны);

- между заряженными частицами и квантами магнитного потока $v^{-1} \Leftrightarrow v^{-1}+2$.

ВЗГЛЯД НА КЭХ С ГЛОБАЛЬНЫХ ПОЗИЦИЙ

Квантовый эффект Холла существует благодаря тому, что на уровнях Ландау имеются делокализованные состояния, заполненные электронами (ЦКЭХ) или композитными фермионами (ДКЭХ). При малом беспорядке, слабо уширении уровней Ландау ($\hbar/\tau \rightarrow 0$, $\omega_c\tau \rightarrow \infty$) ДЛ-состояния остаются по энергии на середине уровней Ландау, что соответствует классическим представлениям о протекании по средней линии случайного потенциала. Если плотность электронов поддерживается постоянной, а поле $B \rightarrow \infty$, то коэффициент заполнения уровней Ландау v уменьшается и ДКЭХ наблюдается при все более малых дробных значениях v (для примера см. рис.3 и 4). Численные расчеты предсказывают, что для $v < 1/7$ энергетически более

выгодным станет образование электронного кристалла¹³. Двумерный кристалл весьма «нежен», и силы, его соединяющие, настолько слабы, что он будет захватывать в свою решетку любой самый малый дефект или примесь трехмерной решетки полупроводника. Прикрепление к неподвижному дефекту означает, что двумерный кристалл не будет проводить ток, пока сильное электрическое поле не «оторвет» его от дефекта.

Загадочен противоположный предел — $\omega_c\tau \ll 1$. В этом случае, например, при уменьшении B и постоянной концентрации электронов под уровнем Ферми окажется все большее число уровней Ландау i и соответственно все большее число заполненных ДЛ-состояний. А с другой стороны, при $B \rightarrow 0$ двумерная система должна стать изолятором¹⁴, так как условие $\omega_c\tau \rightarrow 0$ означает переход к бесконечному беспорядку. Это соответствует как обычным представлениям о локализации при неограниченном росте беспорядка (концепция Мотта), так и однопараметрической скейлинговой теории. Для разрешения этого противоречия в 1983—1984 гг. Д.Е.Хмельницкий, а затем Лафлин¹⁵ чисто феноменологически предложили дополнить энергии делокализованных состояний E_j , задаваемые по Ландау формулой (1), множителем, который учитывал бы рассеяние электронов.

$$E_j = (n + \frac{1}{2}) \hbar \omega_c \left[\frac{1 + (\omega_c\tau)^2}{(\omega_c\tau)^2} \right].$$

В таком случае «подправленные» энергии E_j при $\omega_c\tau \rightarrow 0$ будут расти обратно пропорционально убывающей индукции, а соответствующие состояния — отрываться от исходных уровней Ландау и, всплывая вверх, опустошаться, проходя через

¹³ В качестве обзора см.: Physics of the Quantum Electron Solid / Ed. S.T.Chui. Cambridge, 1984.

¹⁴ Если пренебречь взаимодействием между электронами и спин-орбитальным взаимодействием, см. сноску 5.

¹⁵ Khmel'nitskii D.E. // JETP Lett. 1983. V.38. P.552; Phys. Lett. 1984. V.106A. P.182; Laughlin R. // Phys. Rev. Lett. 1984. V.52. P.2304; Halperin B. // Phys. Rev. 1982. V.B 25. P.2185.

уровень Ферми. Когда опустошится последнее делокализованное состояние, система, очевидно, станет изолятором.

Характер стремления к нулю компонент тензора проводимости различен: $\sigma_{xx} \sim \omega_c \tau \rightarrow 0$, $\sigma_{xy} \sim (\omega_c \tau)^2 \rightarrow 0$. Отсюда следует, что холловская компонента сопротивления $\rho_{xy} = \sigma_{xy}/(\sigma_{xy}^2 + \sigma_{xx}^2)$ останется конечной! Такой переход состояния с квантованным холловским сопротивлением в изолятор не имеет аналогии в классической физике, где ρ_{xy} обратно пропорционально концентрации свободных носителей и, следовательно, стремилось бы к бесконечности.

Квантовая система с таким поведением была названа холловским изолятором, однако экспериментально его обнаружить не удалось, и интерес к «холловскому» диэлектрику стал угасать. Позже, в 1992 г., С.Кивельсон, Д.-Х.Ли и Ш.Жанг¹⁶ обобщили эти идеи, объединив сценарий всплывания делокализованных состояний с соотношениями симметрии, и ввели «глобальную фазовую диаграмму» (ГФД) для описания квантового эффекта Холла (рис.5).

ГФД построена в координатах магнитное поле (в числах квантов магнитного потока на электрон)—беспорядок, мерой которого может быть выбрано, например,

¹⁶ Kivelson S., Lee D.-H., Zhang S.-C. // Phys. Rev. 1992. V.8 46. P.2223; Phys. Rev. Lett. 1992. V.69. P.1252.

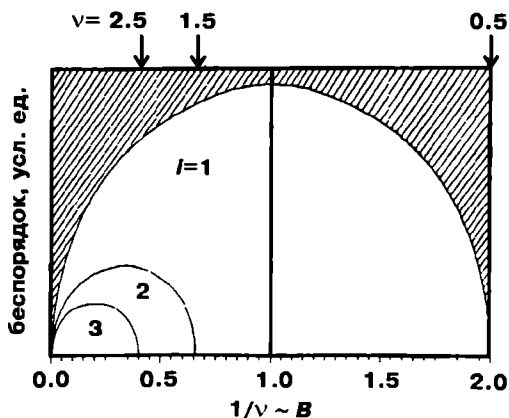


Рис.5. Глобальная фазовая диаграмма для КЭХ в координатах магнитное поле—беспорядок.

уширение уровня Ландау $\hbar/\tau$, частота рассеяния электронов $1/\tau$ или частота сбоя с циклотронной орбиты $1/(\omega_c \tau)$. Каждая фаза ограничена полукругом и содержит целое число i заполненных делокализованных состояний; ей отвечает плато квантованного холловского сопротивления с тем же номером i . Заштрихованная внешняя область изображает изолятор, где $i=0$. Топология ГФД диктует правило отбора для переходов между фазами КЭХ, разрешая лишь те из них, когда i изменяется на ± 1 . В частности, для последнего перехода в изолятор (КЭХ—И, И — изолятор) допускается лишь $1 \leftrightarrow 0$. Если эксперимент проводится в изменяющемся магнитном поле при сохранении беспорядка в системе, то траектория измерений горизонтальна и дважды заходит в заштрихованную область: при $B \rightarrow 0$ и при $B \rightarrow \infty$. Это полностью соответствует выводам теории о поведении невзаимодействующей двумерной системы:

— при $B=0$ система должна стать изолятором при $T \rightarrow 0$;

— с ростом B система вначале должна стать проводником благодаря появлению делокализованных состояний, но при дальнейшем увеличении поля она обязана превратиться в изолятор вблизи $\nu < 1/2$ (это «магнитное вымораживание» соответствует исчезновению протекания в случайном потенциале при $B \rightarrow \infty$).

Диаграмма на рис.5 приведена только для области ЦКЭХ, так как для ДКЭХ она выглядит аналогично и может быть построена исходя из симметричных соотношений, обсуждавшихся выше.

ХОЛЛОВСКИЙ ИЗОЛЯТОР НАЙДЕН!

Многочисленные эксперименты в режимах ЦКЭХ и ДКЭХ действительно показывают, что переходы между различными фазами КЭХ с $i > 0$ происходят в соответствии с правилами отбора, то есть с изменением i только на ± 1 (режим ДКЭХ при этом необходимо интерпретировать как ЦКЭХ для композитных фермионов). Таким образом, эксперименты подтверждают топологию внутренних областей ГФД с $i > 0$.

В 1990 г. М.Д'Иорио (NRC, Кана-

da) вместе с автором и С.Г.Семенчинским проводили измерения сопротивления МДП-структур на кремнии при сверхнизких температурах в условиях КЭХ. Буквально в первых же экспериментах были обнаружены переходы КЭХ—И¹⁷, но их характер совсем не соответствовал ожидавшемуся. На рис.6, вверху показан обычный ЦКЭХ при температуре 35 мК в образце с очень низкой концентрацией электронов — $10.5 \cdot 10^{10} \text{ см}^{-2}$. Ввиду малой концентрации (уровни Ландау уширены) и особенностей спектра электронов в Si отчетливо наблюдается лишь переход между фазами КЭХ $1 \leftrightarrow 2$. Как всегда в ЦКЭХ, максимальная величина ρ_{xx} не превышает $\rho_{xy} = h/2e^2 = 12.9 \text{ кОм}$. Однако, как видно на рис.6, внизу, уменьшение плотности электронов всего лишь на 12% кардинально меняет картину: максимумы ρ_{xx} устремляются к бесконечности, явно демонстрируя состояние изолятора, в то время как глубокие минимумы ρ_{xx} и квантованные плато ρ_{xy} указывают на продолжающееся состояние ЦКЭХ. Дальнейшее подробное изучение подтвердило принципиальное расхождение с теорией: в эксперименте наблюдались¹⁸ не только переходы КЭХ—И типа $1 \leftrightarrow 0$, но также $2 \leftrightarrow 0$, и даже $6 \leftrightarrow 0$. Наблюдение прямых переходов в изолятор с нарушением правил отбора поставило под сомнение правильность теоретической картины ГФД.

Это расхождение, однако, не мешало тому, что поведение недиагональной компоненты сопротивления при всех изученных переходах КЭХ—И хорошо соответствовало предсказаниям теории для холловского диэлектрика: во всех экспериментах¹⁹ ρ_{xy} оставалось конечным при $\rho_{xx} \rightarrow \infty$. Рис.6, внизу,

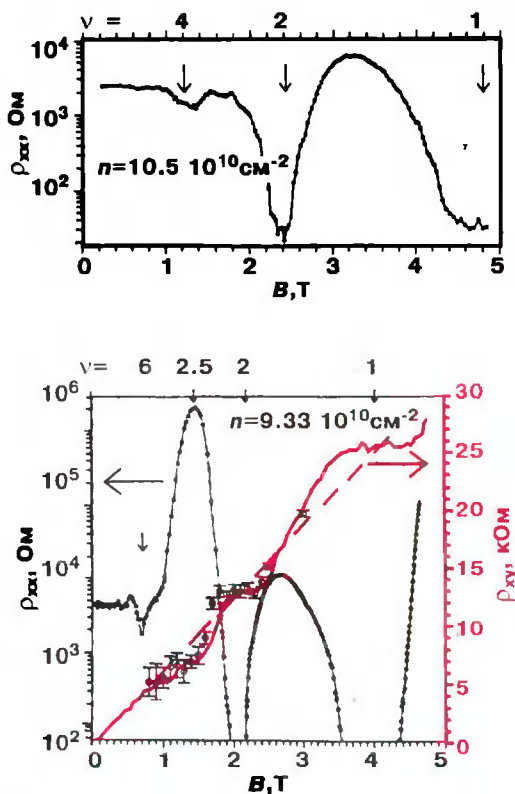


Рис.6. Вверху — зависимость ρ_{xx} от магнитного поля в Si-структуре МДП в режиме ЦКЭХ при низкой плотности электронов; внизу — зависимости ρ_{xx} и ρ_{xy} от поля, измеренные в области чередующихся переходов КЭХ—И при пониженной плотности электронов. Стрелки указывают несколько значений i .

демонстрирует поведение ρ_{xy} при переходах $2 \leftrightarrow 0$ и $1 \leftrightarrow 0$. Как видно, в пределах ошибки измерений ρ_{xy} близко к классической линейной зависимости $B/\pi e$ (штриховая линия).

Для того чтобы выяснить причину расхождения наблюдаемой картины с теорией, автор вместе с С.В.Кравченко и коллегами из NRC и Университета Оклахомы проследили траектории ДЛ-состояний при изменении в системе беспорядка ($1/\omega_c \tau$). Чтобы найти положение ДЛ-состояний, был использован следующий прием²⁰: пока последнее ДЛ-состояние находится под уровнем

¹⁷ D'Iorio M., Pudalov V.M., Semenchinsky S.G. // Phys. Lett. A. 1990. V.150. P.422.

¹⁸ D'Iorio M., Pudalov V.M., Semenchinsky S.G. // Phys. Rev. 1992. V.B 46. P.15992; Pudalov V.M., D'Iorio M. // Physica. 1994. V.B 194—196. P.1287; Surface Science. 1994. V.305. P.107.

¹⁹ Пудалов В.М., Д'Иорио М., Кэмпбэлл Дж. // Письма в ЖЭТФ. 1993. V.57. P.592; Krawchenko S.V., Furneaux J.E., Pudalov V.M. // Phys. Rev. 1994. V.B 49. P.2250.

²⁰ Furneaux J.E. et al. // Phys. Rev. 1995. V.B 51. P.17227.

Ферми, наблюдается КЭХ и σ_{xx} исчезающе мала. Когда ДЛ-состояние поднимается выше уровня Ферми и опустошается, возникает изолятор и σ_{xx} снова становится малой. Очевидно, что в тот момент, когда ДЛ-состояние пересекает уровень Ферми, σ_{xx} должна достигать максимума. Это обстоятельство и было использовано для установления положения ДЛ-состояния на фазовой диаграмме. В эксперименте величина $\omega_c \tau$ варьировалась или изменением температуры (что соответствовало вертикальному пересечению границ ГФД на рис.5), или изменением поля (горизонтальные траектории на рис.5).

Измеренные положения максимумов σ_{xx} (положения ДЛ-состояний) отложены на рис.7 на плоскости магнитное поле—концентрация n (напомним, последняя приблизительно пропорциональна энергии E_F в двумерной системе). При больших концентрациях и полях траектории ДЛ-состояний отвечают обычному вееру уровней Ландау, верхний из которых заполнен наполовину, до $\Phi/(2\Phi_0)$:

$$n = (i + 1/2)\Phi/\Phi_0, \text{ где } i=0, 1, \dots$$

число полностью заполненных уровней. При уменьшении B (и соответственно $\omega_c \tau$) протяженные состояния, как видно,

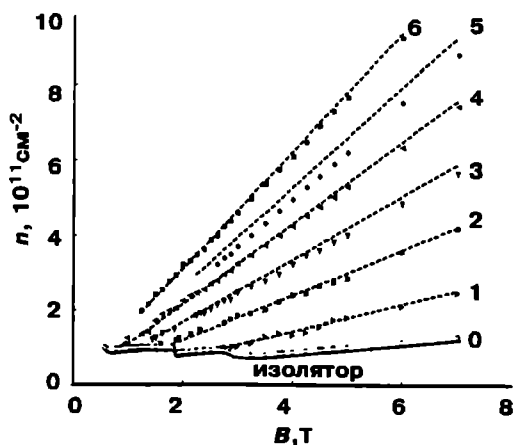


Рис.7. Траектории делокализованных состояний, измеренные в Si-структуре МДП. Цифры обозначают σ_{xx} в единицах e^2/h . Цветом выделена граница между фазами КЭХ и изолятора.

сливаются воедино, формируя общую границу КЭХ—И, которая остается в конечном интервале концентрации и энергии при $B \rightarrow 0$, в противоречии с теорией. Ожидавшегося «всплывания» уровней при этом не происходит²¹.

В ПОПЫТКЕ ОБОБЩЕНИЯ

Экспериментальное изучение переходов КЭХ—И проводилось параллельно для ЦКЭХ (в основном на Si-МДП структурах) и ДКЭХ (в основном на гетеропереходах GaAs/AlGaAs). В обоих случаях наблюдались прямые переходы, запрещенные правилами отбора. Используя приведенные выше три соотношения симметрии, автор и его коллеги свели все полученные результаты в одну диаграмму²², обращая внимание лишь на ее топологию. Результат такого обобщения приведен на рис.8. По мере уменьшения беспорядка (при измерениях на все более совершенных образцах) траектории измерений опускаются на рисунке все ниже и пересекают все большее число фаз. При этом можно наблюдать все большее количество прямых переходов высшего порядка — как в области ЦКЭХ, так и ДКЭХ. Из сопоставления этих результатов становится ясным, что прямые переходы высшего порядка не исключение, а скорее характерный признак совершенных систем. В то же время в более «грязных» системах, беспорядок в которых выше некоторого порогового, траектория измерений должна пересекать лишь одну фазу КЭХ $i=1$, что качественно соответствует ГФД.

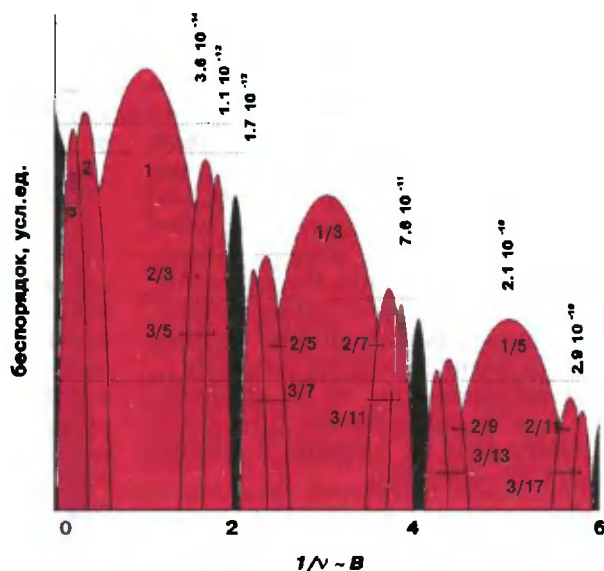
Затемненная область вблизи $B=0$ ($1/\nu=0$) на рис.8 обозначает область существования двумерного металлического состояния, возникающего благодаря эффектам межэлектронного взаимодействия. Аналогично этому все большее количество экспериментов²³ свиде-

²¹ Именно благодаря этому в двумерной системе электронов в Si-МДП наблюдается металлическая проводимость при $B=0$.

²² Kravchenko S.V., Mason W., Furneaux J.E., Pudalov V.M. // Phys. Rev. Lett. 1995. V.75. P.910.

²³ Rokhinson L.P., Su B., Goldman V.J. // Phys. Rev. 1995. V.B 52. P.R11588; Willett R.L., Ruel R.R., West K.W., Pfeffer L.N. // Phys. Rev. Lett. 1993. V.71. P.3846.

Рис.8. Эмпирическая глобальная фазовая диаграмма КЭХ, обобщающая результаты всех измерений. По горизонтали отложено магнитное поле в единицах $1/\nu = \mu_B/n$, по вертикали — частота рассеяния электронов при $B=0$. Штриховые линии изображают траектории измерений в различных экспериментах с указанием времени рассеяния в секундах τ . Числа внутри фаз дают заполнение уровней Ландау.



тelleствует о том, что состояния системы вблизи $\nu=1/2$ и $1/4$ также являются «металлическими» состояниями композитных квазичастиц в нулевом эффективном поле B^* . Так, например, в эксперименте наблюдалась логарифмическая температурная зависимость проводимости, характерная для двумерных систем в нулевом поле. Очевидно, что для наблюдения двумерных металлических состояний, а также прямых переходов высшего порядка в КЭХ траектория измерений на рис.8 должна проходить достаточно низко, т.е. беспорядок в системе должен быть мал.

Данные опыты проводились на совершенных образцах с малым беспорядком (высокой подвижностью носителей). В таких системах переходы в изолятор происходят при низкой плотности электронов и поэтому роль электрон-электронного взаимодействия велика: так, в Si-МДП структурах $E_{\text{св}}/E_F = r_s$ составляло ≈ 10 . Другая группа экспериментов²⁴ проводилась на сильно разупорядоченных гетеропереходах GaAs/AlGaAs, в которых энергия

взаимодействия в пять раз меньше, чем в Si: $r_s \approx 2$. Траектория измерений в этих экспериментах примерно соответствовала верхней штриховой линии на рис.8 и не пересекала область двумерного металлического состояния. При этом наблюдали картину более близкую к теоретической ГФД, и, возможно, энергия наинизшего ДЛ-состояния слабо поднималась вверх, напоминая «всплывание» ДЛ-состояний, предсказанное Хмельницким.

Чтобы окончательно убедиться в том, что именно взаимодействие ответственно за нарушение правил отбора, за прямые переходы высшего порядка, за слияние протяженных состояний с разными индексами и за существование двумерного металла при $B=0$, автор с коллегами провели следующий эксперимент²⁵. Помимо квантующего перпендикулярного поля $B_{\perp}$ к системе дополнительно прикладывалась компонента магнитного поля $B_{\parallel}$ параллельно плоскости двумерного слоя. Идея опыта состояла в том, чтобы «выключить» обменное взаимодействие между электронами путем поляризации электронных спинов в пространстве. Оказалось, что приложение параллельного поля разрушает металлическое состояние при $B_{\perp} \rightarrow 0$ и

²⁴ Glozman I., Johnson C.E., Jiang H.W. // Phys. Rev. Lett. 1995. V.74. P.594; Phys. Rev. 1995. V.B 52. P.R14348; Shahar D., Tsui D.C., Cunningham J.E. // Phys. Rev. 1995. V.B 52. P.14; Ibid. P.14372; Wang T., Clark K.P., Spencer G.F. et al. // Phys. Rev. Lett. 1994. V.72. P.709.

²⁵ Kravchenko S.V., Simonian D., Sarachik M.P. et al. // Phys. Rev. 1998. V.B 58. P.3553.

восстанавливает поведение сопротивления, типичное для невзаимодействующих электронов в GaAs/AlGaAs и качественно соответствующее как ГФД, так и гипотезе всплывания уровней.

Важность роли взаимодействия была недавно подтверждена в опытах с двумерной системой дырок²⁸ в GaAs/AlGaAs. Дырки в GaAs имеют массу, близкую к массе электронов в Si, следовательно, энергия взаимодействия между частицами в системе дырок также близка. Выбрав концентрацию дырок порядка 10^{11}см^{-2} (а значит, такую же величину n_s , как и в экспериментах на Si), исследователи вместо «всплывания» ДЛ-состояний обнаружили их слияние в единую границу КЭХ—изолятор.

ПОЧЕМУ «ВСПЛЫВАЮТ» ДЕЛОКАЛИЗОВАННЫЕ СОСТОЯНИЯ?

Сейчас уже нет сомнений в том, что «всплывание» ДЛ-состояний по энергии есть результат так называемого «смешивания» уровней Ландау²⁷. С ростом беспорядка «хвосты» соседних уровней Ландау все более перекрываются (рис.2, вверху). Микроскопически это соответствует тому, что электрон, двигаясь по своей циклотронной орбите вдоль эквипотенциальной линии в случайном потенциале, вблизи точки перевала может с некоторой вероятностью перескочить на соседний уровень Ландау. За счет смешивания уровней расстояние между ними по энергии перестает быть равным $\hbar\omega_c$. В то время как при $\tau \rightarrow 0$ (но при большом B) поправка к средней энергии взаимодействующих уровней уменьшается относительно свободно-электронного значения $\sim B^{-2}$, энергия ДЛ-состояний изменяется слабее, чем было предсказано Хмельницким: $\sim B^{-3}$ или $\sim B^{-4}$. Так, микроскопическое рассмотрение подтверждает гипотезу о всплывании уровней, но в ослабленном виде. Это рассмотрение пока

проведено лишь для невзаимодействующих электронов и при условии слабого смешивания. При $B \rightarrow 0$ взаимодействие электронов становится все более существенным, что усложняет теоретическое рассмотрение.

ПОДВЕДЕМ ИТОГИ

Итак, введение концепции композитных квазичастиц объединило разрозненные и, казалось бы, совершенно противоположные явления — целочисленный и дробный КЭХ — воедино. Это, в частности, позволило понять, как зарождается и исчезает КЭХ при увеличении беспорядка в системе. Любопытно, что физика явлений, возникающих в сильно разупорядоченной системе, оказалась намного богаче, чем это можно было себе представить ранее. Ключевую роль в КЭХ играют делокализованные состояния. Благодаря тому, что в квантующем магнитном поле можно заметить момент их прохождения через уровень Ферми, в эксперименте удалось проследить их траектории. Оказалось, что делокализованные состояния не разрушаются беспорядком и не преобразуются в локализованные. При этом выявились два различных сценария поведения систем в зависимости от того, преобладает ли взаимодействие носителей с флуктуациями потенциала (беспорядком) или межчастичное взаимодействие. В слабо-взаимодействующей системе ДЛ-состояния всплывают по энергии (хотя и слабее, чем это предполагалось ранее). В сильно-взаимодействующей системе ДЛ-состояния остаются под уровнем Ферми и дают единую границу областей КЭХ—И, переходящую в границу фаз двумерного металла и изолятора по мере уменьшения поля. Такое поведение делокализованных состояний в сильно взаимодействующей системе продолжает оставаться вызовом микроскопической теории.

Исследования, описанные в данной работе, проводились автором при поддержке РФФИ, грантов Миннауки по программам «Физика наноструктур» и «Статистическая физика», а также INTAS.

²⁸ Gultz S. et al., preprint Cond-mat/9808145.

²⁷ Haldane F.D.M., Yang K. // Phys. Rev. Lett. 1997. V.78. P.298; Shahbazyan T.V., Raikh M.E. // Ibid. 1995. V.75. P.304.

Последний день Помпеи

Н. В. Короновский



Николай Владимирович Короновский, доктор геолого-минералогических наук, профессор, заведующий кафедрой динамической геологии геологического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Заслуженный деятель науки России. Специалист в области геодинамики и вулканизма. Неоднократно печатался в «Природе».

САМОЛЕТ, заходя на посадку, медленно пересекает береговую кромку Тирренского моря около мыса Мизено, снижается над кратерами вулканов Флегрейских полей, оставляя справа по борту древний городок Поццуоли и, проносясь над светлыми домами ныне широко разбросанного по холмам Неаполя, неслышно касается бетонной полосы. И сразу же в иллюминаторе показывается широкий двуглавый конус Везувия. Наверное, ни с одним вулканом не связано столько овеянных веками трагических событий с потрясающими описаниями очевидцев. Если мы возьмем в руки письма Плиния Младшего к Тациту, датированные 79 г., и устроимся в уютном внутреннем дворе — атриуме — какого-нибудь дома в Помпеях, то перед нами начнут оживать картины тех безумных дней — 24 и 25 августа 79 г., ставших для многих жителей окрестностей Неаполитанского залива последним днем их жизни.

ВУЛКАНЫ ЦЕНТРАЛЬНОЙ ИТАЛИИ

В прибрежной западной половине Центральной Италии располагается цепь вулканов, часть которых — действующие, а часть — извергавшиеся совсем недавно. На севере это вулканы Тосканы. Древние плиоценовые (5—2 млн лет назад) вулканические массивы Монтекаммини, Кампилья, Массы, Маритима, Роккастрада, Монте-Амиата перекрывают мезозойские известняки и кайнозойский флиш. Они слагаются преимущественно кислыми риолитовыми лавами и известково-щелочными туфами. Наиболее характерная черта такого вулканизма — широкое развитие игнимбритов, обра-



Вулканы Апеннинского полуострова.

зовавшихся из раскаленных пепловых потоков, которые распространялись далеко от центров извержений.

Южнее, от Рима до Неаполитанского залива, протягивается другая цепь крупных стратовулканов — Вулсино, Чимино, Сабатинио, Колли-Альбано и др., а также небольшие моногенные вулканы (образовавшиеся в результате одного извержения) области Герникан. Извержения начались здесь в раннем и среднем плейстоцене и продолжались вплоть до конца позднего плейстоцена (15—12 тыс. лет назад). Первичная форма вулканических конусов с кратерами, которые, ныне часто заняты озерами, хорошо сохранилась. Вулканические породы района отличаются высоким содержанием калия (до 7%) и представлены

лейцитовыми трахитами, трахибазальтами и другими щелочными разновидностями.

Самый южный фланг молодой вулканической цепи располагается на побережье Неаполитанского залива, начинаясь в районе о.Искья, где вулканизм проявлялся еще в миоцене и продолжался вплоть до 1301 г., когда из кратера Арсо излился лавовый поток трахитов. Остров Процида, находящийся восточнее Искьи, также представляет собой группу молодых вулканов.

На севере Неаполитанского залива находится обширный район, занимающий более 150 км², — Флегрейские поля, — в котором располагается около 50 вулканов разной степени сохранности, протягивающихся от мыса Мизено до Неаполя. Начало их вулканической деятельности относится к позднему миоцену—раннему плиоцену, к докальдерной стадии. В дальней-

Помпеи. Арка Германика.
Здесь и далее рисунки автора



Геркуланум. Бани.



шем, уже в плиоцене и антропогене, в результате сильных эксплозивных извержений сформировались многочисленные кальдеры и затем по периферии — небольшие стратовулканы, сменявшиеся в позднем плейстоцене вулканическими конусами туфов и пемз. Именно к этому времени относятся знаменитый, слабоспекшийся зеленовато-желтый «неаполитанский туф» и разновидность игнимбритов — «пиперно», из которых возводились постройки еще с римских времен. Совсем молодые вулканические конусы сложены туфом, пемзами и шлаками. Все породы среднего и кислого состава Флегрейских полей — щелочные. Последнее извержение в этом районе отмечалось в 1538 г., когда между г. Поццуоли и оз. Аверно, расположенном в кратере вулкана, образовался шлаковый конус щелочных трахитов Монте-Нуово высотой в 150 м.

И наконец, замыкает эту протяженную вулканическую цепь самый знаменитый из всех вулканов — Везувий, находящийся как раз в середине побережья Неаполитанского залива, между мысами Мизено на севере и Кампанелла на юге. Этому вулкану было суждено войти в историю как виновнику гибели в августе 79 г. римских городов — Помпей, Геркуланума, Стабии и Октавианума.

Современный Везувий — низкий, приземистый, конусовидный, как бы с двумя вершинами, вулкан с периметром основания около 75 км. Почти со всех точек побережья видна его северная стена — Монте-Сомма, представляющая собой остатки древнего вулканического конуса, который существовал до извержения 79 г., а собственно конус Везувия, более молодой, высотой 1322 м, находится южнее Монте-Соммы.

Везувий — классический полигенный (образовавшийся в результате многих последовательных извержений, разделенных периодами покоя) стратовулкан, расположенный в пологой и обширной вулкано-тектонической впадине. Он прошел длительный путь развития, начало которого восходит к

позднему плиоцену — раннему плейстоцену (2—1.6 млн лет назад). История вулкана заключалась в попеременном образовании высокого конуса и его разрушении сильными взрывами с формированием обширной кальдеры, в которой впоследствии выросла новая вулканическая конус. Известный вулканолог А. Ритман реконструировал эволюцию Везувия с 1200 г. до н.э. и показал, что извержения, подобные 79 г., происходили неоднократно, например в XII и VIII вв. до н.э. Высота вулкана в IX в. до н.э. достигала почти 3 км, но сильнейшее извержение в следующем веке уничтожило его большую часть, образовав обширную кальдеру. На протяжении сотен лет кальдера заваливалась глыбами пород со стенок и в конце концов превратилась в небольшое плато. На рубеже тысячелетий Везувий был одноглавым, а его высота превышала 2.5 км. Именно таким его описал натуралист Страбон, а несколько стилизованное изображение конусовидного одноглавого Везувия дошло до нас на одной из фресок в Помпеях, хранящейся ныне в Национальном музее Неаполя. В начале I в. Везувий был покрыт густым лесом с диким виноградом. На его вершине располагалось заросшее чащевидное углубление — следы древнего кратера, сохранившегося после 300-летнего периода покоя вулкана. В этом кратере в 72 г. скрывался Спартак с восставшими рабами. На его поиск были брошены 3000 солдат во главе с претором Клодиусом Пулькером. Однако Спартак ускользнул от них и вырвался на равнину, окружающую вулкан с севера.

Вулканические пеплы и туфы, плащом покрывавшие пологие склоны Везувия и его окрестности, делали земли вокруг него необычайно плодородными. Особенно хорошо росли кукуруза, ячмень, орехи, пшеница, виноград. Недаром эта область славилась отличными винами. Вокруг вулкана возникли города — Помпеи, Стабия, Геркуланум, Нола, Октавианум, Оплонтис, Неаполис, Поццуоли, Суррентум и др. Здесь строили роскошные виллы

богатые римляне. Жизнь на изумрудных склонах кипела, а вдоль побережья располагались многочисленные рыбацкие поселки. Благодатную природу окрестностей Везувия описывали Витрувий, Диодорус Сикулус и Страбон. Ничто не предвещало близкой трагедии.

НАЧАЛО КОНЦА

В 62 г. сильные подземные толчки потрясли города, расположившиеся вокруг Везувия, частично разрушив Помпеи, Геркуланум, Стабию, Неаполис, Нукерию. Землетрясение было описано Сенекой и Светонием. Последний сообщил, что император Нерон, находившийся в этот момент в Неаполе, несмотря на сильные подземные удары не прекратил пение.

Землетрясения продолжались с нарастающей частотой и в последующие годы. Они, как мы теперь понимаем, свидетельствовали о продвижении магмы к поверхности и возможном скором извержении Везувия. Однако в то время нависшей угрозы, по-видимому, никто не ощущал. Жизнь шла своим чередом.

Теперь, спустя почти 2000 лет, благодаря двум обстоятельствам мы знаем буквально по минутам, что происходило в те трагические дни. Первое — это два потрясающих письма Плиния Младшего, племянника Плиния Старшего, к Тациту, второе — детальный послойный разрез вулканических туфов и пеплов, которые погребли Помпеи, Стабию и другие города. Письма Плиния Младшего неоднократно пересказывались во многих работах. Мы же постараемся соединить живое описание очевидца и результаты изучения геологических разрезов.

Адмирал Плиний Старший командовал частью галерного римского флота, стоявшего около мыса Мизено, на северном побережье Неаполитанского залива.

24 августа, около 2 часов полудни над Везувием начало быстро подниматься гигантское облако белого

цвета с бурными пятнами. Оно росло и на высоте растекалось в стороны, напоминая крону средиземноморской сосны — пинии. Вблизи вулкана слышался страшный грохот, и происходили непрерывные подземные толчки, ощущавшиеся и в Мизено, примерно в 30 км. Плиний Младший писал, что тряска была настолько сильной, что повозки кидало из стороны в сторону, с домов обваливалась черепица и рушились статуи и обелиски.

Начало взрыва — появление белого облака — соответствовало выбросу каменной пробки из древнего закупоренного жерла, когда давление газов в магме превысило прочность горных пород. Магма, верхняя граница которой находилась вблизи основания вулкана на уровне моря, из-за резкого падения давления начала как бы «вскипать». За счет мгновенного расширения газов верхний ее слой превращался в пемзу, а снизу уже поступала новая порция магмы. Вскипавший со взрывом расплав в жерле вулкана можно сравнить с работой реактивного двигателя, из которого с огромной силой и скоростью выбрасываются раскаленные газы. Бешено рвущаяся из недр вулкана газовая струя выносила с собой огромное количество обломков пемзы. За 10—11 час. непрерывного извержения столб выброшенной пемзы достиг высоты 20 км, и каждый час на поверхность почвы выпадал слой лапиллей (угловатых и округлых «шариков» диаметром 1—3 см) в 15—25 см. Пемза, судя по одному из разрезов в Помпеях, описанному Ритманом, содержала и обломки субстрата — эоценовых и триасовых известняков, мергелей, а также изверженных пород с глубин в несколько километров.

Именно этот первый, чрезвычайно мощный, замедленный взрыв и дал основную массу пемзовых обломков, максимум которых мощностью более 2.5—2.7 м выпал в окрестностях Помпей. Судьба распорядилась так, чтобы в этот день дул северный ветер (хотя уже на следующие сутки его направление изменилось). К востоку от



Везувий со стороны Неаполитанского залива. Слева — Монте-Сомма, справа — собственно конус Везувия.

Здесь и далее фото автора

города и в районе современного Сорренто толщина пемзовых туфов не превысила 10 см. Поскольку взрыв был «растянутым», многие жители успели уйти из Помпей в более безопасное место.

Плиний Старший, увидев необычное облако над Везувием, немедленно приказал снарядить легкую быстроходную галеру — либурнику — и предложил племяннику плыть с ним в Стабию, но тот отказался. Не успев отплыть, Плиний Старший получает от жены своего друга Тасция письмо, в котором она просит помощи. Ее дом находился у подножия Везувия. Дороги завалило толстым слоем пеплов и туфов. Для спасения оставался только путь через залив. Плиний немедленно изменяет план и приказывает подготовить квадриемы — тяжелые галеры с

четырьмя рядами гребцов с каждой стороны. Такие суда могли забрать много жителей, терпящих бедствие.

Все это происходило днем 24 августа, когда пепло- и пемзопад еще не охватил Стабию и мыс Мизено, но уже засыпал Помпей.

Квадриемы Плиния, быстро миновав большую часть Неаполитанского залива, вошли в зону густого пеплопада. На суда падали огненные обломки пемзы и небольшие угловатые куски лавы. Пристать где-то в районе современного Торре Аннунциата уже было невозможно — берег поднялся на несколько метров. Плиний решает плыть в Стабию к Помпониану, сыну своего друга и покровителя Помпония Секунда. Стабия (ныне Каstellаммаре) находилась всего лишь в 8—10 км от Помпей, но пеплопад там еще не был сильным. Это говорит о том, что зона основного пемзопода была узкой и проходила непосредственно через Помпей.

Пристав к берегу и быстро погрузив вещи Помпониана на квадри-

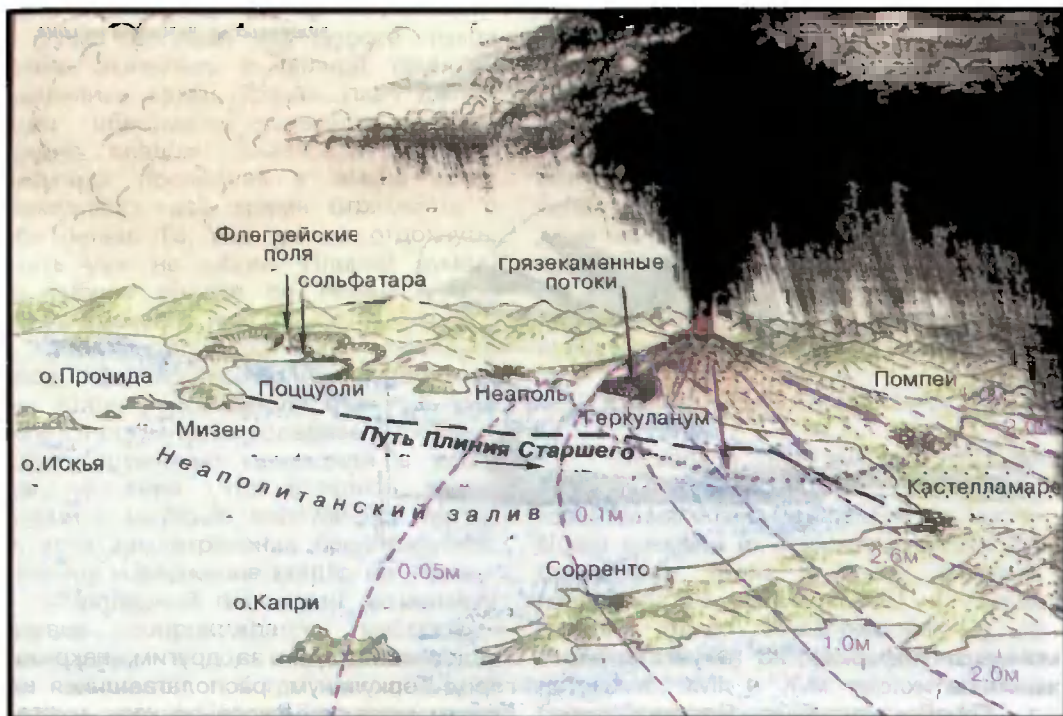


Схема извержения Везувия 24–25 августа 79 г. Цветным штрихом показаны границы распространения пемзопада, числа рядом — мощность пемзы в метрах. Точками обозначены зоны наиболее сильного пемзопада, цветным пунктиром — границы пепловых потоков, стрелками — их направление.

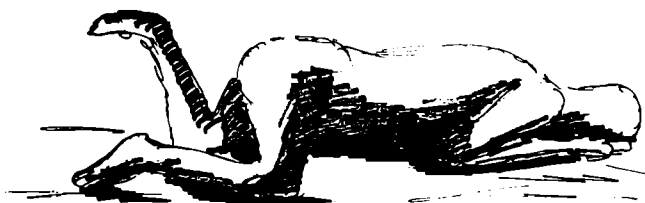
рему, Плиний не смог сразу же отплыть — был встречный ветер (северный или северо-западный). Он принимает решение остаться на ночь в доме Помпониана. Это стоило ему жизни. Плиний спал, а дом ходил ходуном от частых подземных ударов. Из-за непрерывно падающего пемла невозможно было открыть двери. Рано утром Плиний Старший вышел на берег моря. Была кромешная тьма, сверху непрерывно летела легкая и пористая пемза. Он лег на разостланный парус, надев на голову подушку, предохранявшую от падающей пемзы. Воздух стал горячее, все почувствовали усиливающийся запах серы. Плиний приподнялся с помощью двух своих рабов и тут же упал замертво, скорострительно скончавшись, по-види-



Разрез вулканических отложений в Помпеях (по А. Ритману, 1964).



Гипсовые слепки пустот, обнаруженных в пемзовой толще.



тому, от инфаркта. 26 августа извержение затихло.

Горячее «дыхание» Везувия, ощущавшееся утром 25 августа в Стабии, было результатом второго пароксизма извержения, сопровождавшегося сходом раскаленных тяжелых лавин (своеобразных пепловых потоков), что свидетельствовало об изменении характера магмы. Насыщенная газами при выходе из верхней части жерла, она в виде палящих туч была выброшена со склонов вулкана. Именно такая горячая туча «задушила» еще оставшихся в городе жителей и послужила причиной смерти Плиния Старшего. Гипсовые слепки пустот в пемзовой толще, засыпавшей Помпеи, показывают нам позы людей, скончавшихся от удушья. В литологическом разрезе горячим палящим тучам соответствует тонкий, всего лишь в 5 см, прослой вулканического песка.

В это же время на западных склонах вулкана шли сильные ливни, которые во время извержений случаются часто. Рыхлые пепловые и пемзовые толщи на склонах, «насытившись» водой, ринулись вниз мощными грязевыми, по-видимому, горячими потоками — лахарами. Три таких потока,

следовавших один за другим, накрыли город Геркуланум, располагавшийся на берегу моря, в мгновение ока уничтожив все живое. Современные раскопки показали, что люди были застигнуты врасплох. Вверх по склону от современной железнодорожной станции Эрколано можно видеть серую, мрачно-ватую, бугристую поверхность таких грязекаменных потоков, принесших смерть процветавшему городу. Утром 25-го, от 6 до 9 час, последовало несколько новых мощных взрывов Везувия, давших пеплы и пемзовые лапилли, общей мощностью более 1 м. Они окончательно погребли Помпеи, Стабию и другие селения.

Этот день в Мизено потрясюще описал восемнадцатилетний Плиний Младший. Дядя, Плиний Старший, отплыл из Мизено 24-го, а племянник, несмотря на сильнейшие землетрясения, провел весь день в занятиях. Он не изменил сложившемуся распорядку — занятия, баня, обед, сон. Однако утром следующего дня на Мизено стала надвигаться черная пепловая туча. Вероятно, сменилось направление ветра. Жители в ужасе бежали из города. У мыса Мизено Плиний Младший отметил подъем берега и огнен-

ные зигзаги молний в приближающейся туче. Бегущая по дороге толпа вскоре оказалась в полной темноте. Слышались крики, стоны, плач детей. Люди обезумели, упавших давили идущие следом. Казалось, для них наступила последняя в жизни ночь. Приходилось все время стряхивать с себя пепел. Те, кто присел отдохнуть, встать уже не могли. Плиний думал, что гибнет вместе со всеми и все гибнут вместе с ним.

Так продолжалось несколько часов. Но после полудня пепловая туча стала рассеиваться и сквозь нее даже проглянуло бледное Солнце. Люди постепенно приходили в себя, еще не веря, что остались живы. Плиний с матерью вернулись в Мизено, хотя землетрясения продолжались. К вечеру извержение пошло на убыль.

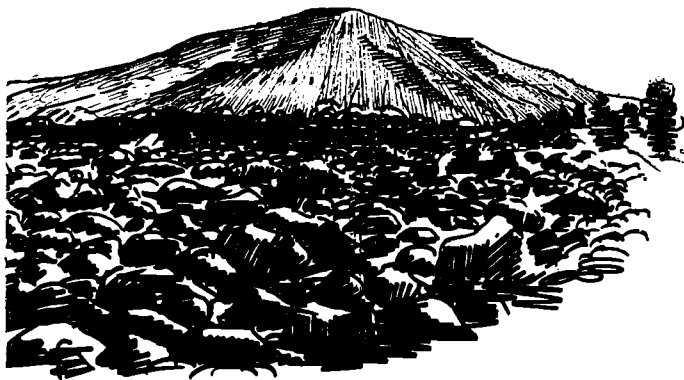
Последний пароксизм активности Везувия сопровождался выбросами стекловатых пеплов и мелких пемзовых лапиллей. Когда подводящий канал и верхняя часть магматического очага освободились от лавы, произошло оседание верхней части вулкана по кольцевым разломам и образовалась обширная кальдера Монте-Сомма диаметром около 4 км и периметром 12,5 км. В ней впоследствии образовался современный конус Везувия. По трещинам кальдеры поднялась магма, потоки которой излились у северного,

незаселенного подножия. Поэтому они и не были сразу замечены.

За два дня плодородная, богатая земля окрестностей Везувия превратилась в серую безжизненную пустыню. Города, засыпанные пемзой, погребенные под грязевыми потоками, постепенно стали зарастать лесом, исчезнув даже из памяти людей почти на 1700 лет, пока случайно, в конце XVI в., архитектор Фонтана, копая колодец около Сарно, не нашел остатки стены и обломки фресок.

ВУЛКАН ПОСЛЕ КАТАСТРОФЫ

26 августа 79 г. вулкан успокоился и затих почти на 100 лет. Но в 172 г. извержения возобновились — до настоящего времени их произошло более 80. Среди них были и очень сильные, например, 16 декабря 1631 г., когда погибло около 7000 человек и 15 городков было разрушено грязевыми потоками. XVII и XVIII вв. — времена большой активности Везувия. В 1767 г. лавы погребли церковь Сан-Вито. В 1794 г. разрушен городок Торре дель Греко. Извержения продолжались и в XIX в. Кульминация наступила в 1906 г. Начиная с 172 г. в древней кальдере рос новый вулканический конус — собственно современный Везувий, на вершине которого в конце мая 1905 г. образовались трещины. Из



Современная поверхность лаварового (грязекаменного) потока, похоронившего 25 августа 79 г. Геркуланум.



Северная стена древнего кокуса Монте-Самма и остатки кальдеры извержения 79 г. Хорошо видны дайки.



Современный кратер Везувия с лавами извержения 1944 г.

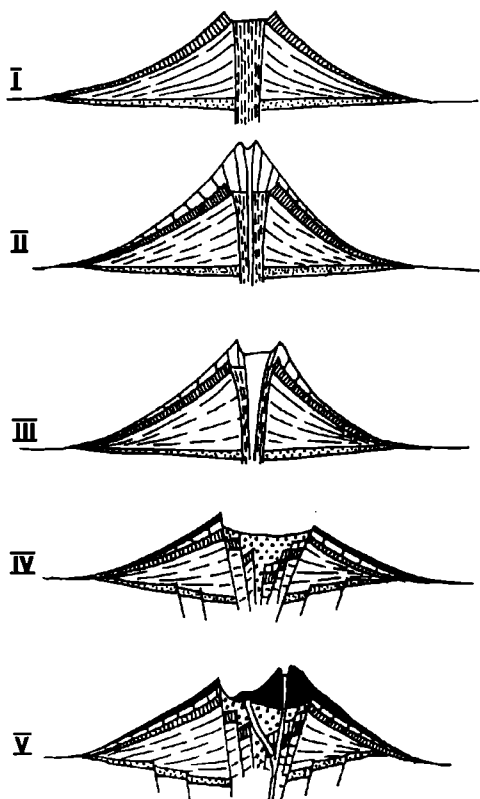
Фото М.Ламизе



Развалины Помпей.



Улица в Помпеях. Прекрасно сохранились мостовая, высокие тротуары и стены домов. Крыши провалились под тяжестью пемзы.



Эволюция вулкана Везувий (по А. Ритману, с изменениями).

I — вулканический конус формировался до VIII в. до н.э. Сначала в нем образовался обширный кратер, а потом начал расти новый конус.

II — в начале VIII в. до н.э. конус достиг высоты 3000 м. И вулкан стал одноглавым.

III — мощные извержения разрушили конус. На вершине вновь образовался широкий кратер (с выровненным дном) за счет обвалов пород со стенок.

IV — после извержения 24—25 августа 79 г. вершинный конус исчез. На его месте образовалась обширная кальдера с более высоким северным краем (современная Монте-Сомма).

V — за время, прошедшее с 79 г., в южной части кальдеры сформировался новый конус (современный Везувий) с небольшим кратером на вершине.

них стали изливаться лавовые потоки. Трещины возникали в разных местах конуса и исчезали, когда уровень магмы в основном жерле опускался. С 6 по 22 апреля 1906 г. извержения достигли максимальной силы. Газовые облака поднимались вверх до 13 км. Сила взрывов была ужасающей. Падающий туф частично разрушил небольшие города Оттавиано, Сан-Джусеппе, Сомма-Везувиана. Особенно мощный взрыв произошел утром 8 апреля. Однако пепла выпало мало — взрыв был преимущественно газовым. Все эти катаклизмы вызвали понижение вершины на 165 м, а кратер при этом расширился до 650—700 м.

В 1944 г., во время высадки американцев в Италии, вулкан вновь ожил и в течение недели засыпал американские войска пеплом и туфом. Население у подножия Везувия покинуло селения и города. С тех пор он активностей не проявляет.

Везувий сегодня ведет себя тихо и спокойно. На его вершину очень легко попасть, преодолев большую часть пути из Геркуланума на автобусах. Дорога поднимается к западному краю Монте-Соммы на Атрио делле Синнестрелла, где видны туфовые отложения и канатные лавы извержения 1895 г. Там находится вулканологическая обсерватория, построенная в 1841—1845 гг. по распоряжению Фердинанда II. Далее дорога пересекает лавовые потоки 1944 г., в свою очередь перекрывающие лавы 1872 и 1899 гг., лавовые купола Колле-Умберто и Атрио Кавалло. В крутой, местами отвесной стенке кальдеры Монте-Соммы видны потоки лав, лавобрекчий и туфов, пронизанные вертикальными дайками. Это все, что осталось от вулкана, существовавшего до катастрофы 79 г. Справа от дороги начинается подъем на современную вершину Везувия с огромным кратером диаметром в 700 м. Внутри него видны отвесные стенки с хорошо выраженной слоистостью за счет чередующихся туфов и темных лав извержения 1944 г. Незабываемая красота Неаполитанского залива, о.Капри, Неа-

поля и окрестностей Везувия, открывающаяся с вершины вулкана, — награда за проделанный путь. А на юге видны Помпеи, возродившиеся из многовекового небытия. Повсюду прослеживаются лавовые потоки разных извержений. Перекрывая друг друга, они образуют подобие панциря, бронирующего склоны, на одном из которых и располагаются Помпеи.

ПЛИНИАНСКОЕ ИЗВЕРЖЕНИЕ И ЭВОЛЮЦИЯ МАГМЫ

Везувий относится к вулканам, для которых характерны мощные взрывные извержения, названные по имени Плиния Старшего — плинианскими. Как правило, активность вулкана такого типа начинается после периода покоя, когда подводящий канал закупоривается «пробкой» из застывшей лавы, а газы под нарастающим давлением эту пробку вышибают. Происходит мощный взрыв, и начинается стремительное истечение газов, увлекающих и распыляющих магму верхней, апикальной части очага, превращая ее в пемзу и пепел. Так это было на Везувии в первую фазу извержения 79 г. Падение давления вызывает подъем тяжелых раскаленных газов, нагруженных обломками и образующих палящие тучи или лавины. Затем, по мере подъема магмы, частично сбрасывающей летучие компоненты, начинаются лавовые излияния, но, как правило, не очень мощные.

Магма Везувия во время извержений быстро дифференцировалась, о чем свидетельствует изменение состава пород во времени. Начиная с 79 г. вулкан извергал преимущественно тефритовые лейцититы (везувиты) — богатые калием щелочные основные породы, из которых и сложена Монте-Сомма. По мнению А.Ритмана (1964), объяснить такой состав вулканитов можно, только допустив ассимиляцию

триасовых доломитов кровли очага трахитовой магмой, которая изменяется до лейцитовой и при этом обогащается калием.

* * *

1919 лет спустя после катастрофы испытываешь некоторое «смятение души», когда ходишь по улицам откопанных Помпей или Геркуланума. Как будто ты мгновенно перенесся в прошлое и сам являешься непосредственным участником событий тех далеких дней. Ведь из Помпей, как, впрочем, и из Геркуланума, ничего не успели вывезти. Люди спасались от смерти. До вещей ли тут было! Раскопки открыли перед нами мир I в. в абсолютно неизменном виде. Крыши домов обрушились под тяжестью пемзовых лапиллей, мощность которых соответствовала высоте построек. Последующие века не только скрыли города от людских глаз, но и практически стерли в памяти само их существование. Теперь, сидя на ступеньках какого-нибудь дома в Помпеях и глядя на его внутренний дворик с террасами, уставленными кувшинами, пифосами, мисками, нас не покидает ощущение, что мы заглянули в чужой дом, из которого только что ушли хозяева. И над этой умиротворяющей картиной на заднем плане просматриваются контуры Везувия, такого привлекательного и спокойного, что очень трудно представить себе ту страшную, почти апокалипсическую картину 24 августа 79 г.

Рекомендуемая литература

- Ритман А.** ВУЛКАНЫ И ИХ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ. М., 1964.
Макдональд Г. ВУЛКАНЫ. М., 1975.
Раст Х. ВУЛКАНЫ И ВУЛКАНИЗМ. М., 1982.
ПИСЬМА ПЛИНИЯ МЛАДШЕГО. М., 1984.

Возвращение красного волка

Н. И. Чесноков,
кандидат сельскохозяйственных наук



Красный волк. Фото из книги M.Greeley «Wolf» (1996).

ВОБЛИКЕ красного волка много общего с обыкновенным серым, от которого он отличается меньшими размерами (рост до 70 см, длина от кончика носа до кончика хвоста 140 см, вес от 15 до 30 кг) и цветом меха (от песчаного до медно-красного с коричневыми и черноватыми проблесками). Живет красный волк, как правило, небольшими (из двух—семи особей) семьями. Беременность у самок длится 61—63 дня, один раз в год она приносит потомство из пяти—девяти детенышей. Охотится красный волк обычно на нутрию, енота, крысу, белку и других некрупных животных. (В отечественной научной литературе отмечается, что основная добыча красного волка — мелкие и среднего размера копытные животные.)

Некоторые биологи склонны считать красного волка подвидом серого (*Canis lupus*), однако большинство специалистов выделяют его в отдельный вид или даже род. Так, в Америке этого волка называют рыжим и относят к отдельному виду — *C. rufus*, а чрезвычайно редкого обитателя горных районов Центральной и Восточной Азии выделяют в отдельный род с единственным видом *Cyon alpinus*.

В нашей стране северная граница ареала красного волка простиралась от низовий р. Уды на Дальнем Востоке (описание вида было сделано Палласом по экземпляру, доставленному из окрестностей Удского отрога) на запад, южнее Станового хребта и севернее нижнего течения Шилки, охватывала с севера юго-восточное Забайкалье, проходила южнее Байкала, через верховья рек Иркуты, Оки и Большого



Момент выпуска красного волка на о. Кейп-Сент-Джордж.

Енисея, через Восточный и Западный хребты Танну-Ола, Чуйскую степь и истоки Катунь. Красный волк в нашей стране никогда не был многочисленным и широко распространенным видом, но его существование сомнений не вызывало. В последние же десятилетия положение изменилось: даже в Приморье, где красного волка считали относительно обычным, встречи с этим зверем к 1920 г. стали редкостью. Уже 25 лет нет достоверных сведений о появлении его в Туве, на Алтае и в других областях его прежнего ареала.

В былые времена красный волк населял пустынно-степные и предгорные местности, невысокие горы и равнины с пересеченным рельефом в южной части Соединенных Штатов, для которой характерны мягкий климат, безлесные и лесостепные пространства. Ареал красного волка в США совпал с районами развитого животноводства, и его незаслуженно обвинили в нанесении вреда скотоводству. В

результате он был почти полностью истреблен, но в 1967 г. объявлен охраняемым видом. Американский волк, как и его азиатский собрат, занесен на страницы Красной книги Международного союза охраны природы (МСОП). До настоящего времени в мире уцелело всего около 300 особей, да и те — в основном в зоопарках.

В США разработана обширная программа по возврату в природную среду обитания исчезающих видов, среди которых оказался и красный волк. Для этого в 1984 г. в штате Северная Каролина был создан национальный парк «Alligator-River» площадью 47 тыс. га. В 1987 г. выпустили первую пару волков, у которой в 1988 г. появился помет. С 1987 по 1993 г. в национальный парк было выпущено 57 волков из зоопарков и по меньшей мере 39 — родились на свободе. Интересно, что жизнеспособность таких животных выше, чем у рожденных в зоопарках. Успех программы был настолько очевиден, что в конце лета 1993 г. ученые решились выпустить две пары волков уже за пределы национального парка.

Помимо Северной Каро-

лины подобные программы были осуществлены и в других штатах (Миссисипи, Теннесси и Флориде). Животных выпускали, как правило, на территории национальных парков или на пустынные острова, где есть необходимые условия не только для охраны вселённых хищников, но и для наблюдения за ними. Хотя красных волков возвращают в места их естественного обитания, тем не менее за годы их отсутствия там могли произойти большие перемены. Поэтому для начала обычно выпускают не более одной пары. Так, в январе 1998 г. на небольшой (всего 16 км в длину) пустынный о.Кейп-Сент-Джордж вблизи побережья Мексиканского залива (штат Флорида) привезли пару красных волков. Известно было, что на островке обитает одинокий койот, которого во избежание осложнений пытались поймать или даже убить, но все было тщетно. Боялись, что койот как полноправный хозяин острова прогонит волков и они либо утонут в море, либо переплывут на густонаселённый материк, где тоже неминуемо погибнут. Допускали и

другой нежелательный вариант: дружба койота с волчицей могла привести к появлению межвидовых гибридов в потомстве. Однако иного подходящего места не было, и волков, предварительно стерилизовав, выпустили на этот остров. В конце концов даже любопытно было узнать, чем же закончится их встреча.

Несмотря на опасения ученых, койот без спора уступил свои владения волкам. На первых порах новоселов подкармливали свинным и оленьим мясом, но вскоре это прекратили для того, чтобы они быстрее привыкли к самостоятельной жизни и восстановили забытые охотничьи навыки. Волки уже начали осваиваться (для наблюдений их снабдили радиошейниками): держаться всегда вместе, метить территорию, охотиться на енотов, крыс, мышей и других мелких животных. В общем, вели себя так, как должны вести животные на свободе. Осталось выяснить не нанесут ли волки вред другому охраняемому виду — морским черепахам? Ежегодно черепахи приплывают на остров, чтобы на его песча-

ных пляжах откладывать и зарывать в песок яйца. Не будут ли волки разорять черепаши кладки? На соседнем о.Сент-Винсент, где выпустили волков в 1990 г., этого не происходит. Если и на Кейп-Сент-Джордж все пройдет благополучно, эксперименты можно будет продолжить на аналогичных пустынных островках, а также подходящих территориях на материке вне национальных парков.

К сожалению, федеральные власти не всегда руководствуются нуждами охраны природы. Так, Конгресс США недавно принял постановление, разрешающее истреблять красных волков на частных землях. Естественно, это постановление вызвало протесты защитников природы, но Конгресс продолжает твердо стоять на страже интересов землевладельцев. Поэтому необходимо как можно скорее рассеять у фермеров ложное убеждение, что красный волк — враг скотоводства. Напротив, его присутствие способствует сокращению численности грызунов, вредящих посевам и плодовым насаждениям.

Что делать с волжскими водохранилищами?

А. Б. Авакян



Артур Борисович Авакян, доктор географических наук, профессор, главный научный сотрудник Института водных проблем РАН. Автор многих работ по проблемам создания и комплексного использования водохранилищ, их взаимодействия с окружающей средой. Неоднократно публиковался в «Природе».

УЖЕ несколько лет разрабатывается федеральная программа «Возрождение Волги». Спектр проблем, которые она должна решить, поистине грандиозен — от чисто научных до общезкономических¹. Это не случайно, так как бассейн Волги уникален. Он занимает 1/3 площади Европейской части России. В нем проживает 59 млн человек, т.е. около 40% населения Российской Федерации. Здесь производится до 50% промышленной и свыше 40% сельскохозяйственной продукции. На Волгу и ее притоки приходится свыше 70% грузооборота речного транспорта. Более половины всей рыбы на внутренних водоемах страны и свыше 90% осетровых вылавливается в бассейне Волги. Волга для России имеет не меньшее, а может быть и большее значение, чем Рейн для Германии и Миссисипи для США.

Водными объектами региона в рамках программы занимается и наш институт, а поскольку Волга достаточно давно превратилась из реки в каскад водохранилищ, приходится думать об их судьбе.

Я уже писал на страницах «Природы» о достоинствах и недостатках водохранилищ². Замечу только, что в настоящее время в мире нет ни одной страны, в которой бы их не было. Общий объем водохранилищ на рубеже XIX и XX вв. составлял 15 км³, а к концу XX в. превысил 6600 км³. Сегодня на Земле эксплуатируется более 60 тысяч водохранилищ. Площадь их водного зеркала равна 400 тыс. км². Это — площадь одиннадцати Азовских морей.

© А.Б.Авакян

¹ Возрождение Волги — шаг к спасению России. М., 1996. Т.1.

² Авакян А.Б. Достоинства и недостатки водохранилищ // Природа. 1987. № 11. С.36—46.

Создание водохранилищ привело на земном шаре не только к преобразованию природных условий на территории с общей площадью 700 тыс. км², но и к изменению инфраструктуры — в результате переселения людей и переустройства хозяйства — на территории в 1,5 млн км².

Водоохранилища — ключ к решению многих проблем, но и одновременно фокус противоречий между целью их создания и негативными последствиями в природе.

Водоохранилища строят, чтобы уменьшить или ликвидировать опасность наводнений, маловодий и селей, а также перераспределить сток между сезонами года и годами различной водности, днями недели и часами суток. Это необходимо для энергетики, ирригации, водоснабжения и т.д. Аккумуляция воды на непродуктивных землях позволяет вовлечь их в хозяйственное использование. Вместе с тем создание водохранилищ связано не только с затоплением многих тысяч гектаров плодородных земель, с переселением сотен и тысяч людей, но и переносом промышленных предприятий, переустройством дорог, трубопроводов, линий электропередачи и связи. После того как водоемы заполняются, в прибрежной полосе начинается подъем уровня грунтовых вод, вызывающий подтопление земель, строений и других сооружений; волна, в особенности штормовая, подмывает берега, и десятки, а то и сотни гектаров земель обрушиваются в водоем и перемещаются течениями. В прибрежной полосе изменяются почвы, растительность, животный мир, микроклиматические условия.

Поскольку при создании водохранилищ реки перегораживают плотинами, существенно нарушаются сложившиеся тысячелетиями условия существования и размножения рыб, которым приходится приспосабливаться к новым гидрологическим, термическим, гидрохимическим и гидробиологическим условиям.

Особенно сильно гидростроительство сказывается на проходных рыбах,

т.е. на тех, которые живут и нагуливаются в морях и океанах, а метать икру идут в реки, поднимаясь вверх по течению на десятки, сотни, а иногда и тысячи километров. Сооружаемые плотины преграждают рыбам путь к местам нереста и лишают их возможности воспроизводить потомство.

На некоторых реках, где весенние разливы увлажняли и удобряли луга, после создания водохранилищ снижалась продуктивность заливных сенокосов, превратившихся на значительных площадях в суходолы.

Имеется еще несколько причин негативного отношения к водохранилищам. Выбор объекта строительства, тщательнейшее изучение всех «за» и «против» имеют первостепенное значение. На практике же, к сожалению, подчас многие «против» игнорировались. Нередко принимались волевые решения, не учитывавшие мнение специалистов, к тому же, как и во всех других делах, руководители и хозяйственники грешили дорого нам теперь стоящей гигантоманией.

Основное внимание обычно уделялось гидроузлу. На водохранилища смотрели как на нечто второстепенное (побочный продукт плотины). Система мероприятий по переустройству и приспособлению к новым условиям всех отраслей народного хозяйства разрабатывалась довольно часто не в полном объеме, и при этом не всегда осуществлялось то, что намечалось проектом. Недостаточное внимание уделялось экологическим проблемам.

За исключением последних лет, игнорировались психологические и отчасти социальные, медико-биологические и экономические вопросы, связанные с созданием водохранилищ.

И наконец, немалую роль сыграли малоквалифицированные публикации. В них, например, указывалось, что в России затоплено 100 млн га земель (в действительности же восемь), что площадь водохранилищ в России в пять раз больше, чем в США (в действительности же в 1,4 раза) и т.д., и т.п. В газетных статьях для

водохранилищ находилась только одна краска — черная.

Перечень недостатков рукотворных морей можно было бы продолжить, но и этого, вероятно, достаточно, чтобы понять то настороженное, мягко выражаясь, отношение, которое существует у широкой общественности к созданию водохранилищ. Вот почему население районов, на территории которых намечается создание таких водоемов, обычно выступает против сооружения плотин. И в ряде случаев эти протесты, направленные против осуществления особенно одиозных проектов, увенчались успехом.

Однако в целом остановить гидростроительство на реках не удавалось ни в одной стране мира. Ежегодно на всех континентах вступают в эксплуатацию сотни новых водохранилищ.

ПРЕВРАЩЕНИЕ РЕКИ В КАСКАД ВОДОХРАНИЛИЩ

В 1931 г. Госплан СССР поручил Всесоюзному научно-исследовательскому институту энергетики и электрификации рассмотреть все имеющиеся предложения и разработать рабочую гипотезу комплексной схемы использования Волги в энергетических и транспортных целях. Эта схема наряду с другими материалами рассматривалась на ноябрьской сессии Академии наук СССР в 1933 г., посвященной проблеме «Большая Волга». Проблема трактовалась комплексно — как ирригационная, транспортная и энергетическая.

К величайшему сожалению, при дальнейшем проектировании, которым занимались институты Гидроэнергопроект и Гидропроект в содружестве со многими другими организациями, не были исследованы, а соответственно и не учтены многие отрицательные экологические последствия реконструкции бассейна Волги. В ряде случаев отсутствовала даже качественная оценка возможных воздействий гидротехнического строительства на окружающую среду. Мнение крупнейших ученых

географов, ихтиологов, биологов Л.С.Берга, Н.М.Книповича, Н.И.Вавилова, А.А.Рихтера и др., указывавших, в частности, на недопустимость строительства гидроузлов на нижней Волге, поскольку они существенно нарушают условия воспроизводства ценнейших рыб, не было принято во внимание. В дальнейшем это породило множество проблем.

Практические работы начались со строительства канала Москва—Волга в комплексе с Ивановским, Угличским и Рыбинским гидроузлами. В 1937 г. было завершено строительство канала Москва—Волга и Ивановского гидроузла. В 1939 г. началось заполнение Угличского водохранилища, а в 1940-м — Рыбинского.

В 1948—1952 гг. было завершено строительство Волго-Донского канала. В 50-е годы сооружены Горьковская, Куйбышевская, Волгоградская, Камская гидроэлектростанции. Остальные ГЭС Волжско-Камского каскада вошли в строй в последующие три десятилетия (см. табл.). В 1964 г. после коренной реконструкции стал эксплуатироваться Волго-Балтийский канал. Одновременно в бассейне реки строились насосные станции, оросительные системы, каналы различного назначения, защитные дамбы, очистные сооружения, порты, причалы и т.п.

Гидротехническое строительство в Волжском бассейне было вызвано необходимостью решения многих народнохозяйственных задач. Сейчас Волжско-Камский каскад дает более 20% электроэнергии, производимой на ГЭС в России. Его установленная по проекту мощность превышает 11 млн кВт, а годовая выработка электроэнергии — 35—40 млрд кВт·ч. Крупные ГЭС каскада служат опорными пунктами Единой энергетической системы (ЕЭС) на европейской территории России, участвуют в покрытии все возрастающих пиков электронагрузки, освобождая тепловые электростанции от работы в невыгодных для них режимах, обеспечивая аварийный резерв ЕЭС и стабилизацию частоты сети.

Гарантированная глубина, образо-

Таблица

Основные показатели водохранилищ и ГЭС Волжско-Камского каскада

Водохранилище	Годы заполнения	Объем, км ³		Площадь зеркала, км ²	Установленная мощность ГЭС, тыс. кВт	Среднегодовая выработка электроэнергии, млрд. кВт·ч
		полный	полезный			
Верхневолжское	1845, 1944	0.52	0.47	183	—	—
Иваньковское	1937	1.12	0.81	327	30	0.11
Угличское	1939—1943	1.25	0.81	249	110	0.25
Рыбинское	1940—1949	25.42	16.67	4550	330	1.05
Горьковское	1955—1957	8.82	3.90	1591	520	1.40
Чебоксарское*	1981	4.60/12.60	0/5.40	1080/2170	1404**	3.34**
Куйбышевское	1955—1957	57.30	33.90	6150	2300	10.26
Саратовское	1967—1968	12.87	1.75	1830	1290	5.33
Волгоградское	1958—1960	31.45	8.25	3117	2530	10.18
Камское	1954—1956	12.20	9.80	1915	504	1.71
Воткинское	1961—1964	9.40	3.70	1065	1000	2.25
Нижнекамское*	1978	2.80/13.80	0/4.60	1000/2570	1080**	2.80**
Итого		168/187	80/90	23060/25720	11098	39.68

*В числителе — при современном подпорном уровне, в знаменателе — при проектном.

** При проектном уровне.

вавшаяся в результате подпора и навигационных полускоков³, на протяжении Волги от Твери до впадения в Каспий и на Каме приблизилась к 4 м (до реконструкции в верховьях Волги она составляла 0.4—0.5 м, в низовьях — до 2 м). Транспортный узел Москвы включен в единую сеть внутренних водных путей. Длина трассы судового хода за счет ее спрямлений на водохранилищах сократилась на Волге на 96, на Каме — на 57 км, возросла ее ширина. Все это позволило эксплуатировать по Волге суда грузоподъемностью 2—5 тыс. т (до реконструкции 0.6—1.0 тыс. т). До 90-х годов флот пополнялся специальными теплоходами грузоподъемностью до 20 тыс. т.

Все это позволило увеличить грузооборот с 27.4 млн т в 1930 г. до 300 млн т в 1990 г. Пассажирские перевозки возросли за тот же период с 19 до 120 млн человек. Правда, за последние девять лет в результате спада производства в Российской

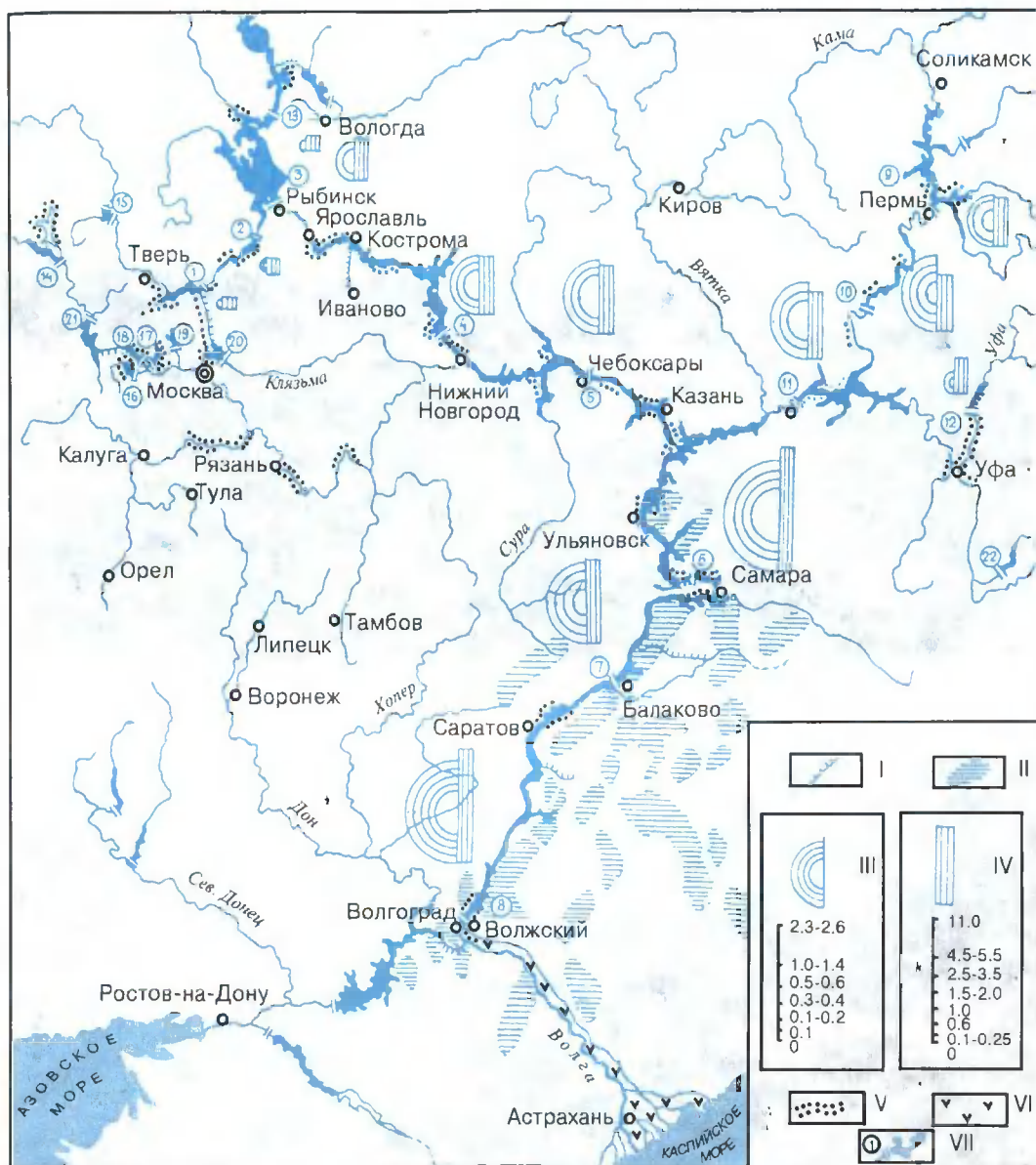
Федерации эти показатели резко сократились.

Непрерывно увеличивалась роль водохранилищ каскада для обеспечения водой промышленных центров, городов, поселков и тепловых электростанций. Особое значение имеет Иваньковское водохранилище — важнейший источник водоснабжения Москвы. До 2005 г. оно будет обеспечивать более 60% потребности в воде столицы России. Из Горьковского водохранилища проведен канал для водоснабжения г.Иваново.

В настоящее время в Волжско-Камских водохранилищах с учетом любительского лова добывается примерно 300 тыс. ц рыбы. Потенциальная промысловая рыбопродуктивность, при условии проведения рыбоводных мероприятий, оценивается в 500 тыс. ц.

Водохранилища каскада оказали большое трансформирующее влияние на половодье. Так, максимальный уровень Волги в половодье 1979 г. в створе Куйбышевского гидроузла был снижен на 1.9 м, а в створе Волгоградского гидроузла — на 1.3 м

³ Попуск — подача воды из водохранилища в нижний бьеф для различных хозяйственных целей.



Использование водных ресурсов водохранилищ бассейна Волги.

I — крупные каналы; **II** — районы существенного и первоочередного орошения; **III** — установленная мощность ГЭС, млн кВт; **IV** — среднегодовая выработка, млрд кВт·ч; **V** — районы массового отдыха; **VI** — зона влияния рыбохозяйственного попуска в низовья Волги; **VII** — крупные и средние гидроузлы: 1 — Ивановский, 2 — Угличский, 3 — Рыбинский, 4 — Горьковский, 5 — Чебоксарский, 6 — Куйбышевский, 7 — Саратовский, 8 — Волгоградский, 9 — Камский, 10 — Воткинский, 11 — Нижнекамский, 12 — Павловский, 13 — Шекснинский, 14 — Верхневолжский, 15 — Вышневолоцкий, 16 — Рузский, 17 — Озернинский, 18 — Можайский, 19 — Истринский, 20 — гидроузлы и водохранилища водораздельного бьефа канала им.Москвы, 21 — Вазузский, 22 — Нугуский.



Рыбинское водохранилище близ пос.Борок.

Здесь и далее фото автора



Левый берег Куйбышевского водохранилища недалеко от плотины.

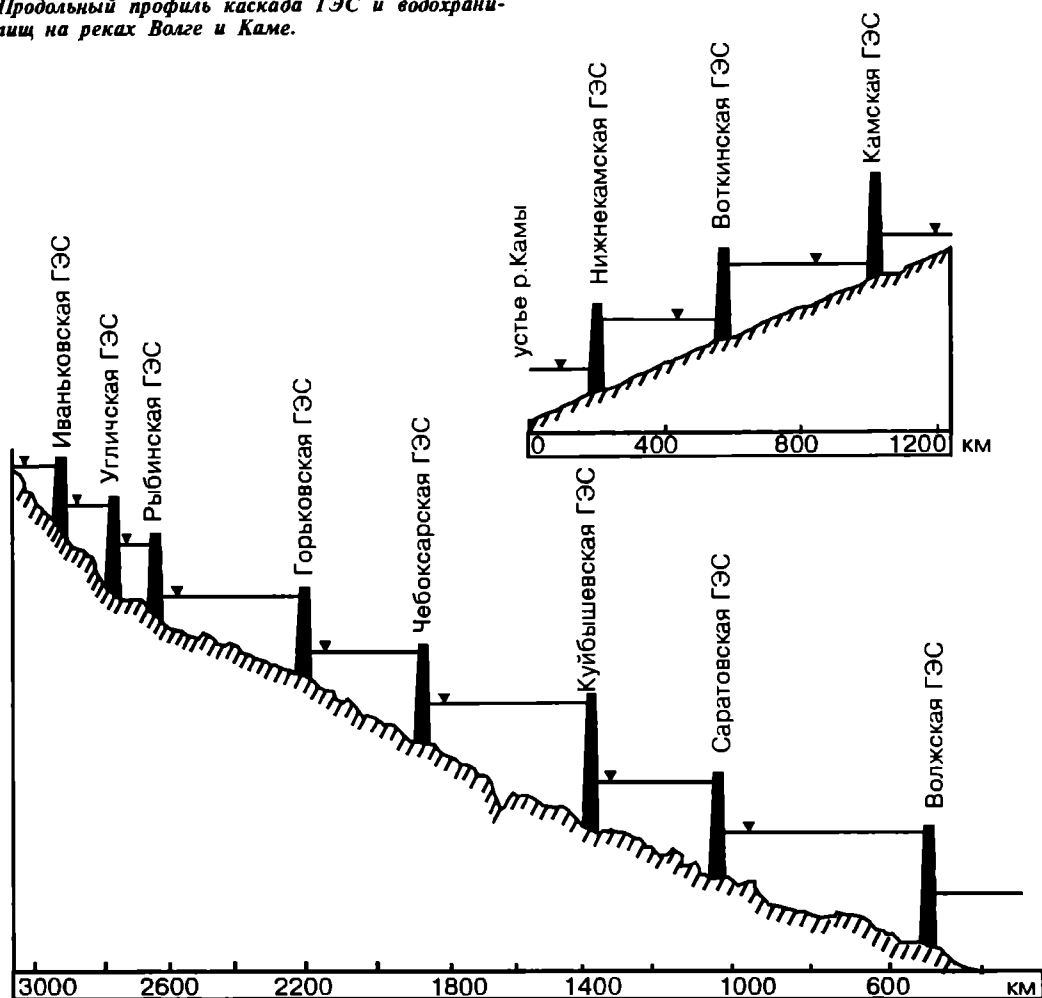


Нижний Новгород. Стрелка.



Вид на плотину с нижнего бьефа.

Продольный профиль каскада ГЭС и водохранилищ на реках Волге и Каме.



по сравнению с возможным естественным.

Водохранилища позволили орошать в Поволжье и Прикаспийской низменности около 4 млн га и обводнять 10 млн га земель. В настоящее время площадь орошаемых земель составляет 2.1 млн га.

Однако все, о чем говорилось выше, не столько радует наших современников, сколько вызывает ностальгию по прошлому. К величайшему сожалению, нагрузка на водные ресурсы в Волжском бассейне в восемь раз превышает нагрузку по стране в целом. Волга и ее притоки буквально захлебнулись от неочищенных стоков

промышленных предприятий, городских территорий, от удобрений и пестицидов, вымываемых с полей, от стоков животноводческих комплексов.

Поверхностные, подземные воды и почвы бассейна интенсивно загрязняются нефтепродуктами и высокоминерализованными водами в местах добычи нефти, а также при авариях на трубопроводах, транспортирующих нефть, газ, аммиак и другие продукты. Заметный «вклад» в загрязнение вод вносят «кислые дожди». Острой проблемой стало радиоактивное загрязнение из-за аварии на Чернобыльской АЭС.

Именно поэтому многие полага-

ют, что положение на Волге было бы совсем иным, если бы не было водохранилищ, замедливших сток реки, и плотин-«тромбов», появившихся в ее русле. Объективности ради следует отметить, что водохранилища на изменение качественного состава поверхностных вод влияют неоднозначно. Наряду с отрицательными последствиями, вызванными замедлением водообмена, отмечается, при прочих равных условиях, улучшение качества воды по таким показателям, как прозрачность, цветность, содержание взвешенных веществ, количество сапрофитных бактерий. В донных отложениях аккумулируется огромное количество загрязняющих веществ — тяжелых металлов, пестицидов, нефтепродуктов, трудноразлагаемых органических соединений. Если бы не было водохранилищ, значительный объем загрязняющих веществ перемещался бы по

речной системе и вывел бы из строя нерестилища на Нижней Волге и нагульные площади осетровых рыб в Северном Каспии. В то же время сама Волга при современных объемах загрязнений в маловодные периоды превратилась бы в сточную канаву.

С другой стороны, водохранилища отодвинули лишь на время нависшую над рекой угрозу. Если не предпринять неотложных мер по уменьшению, а в дальнейшем и по предотвращению загрязнения Волги, то наступит время, когда стоки, покоящиеся и ежегодно откладывающиеся на дне водохранилищ, смогут привести к вторичному загрязнению воды. А этого следует избежать во что бы то ни стало.

Что положение в бассейне Волги, мягко выражаясь, оставляет желать лучшего, ни у кого не вызывает сомнения. В последние годы оно еще более усугубляется кризисными явлениями в эко-



Сравнительные размеры и контуры водохранилищ Волжско-Камского каскада и некоторых озер.



Куйбышевское водохранилище в районе г.Тольятти.

номике. А вот в отношении действий, которые следует предпринять, согласия, к сожалению, нет. Одни, видя все беды бассейна в водохранилищах, предлагают их спустить, полагая, что после этого все наладится само собой. Другие не столь радикальны, но тоже считают виновниками большинства бед водохранилища и полагают, что если удастся снизить отметки их уровня, то ситуация в бассейне стабилизируется. Третьи, к числу которых принадлежит и автор, уверены, что для стабилизации экономической, социальной и экологической ситуации в бассейне реки необходим комплекс самых различных мероприятий.

Для того чтобы читатель мог составить собственное мнение, рассмотрим все три подхода к решению этой проблемы.

О ПОСЛЕДСТВИЯХ СПУСКА ВОДОХРАНИЛИЩ

Серьезно исследованием спуска водохранилищ ни в одной стране

никто не занимался, хотя весьма печальные последствия понижения уровня некоторых естественных водоемов, таких как Севан, Аральское море и некоторые другие, хорошо известны. Тем не менее некоторые выводы можно сделать. Итак, что же произойдет, если спустить водохранилища Волжско-Камского каскада?

Из единой энергосистемы европейской части России будет изъято 11 млн кВт установленной мощности и 35—40 млрд кВт·ч годовой выработки электроэнергии. Объединенная энергетическая система этой территории России лишится аварийного и частотного резервов. Возмещение указанных потерь потребует нескольких миллиардов капиталовложений в тепловые и атомные станции, в добычу угля, нефти, газа, в железнодорожный транспорт и т.п.

Практически все грузы, перевозившиеся на судах с глубокой осадкой, придется переводить на железнодорожный и автомобильный транспорт. Капиталовложения, вкладывавшиеся на протяжении более полувека в гидроузлы, судоходные шлюзы, хозяйство

пристаней, судоходные пути, будут омертвлены.

Спуск водохранилищ потребует полного переустройства водоснабжения и транспортного обеспечения десятков городов, тысяч сельских населенных пунктов и промышленных предприятий.

Потребуется перебазировать тысячи домов отдыха, санаториев, пансионатов и детских лагерей, располагающихся сейчас, как правило, в живописных местах на берегах водохранилищ.

При высоких половодьях и паводках окажутся в зонах затоплений десятки тысяч самых различных сооружений и сооружений, дорог, линий электропередачи и связи, трубопроводов и других объектов, находящихся в нижних бьефах гидроузлов, в Волго-Ахтубинской пойме и дельте Волги.

На десятилетия Волга и Кама превратятся в сточные каналы, так как ко всем выбросам, попадающим сейчас в водохранилища, прибавятся загрязнения, покоящиеся на их дне.

Освобожденные от воды земли без немедленных агротехнических мероприятий будут представлять существенную угрозу для окружающих территорий в связи с возможностью пыльных бурь.

Дно водохранилищ после их спуска станет весьма мозаичной картиной песчаных и илистых площадей с вкрапленными в них отдельными участками плодородных почв. На значительных массивах окажется затопленный лес, не выкорчеванные пни и т.п.

На протяжении многих лет в целях восстановления плодородия и очищения почв от отложений солей тяжелых металлов, биогенных элементов потребуется рекультивация земель.

Триллионы капиталовложений нужно будет потратить на строительство населенных пунктов, промышленных предприятий, дорог, линий электропередачи и связи и т.п.

«Ну, хорошо, — скажут некоторые читатели. Вы убедили нас, что ликвидировать сейчас Волжско-Камский каскад дело нереальное и нецелесообразное. Но спустить отдельные водохра-

нилища, в частности Рыбинское, затопившее так много сельскохозяйственных земель, вероятно, все же следует». Должен признаться, что отношение у меня к этому водохранилищу несколько личное. В 1952 г., когда страна залечивала нанесенные войной раны и повсюду ощущался острый недостаток электроэнергии, правительством было дано задание изучить вопрос о возможности повышения отметки нормального подпорного уровня (НПУ) этого водохранилища на 2 м, чтобы повысить выработку электроэнергии Рыбинской гидроэлектростанцией. Руководить этой работой было поручено мне, тогда еще совсем молодому инженеру. Обследование местности и изучение карт, проведенные совместно с техником И.Я.Канцеровским, показали, что эффективность этого мероприятия будет невелика по сравнению с дополнительным затоплением больших массивов сельскохозяйственных земель, и переселением жителей из многочисленных населенных пунктов, расположенных на берегах водохранилища. Нецелесообразность повышения отметки НПУ водохранилища была признана.

Прошло много лет. И вот волею судеб я оказался председателем экспертной подкомиссии Госплана СССР, которая рассматривала проект повышения эффективности использования Рыбинского водохранилища. При рассмотрении проекта возник вопрос о спуске водохранилища, довольно часто обсуждавшийся в то время в печати. Более 30 квалифицированных экспертов занимались возможными последствиями. Насколько мне известно, это было первое у нас в стране рассмотрение проблемы спуска крупного водохранилища на таком высоком уровне. Если рассказывать об основных результатах, отмеченных подкомиссией, пришлось бы повторить практически все то, что перечислено выше, когда идет речь о спуске каскада — только энергетические потери будут меньшими. При спуске одного Рыбинского водохранилища выработка ГЭС Волжского каскада в зимний период,

т.е. в то время года, когда потребности в электроэнергии наибольшие, уменьшится на 2,5 млрд кВт·ч. Без водоснабжения и транспортного обеспечения останутся населенные пункты и предприятия, в их числе один из крупнейших металлургических комбинатов страны — Череповецкий. Существенный урон будет нанесен рыбному хозяйству района, а также перелетным птицам, облюбовавшим этот водоем для отдыха в период миграции с юга на север. Десятки и сотни миллионов рублей потребуются для защиты от наводнений городов, расположенных ниже Рыбинского гидроузла, и в первую очередь Рыбинска и Ярославля, надежно защищенных от этого стихийного бедствия Рыбинским водохранилищем.

К тому же спуск водохранилища потребует проведения серьезных проектно-изыскательских, научных и строительных работ, затраты на которые будут измеряться многими сотнями миллионов рублей. Ратующие за спуск полагают, видимо, что для этого надо лишь открыть затворы плотины и вскоре страна получит прежние заливные луга, пахотные угодья и милые нашему сердцу березовые рощи. Но, к сожалению, это не так. Мы получим пустынную землю, на которой нет ни населенных пунктов, ни дорог, ни линий электропередачи и связи — ничего.

ЧТО МОЖЕТ ДАТЬ СНИЖЕНИЕ УРОВНЯ

Наиболее детально вопрос снижения НПУ был проработан группой проектных институтов страны на примере Куйбышевского водохранилища. Это — самый крупный по площади и объему водоем в Волжско-Камском каскаде и основной регулятор стока в бассейне. Волжская ГЭС вырабатывает более четверти всей его электроэнергии. Как важное звено в единой глубоководной системе европейской части России водохранилище сыграло существенную роль в улучшении водоснабжения городов и сельских населенных пунктов. Из

него вылавливается (с учетом любительского лова) около 200 тыс. ц рыбы. Оно обеспечивает дополнительную выработку электроэнергии на Саратовской и Волгоградской гидроэлектростанциях. Оно защищает от катастрофических наводнений долину Волги, создает условия для перевозки в крупнотоннажных судах грузов в низовьях реки и по Волго-Донскому каналу, обеспечивает орошение сотен тысяч гектаров на Нижней Волге (52 тыс. га непосредственно на берегах водохранилища).

При снижении нормального подпорожного уровня на 10 м (как того требовали) создается возможность освободить от затопления 184 тыс. га сенокосов и 62 тыс. га пашни. Однако, чтобы ввести эти площади в сельскохозяйственный оборот, потребуется большой объем работ, который оценен в 3 млрд руб. При этом в связи с уменьшением в три раза емкости водохранилища и невозможностью поддерживать на Нижней Волге судоходные глубины понадобятся проложить новые трассы судового хода общей протяженностью около 800 км, построить новые грузовые порты в Ульяновске и Тольятти, а также большое число причалов, переустроить существующие судоремонтные заводы, создать новые акватории зимнего отстоя флота. Снижение судоходных глубин на участке Волгоград—Астрахань вызовет необходимость осуществлять перевозки на малотоннажных судах. На строительство таких судов, а также портов по перевалке грузов, второй нитки Волго-Донского судоходного соединения нужно будет вложить еще около 5 млрд руб. Общая потеря выработки электроэнергии на Куйбышевской, Саратовской и Волгоградской ГЭС составит 5700 млн кВт·ч, а зимняя гарантированная мощность уменьшится на 290 МВт. Само собой разумеется, что придется переустраивать все водозаборы, водовыпуски и многое, многое другое. Думаю, что больше не следует испытывать терпение читателя перечислением многочисленных фактов, мероприятий и цифрами капиталовложений.

Итак, спуск водохранилищ Волжско-Камского каскада (всех или неко-

торых из них), а также снижение отметок НПУ не только не решит никаких экологических и экономических проблем, а приведет к полному разрушению создававшихся десятилетиями хозяйственных систем, обусловит уменьшение, в особенности в меженный период, разбавляющей и самоочищающей способности рек, вызовет повышение амплитуд колебания загрязняющих веществ в поверхностных водах, усилит дефицит водных и энергетических ресурсов, разрушит сложившиеся транспортные системы, инфраструктуру, потребует колоссальных капиталовложений на переустройство всего и вся и тем самым резко ухудшит социальную, экологическую и экономическую ситуацию не только в регионе, но и России в целом.

ЧТО ЖЕ ДЕЛАТЬ?

Было бы несправедливо считать, что для улучшения ситуации ранее ничего не предпринималось. Но многие правильные рекомендации не выполнялись из-за отсутствия средств, техники, должного контроля. Кроме того, практически не учитывалась необходимость комплексного подхода, бассейнового принципа, когда отдельные мероприятия проводятся для блага всего бассейна Волги. Недостаточно понималась роль научных исследований, подготовки кадров в области охраны природы, образования, воспитания и просвещения населения. Список того, что не делалось, а делать было необходимо, можно продолжить.

Чтобы оздоровить ситуацию в бассейне нужен целый комплекс социальных и технических решений. Очевидно, что необходимо установить лимиты на использование водных ресурсов, отказаться от использования рек и водохранилищ в качестве приемников загрязненных сточных вод; выработать критерии оценки качества воды и донных осадков; увеличить площади заповедных территорий. Наконец, давно уже пришло время создать оптимальный механизм управ-

ления водными ресурсами и водохранилищным комплексом. Но это уже другая тема.

Замечу также, что режим работы водохранилищ каскада затрагивает интересы многих отраслей хозяйства на огромной территории. Так, принятие того или иного режима попусков из водохранилищ Волжско-Камского каскада, в особенности в период весеннего половодья, может привести к потере или дополнительной выработке миллиардов киловатт-часов электроэнергии, получению или потере сотен тысяч центнеров высококачественной рыбы, миллионов центнеров сена, срыву перевозок миллионов тонн грузов.

Учитывая, что современный эксплуатационный режим — результат многоэтапных согласований и увязки межотраслевых и внутриотраслевых противоречий, любые изменения этого режима не могут быть проведены без серьезных научных исследований и обоснований.

Изучение водохранилищ показало, что экосистемы многих из них формировались под влиянием инженерных решений, направленных на оптимальное использование создаваемых водоемов — прежде всего в интересах энергетики, водного транспорта, ирригации и борьбы с наводнениями. Вот почему они не могут «производить» воду высокого качества и не обладают высоким биопродукционным потенциалом.

Как бы тщательно ни проводились мероприятия по подготовке и эксплуатации водохранилищ, удовлетворить разнообразные требования различных отраслей народного хозяйства невозможно. Это объясняется, с одной стороны, межотраслевыми, а нередко и внутриотраслевыми противоречиями в требованиях к параметрам, подготовке ложа, режима эксплуатации, а с другой — многообразием природных и хозяйственных условий на разных водохранилищах и их отдельных участках.

Для разрешения многочисленных противоречий при подготовке и экс-

плутации водохранилищ и превращения их в хранилища чистой воды и производителей биопродукции (наряду с осуществлением хорошо известных организационных, технологических, экономических и экологических мероприятий) нами разрабатывается концепция, состоящая из трех взаимосвязанных элементов.

Во-первых, необходимо придать водохранилищам статус биогеосистемы, основная задача которой — производство воды надлежащего качества для обеспечения нормального функционирования водных и наземных экосистем. Это в первую очередь относится к равнинным водохранилищам, расположенным в освоенных районах с высокой плотностью населения.

Во-вторых, все виды хозяйственного использования водохранилищ, в том числе и регулирование ими стока, должны осуществляться лишь в пределах, не ведущих к нарушению нормального функционирования экосистем.

И в-третьих, необходимо улучшать использование и охрану акваторий и береговых зон водохранилищ. Для этого следует провести районирование, планировку и обустройство этих зон.

В условиях децентрализации денежных и материальных ресурсов практическое применение предлагаемого подхода приобретает особо важное значение, поскольку позволяет оптимизировать природопользование как в границах отдельных водных объектов, так и их участков, соотносясь с материально-техническими возможностями каждого конкретного ре-

гиона в те или иные годы.

На примере Волги и других крупных речных бассейнов мира мы видим, что природа из фона исторических событий превращается в действующий персонаж человеческих трагедий. Как бы нам этого ни хотелось, мы вынуждены признать, что будущее у человечества может быть только в том случае, если оно найдет способы быть в равновесии с биосферой, а для этого человек обязан, по выражению Н.Н.Моисеева, жить в рамках определенного экологического и нравственного императива. Наиболее приемлемый путь выхода из создавшейся ситуации — незамедлительная разработка и реализация переходной программы изменения взаимоотношения общества и окружающей среды. Для этого необходимы технико-технологическое перевооружение и утверждение в сознании людей новой нравственности.

Реализация предлагаемой нами концепции использования внутренних водоемов делает, как мы полагаем, существенный шаг в направлении более эффективного использования ресурсов.

В бассейне Волги расположились земли 8 республик и 29 областей, а также столица России — Москва. Поэтому рационально использовать ресурсы можно только путем согласования водоохранной и водохозяйственной деятельности. Вот почему сейчас придается большое значение научному обеспечению Волжского бассейнового соглашения и разработке федеральной программы «Возрождение Волги», которые несомненно будут этому способствовать.

Каменные лабиринты на Новой Земле

В. Н. Калякин



Владимир Николаевич Калякин, кандидат биологических наук, научный сотрудник кафедры биогеографии географического факультета Московского государственного университета им. М. В. Ломоносова. Участник многочисленных экспедиций, в том числе на острова Северного Ледовитого океана. Неоднократно публиковался в «Природе».

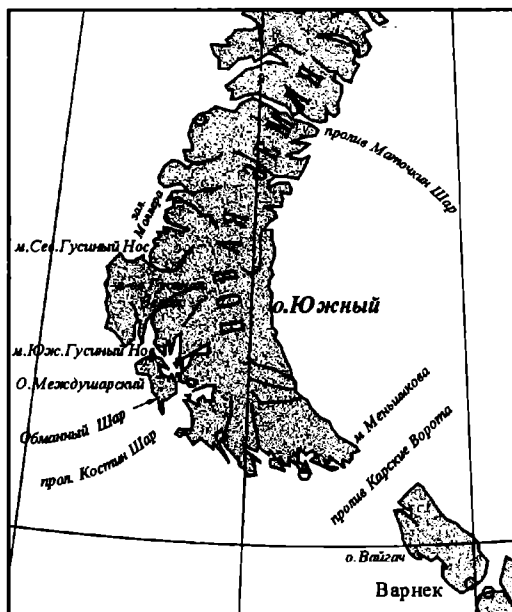
ЛЕТОМ 1997 г. наша экспедиция работала на Новой Земле. На п-ове Медном восточного побережья пролива Костин Шар (он отделяет о.Междушарский от о.Южного) мы обнаружили два каменных лабиринта — до сих пор на архипелаге они были неизвестны.

Каменным лабиринтом называют сооружение древнего человека, выложенное на земле в виде сложной фигуры, составленной из двух встречных спиралей. Их размеры варьируют от 5—6 до 30 м в диаметре. Каменные лабиринты классического типа в своей центральной части включают крест. Они известны в Ирландии, Англии, Швеции, Норвегии, на севере Кольского п-ова и в Финляндии. Каменные лабиринты упрощенного типа — без крестообразного пересечения в центральной части — распространены по островам и побережьям Белого моря, в Финляндии, на севере Германии. Несмотря на то, что к настоящему времени число известных лабиринтов приближается к 150, их «авторы», предназначение и возраст остаются невыясненными, хотя существует множество предположений на этот счет.

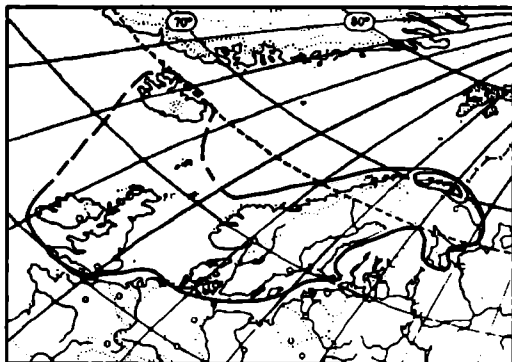
Лабиринты Новой Земли относятся к классическому типу. Один из них, наиболее сохранившийся, был найден М.Н.Ивановым. Второй, обнаруженный мной на противоположном берегу того же залива, частично разобран: его камни использовались кем-то на обкладку большой четырехугольной палатки, которую ставили в 25—30 м от лабиринта. В результате от него осталась лишь входная часть и отдельные фрагменты концентрических спиралей. Диаметр первого лабиринта — 12—13 м, другой — несколько меньших размеров. Хотя общее их расположе-

ние по отношению к береговой линии различно, входы у обоих ориентированы на запад. Оба сооружения удалены на 30—40 м от моря и находятся на низкой (около 4 м над ур.м.) первой морской террасе с гравийно-галечниковой поверхностью. Чуть севернее первого из них на той же террасе расположено несколько каменных выкладок меньшего размера кольцевой или округлой формы. Для них использованы такие же камни, что и для сооружения лабиринтов: преимущественно сильно уплощенные, диаметром в основном от 20 до 40 см. В этих, возможно, более ранних по сравнению с лабиринтами выкладках некоторые камни сильно растрескались, а один из них, сохраняя еще внешний контур, уже почти не различим в окружающем мелкогравийном субстрате: достаточно наступить человеку или животному, чтобы камень окончательно «растворился» в окружающем гравии. Скорее всего именно по этой причине имеется и целый ряд нарушений изначального расположения камней внутри в общем-то целого лабиринта.

Кроме того, в 300—400 м от первого лабиринта на каменистом гребне я обнаружил примитивное полуобвалившееся жилище, стены которого были выложены из крупных камней. Верхняя часть этого сооружения скошена с юга на север, а вход в него располагался с запада. Вероятно, жилище накрывалось сверху жердями, шкурами и дерном, остатков которых не сохранилось. От него уклон гребня к морю становится круче, и отсюда открывается широкий обзор морской акватории и прилежащего побережья. До берега моря — около 200 м, причем имеется крошечный заливчик, закрытый сушей от северных ветров, с пологим ровным спуском к воде. Эта бухточка весьма удобна при использовании любого легкого плавсредства. Несколько выше по гребню можно пройти к ближайшему пресному озеру, расположенному в 120—150 м. Рядом с жилищем расположено несколько небольших участков с хорошо развитым почвенно-растительным покровом,



Карта-схема южной части Новой Земли. Место, где обнаружены каменные лабиринты и остатки жилища, показано цветным кружком.

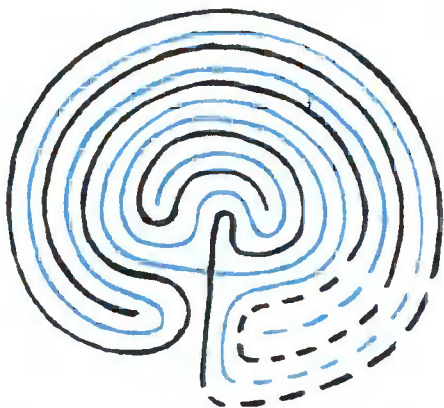


Область распространения каменных лабиринтов. Сплошной черной линией очерчена известная зона их нахождения, штриховой — предполагаемая (Исландия), цветной линией обведен район наибольшей концентрации каменных лабиринтов классического типа и известных стоянок мезолитической культуры комса.



Каменный лабиринт, найденный М.Н.Ивановым на Новой Земле.

Фото М.Н.Иванова



Стилизованная реконструкция этого же лабиринта, сделанная автором (штрихом изображены сильно нарушенные участки).

резко отличающимся от окружающего голого каменистого субстрата. Вероятно, именно здесь длительное время разделяли добычу или же находились ямы-хранилища для мяса и рыбы. Накопившаяся органика с течением времени и дала основу для образования микрооазисов.

От местных рыбаков нам стало известно, что на берегу оз. Нехватова (в относительно недавнем прошлом оно было морским заливом) имеется еще один лаби-

ринт. Поэтому достаточно велика вероятность найти в будущем в прибрежной полосе архипелага и другие сооружения древних жителей Новой Земли: ведь работой нашей экспедиции был охвачен лишь небольшой участок побережья.

О ЧЕМ СВИДЕТЕЛЬСТВУЮТ НОВОЗЕМЕЛЬСКИЕ ЛАБИРИНТЫ?

Обнаружение каменных лабиринтов на юге Новой Земли не только



Участники экспедиции рядом с хорошо сохранившимся лабиринтом.

Фото Е.Ю.Замесовой



Эта семейка в течение нескольких часов отдыхала вблизи найденного лабиринта.

Фото М.Н.Иванова



Так выглядят остатки сложенного из камней жилища, найденного вблизи лабиринта, и один из микроазисов рядом с ним.

Фото Е.Ю.Замесовой



Северный олень. Следы оленей мы видели в нескольких метрах от лабиринта.

Фото М.Н.Иванова

существенно расширяет известный ранее ареал этих сооружений на восток. Эта находка уже сейчас позволяет по-новому подойти и к попытке ответа на вопрос: кто же их выкладывал?

Подавляющее большинство исследователей считает, что до проникновения на Новую Землю русских (самое раннее упоминание об этом в Европе относится к концу XV в.) никакого населения на архипелаге не было. О сезонных промыслах поморов и ненцев становится известно в XVI в. благодаря экспедициям С.Барро и В.Баренца.

Существует лишь одна публикация, в которой приводятся сведения о непосредственных встречах с местными жителями — не поморами и не ненцами. Французский врач П.Ламартиньер, совершивший путешествие на Новую Землю в 1653 г., свидетельствует¹, что эти люди вели образ жизни, сходный с эскимосским или алеутским. Их летние одежды были сшиты из птичьих шкур, а обувь — из шкур «морской коровы» (так у Ламартиньера). Они плавали на легких кожаных лодках (в книге приведен рисунок, на котором такую лодку переносит на плече один охотник), а их вооружение составляли копья, гарпуны, остроги и луки со стрелами.

На участке побережья, где были встречены местные жители, стояло несколько идолов, изготовленных из высоких древесных пней (в описании дан соответствующий рисунок), причем Ламартиньер пишет, что здесь же росли и отдельные низкорослые сосны. Вероятно, за сосну была принята лиственница Сукачева, несколько на нее похожая. Отметим, что это единственное свидетельство о наличии на юге Новой Земли еще в середине XVII в. деревьев представляет исключительный интерес и безусловно нуждается в специальной проверке.

Ламартиньер пишет, что дважды,

примерно с недельным перерывом, они высаживались на Новую Землю в одном и том же месте, где и видели аборигенов. В первый раз вступить с ними в контакт не удалось, так как эти люди проворно скрылись в глубь острова. При второй же высадке часть экипажа судна устроила в береговой пещере засаду, и в результате удалось захватить мужчину и женщину, высадившихся с лодки (в дальнейшем их увезли в Европу). Надо сказать, что пещеры на Новой Земле крайне редки. Помимо указания Ламартиньера мне известно еще лишь одно упоминание о них: в районе Обманного Шара, вблизи южной оконечности о.Междушарский², т.е. всего лишь в 35—40 км от найденных нами лабиринтов и жилища.

Однако, если обратиться к рассказам многочисленных поморов — корреспондентов И.И.Лепехина — о Новой Земле, мы не найдем в них никаких сведений об обитавших на ней ранее жителях, хотя некоторые промышленники ссылались не только на свой опыт, но и — своих отцов и дедов³. Вероятно, именно за период с середины XVII до начала или середины XVIII в. аборигены с Новой Земли исчезли. Скорее всего они были уничтожены.

Поскольку они располагали весьма примитивными лодками, не пригодными для плавания в открытом море, наиболее благоприятным для них и, видимо, единственным новоземельским районом, где они могли при тогдешнем изобилии морского зверя существовать, был пролив Костин Шар. От

² Носилов К.Д. На Новой Земле. СПб, 1903. Ссылаясь на рассказ ненца (начало 80-х годов прошлого века), автор пишет, что в стародавние времена здесь в пещерах, т.е. у Обманного Шара, «жила чужь белоглазая». На мой взгляд, не стоит придавать серьезного значения указанной «этнической» принадлежности обитателей пещер, тем более что, согласно рисункам и описаниям Ламартиньера, местные жители не походили на европеоидов: они были черноволосые, с широкими уплощенными лицами, темноглазые, с сильно пигментированной кожей, низкорослые и коренастые.

³ Лепехин И.И. Дневные записки путешествия доктора и Академии наук адъюнкта Ивана Лепехина по разным провинциям Российского государства. Ч.1—4. СПб, 1771—1814.

¹ Ламартиньер П. Путешествие в северные страны (1653) // Зап. Моск. археол. ин-та. М., 1912. Т.XV.

собственно Баренцева моря он защищен о.Междушарским, а его внутренняя акватория изобилует мелкими островами, что безусловно делает плавание по нему даже на утлых суденышках относительно безопасным. Проникнуть же эти люди могли сюда с севера Кольского п-ова по кромке сезонных льдов, причем не целенаправленно, а во время постоянных охот на морского зверя. Кстати, именно таким путем гораздо более обширный ареал в свое время освоили эскимосы, расселившиеся из тундр Канады до Гренландии и побережья Чукотки.

В связи с этим исключительный интерес представляет еще более раннее свидетельство, правда косвенное, о постоянно обитавших на Новой Земле в конце XVI в. людях. Участник 1-й и 2-й экспедиций В.Баренца голландец Я.Г.ван Линсхоттен сообщает, что 30—31 августа 1595 г., когда судно стояло в Вайгачем проливе (т.е. в проливе Югорский Шар), он из разговора с ненцами узнал, что их с севера Вайгача «прогнали люди с Новой Земли, за что они им отомстят, когда представится случай»⁴.

Вообще же ненцы и поморы в разговорах с голландцами неоднократно подчеркивали сезонный характер своего пребывания на Вайгаче и на Новой Земле, куда они отправлялись ежегодно на промыслы (к тому же у ненцев на Вайгаче были и святилища — на севере и на юге этого острова)⁵. Таким образом, ясно, что контакты аборигенов Новой Земли с ненцами, да, вероятно, и с поморами, не всегда были мирными, а явное превосходство последних в вооружении скорее всего и решило в конце концов участь первых. В XVIII в. Костин Шар уже практически полностью был освоен поморами под сезонные промыслы.

В ПОИСКАХ ПОДХОДЯЩЕГО ЭТНОСА

Существует предположение археолога Н.Н.Гуриной о саамском (лопарском) происхождении каменных лабиринтов⁶. Однако новоземельские и другие находки никак в эту гипотезу не укладываются. Во-первых, ареал этих сооружений значительно шире ареала саамов. Во-вторых, именно в пределах последнего (Беломорье, часть Финляндии) помимо классического типа широко распространен упрощенный тип лабиринта, что свидетельствует о явном заимствовании его у другой культуры. И, наконец, исходно саамы — это оленеводы, явившиеся первой волной самодийцев, выходцев из северных районов Центральной Азии и освоивших тундровые и северотаежные районы между Западным Таймыром и севером Скандинавии⁷. Для них частичное освоение прибрежно-морских экосистем было вторичным, как и знакомство с каменными лабиринтами.

Получается, что лабиринты Новой Земли могут быть связаны лишь с обитавшими здесь еще до поморо-ненецкой экспансии прибрежно-морскими охотниками, о которых уже сказано выше. По моему мнению, эти люди на Новой Земле — прямые потомки представителей мезолитической культуры комса или родственной ей культуры фосна. Первая из них была распространена на крайнем севере Кольского п-ова и Скандинавии, а вторая в более южных прибрежных районах современной Норвегии. Полагают, что обе эти культуры исходно связаны с первобытными охотниками на дикого северного оленя⁸. Эти

⁴ Линсхоттен Я.Г. ван. Нидерландские экспедиции к северным берегам России в 1594—1595 гг. // Зап. по гидрографии. Петроград, 1915. Т. XXXIX. Вып. 4.

⁵ Хлобыстин Л.П. Древние святилища острова Вайгач // Пробл. изучения ист.-культ. среды Арктики. М., 1990.

⁶ Гурина Н.Н. История культуры древнего населения Кольского полуострова. СПб, 1997.

⁷ Хомич В.В. Ненцы. Историко-этнографический очерк. М.; Л., 1996; Помишин С.Б. Происхождение оленеводства и доместикация северного оленя. М., 1990.

⁸ Монгайт А.Л. Археология Западной Европы. Каменный век. М., 1973; Шумкин В.Я. Влияние природно-экологического фактора на заселение арктических районов северо-запада Европы // Пробл. изучения ист.-культ. среды Арктики. М., 1990.

культуры существовали с 8-го тысячелетия до н.э. до середины 1-го тысячелетия до н.э. Кстати, именно в это время в пределах своего нынешнего ареала и Карелии появляются саамы, существовавшие уже за счет хозяйства производящего типа — оленеводства, к тому же располагавшие «транспортным» домашним оленем. И, видимо, отнюдь не случайно в это же время исчезают поселения прибрежно-морских охотников и собирателей культур комса и фосна.

Но представители этих культур вряд ли были уничтожены полностью. С одной стороны, именно в прибрежно-морской полосе происходила взаимоассимиляция их с саамами, с другой — вытеснение, в том числе и за пределы исходного ареала на восток вплоть до Ямала⁹ и Новой Земли. Имеется еще один аргумент в пользу связи новоземельских лабиринтов и каменных лабиринтов культуры комса. Только в захоронениях последней, как на севере Кольского п-ова, так и в северной Норвегии, стилизованное изображение лабиринта наносилось на погребальные гребни, вырезавшиеся из кости или рога.

О ВЕРОЯТНОМ ВЛИЯНИИ АНТИЧНЫХ КУЛЬТУР

Помимо Северной Европы, для некоторых областей которой характерны лабиринты, выложенные из камней и даже дерна (последние, естественно, еще менее долговечны), сама фигура лабиринта известна во многих странах, особенно в Восточном Средиземноморье. У древних греков и римлян слово лабиринт (*labyrinthus*) означало сооружение с многочисленными запутанными ходами («дом блужданий» или подземное царство). Наиболее известны лабиринт египетский — заупокойный храм фараона Аменемхета III

(1840—1792 гг. до н.э.), критский, лемносский и итальянский лабиринты, представлявшие собой громадные сооружения. Лабиринты часто изображались на надгробиях, стенах и полах храмов, на монетах. Более простые изображения, с начертаниями которых ряд авторов связывает происхождение в конце концов сложной фигуры лабиринта, известны с позднего палеолита, а исходный смысл этого изображения символизирует «дом-крепость бога преисподней» (в разных вариантах)¹⁰.

Показательно, что лабиринт классического типа, связанный с ритуалом захоронения, из Средиземноморья распространяется не только на восток — Кавказ, Среднюю Азию, Индию и Индонезию (а близкое ему изображение наносится на могильные плиты болгарскими и дагестанцами), но и на запад — от крайнего севера Южной Америки до Мексики, т.е. в страны, куда хоть и крайне редко, но все же проникало влияние античных культур. Характерно, что на местной индейской почве укореняется местами именно этот элемент, связанный с захоронением умерших. Так, в 1800 г. А.Гумбольдту во время путешествия по р.Ориноко местные индейцы показывают в пещере Атаруипе захоронение исчезнувшего племени, на погребальных урнах которого, выполненных из полубоженной глины, имелись изображения лабиринтов классического типа.

Поэтому не удивительно, что лабиринт, символизирующий подземное царство, потусторонний мир, обитель мертвых, играет важную роль при обряде захоронения и через него — обеспечения «правильного» пути душ умерших и их достойной загробной, и тогда уже бессмертной, жизни, что важно и для живых родичей, поскольку души усопших могут различно «относиться» к ним.

У ряда традиционных этносов с племенным укладом анимистические (от лат. *anima* — дух, душа) представ-

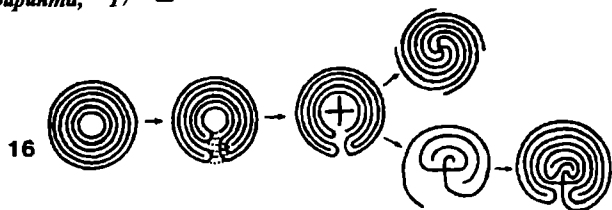
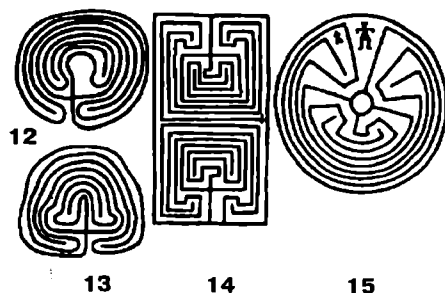
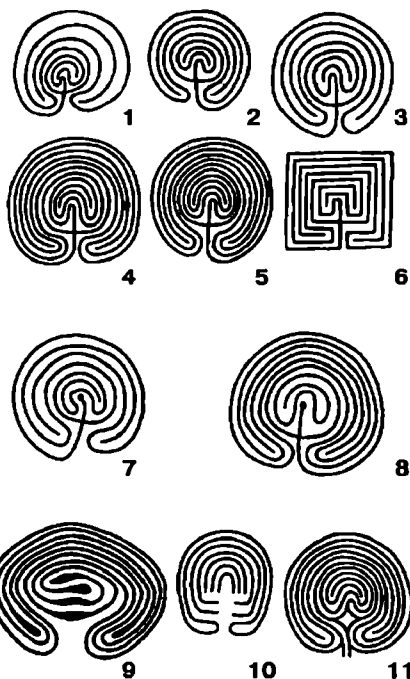
⁹ Чернецов В.Н. Древняя приморская культура на полуострове Ямал // Сов. этнография. 1935. № 4—5; Лашук Л.П. Сиртя — древние обитатели Субарктики // Пробл. антропологии и ист. этнографии Азии. М., 1968.

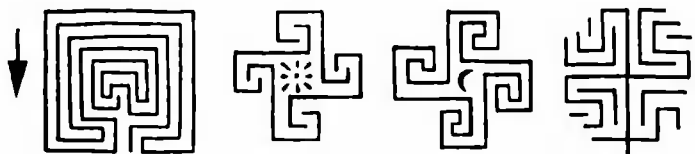
¹⁰ Голан А. Миф и символ. М., 1992.

ления сохраняются до современности (у ненцев, манси, эскимосов и многих других), но особенное значение и наиболее широкое распространение они имели в прошлом. Вообще захоронение (погребение), возникнув как преднамеренный обряд и ритуал еще в самом конце среднего палеолита, на протяжении последующей истории наших предков в течение десятков тысячелетий оставалось для них необходимой процедурой обеспечения загробной жизни, и масса примеров демонстрирует, что на это не жалели никаких затрат, времени и труда: так создавались курганы, грандиозные гробницы и египетские пирамиды. Поэтому и соответствующий опыт чужих этносов именно в этой сфере человеческой деятельности воспринимался успешнее, чем в других областях.

Попытки выяснить связь каменных лабиринтов Северной Европы с захоронениями предпринимались давно и неоднократно, но безуспешно. Однако это отнюдь не означает, что на

Лабиринты. Рисунки из книги А. Галана «Миф и символ» (М., 1992). Классические лабиринты в Европе: 1 — изображение на этрусском сосуде (VII в. до н.э.); 2 — изображение на критской монете (I в. до н.э.); 3 — каменная выкладка (Англия); 4 — каменная выкладка на о. Готланд (Швеция); 5 — каменная выкладка (Финляндия); 6 — древнегреческое изображение (ок. 1200 г. до н.э.). Неполные лабиринты: 7 — изображение на резном камне (Северная Осетия); 8 — каменная выкладка (Финляндия); 9 — лабиринт Соловецкого о-ва; 10 — каменная выкладка на Соловецком о-ве; 11 — выкладка из дерна в Германии; 12—15 — рисунки индейцев Северной Америки; 16 — гипотетическая эволюция лабиринта; 17 — способ построения лабиринта.

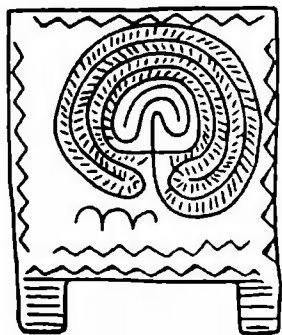




Лабиринтообразные фигуры с символами бога земли (о.Крит, 3—1 тыс. лет до н.э.).



Рисунок на этрусском сосуде (VII в. до н.э.).



Изображения лабиринтов, утративших исходный смысл и сохранившихся в качестве украшения: 1 — на стене в селе Хиндах (Дагестан); 2 — на соломке из Аварии.

лабиринтах или перед ними не могли совершаться определенные ритуальные действия, после которых покойников погребали в удалении от них.

На о.Бали (Индонезия) и сегодня, перед тем как кремировать останки усопшего, его ближайшие родственники, несущие гроб с мумифицированным телом, проделывают путь, повторяющий маршрут внутри классического лабиринта, хотя сама эта фигура ничем на земле не обозначается. Все это сопровождается сложнейшим ритуалом — своего рода хорошо подготовленным театрализованным представлением, в котором участвуют сотни людей. После завершения обряда сожжения начинается праздник, длящийся до следующего утра. По представлениям этих людей, такой обряд всегда будет помогать оставшимся в живых, а его нарушение чревато опасностями.

В условиях Новой Земли с исключительно коротким летом, абсолютным преобладанием каменистых субстратов и наличием мерзлоты погребение усопших могло иметь специфические особенности. Кстати, часть камней небольших выкладок, обнаруженных по соседству с одним из лабиринтов (в 60—150 м), сильно растрескалась (вполне возможно, что другие совсем разрушились), и, возможно, это обусловлено контактом с огнем (каменные плиты самих лабиринтов подобных нарушений не имеют). Именно на них могли сжигать трупы, готовить ритуальную пищу, наконец, просто вытапливать жир из добытых морских зверей, предварительно разделав их у самого берега, — все эти выкладки находились в нескольких десятках метров от уреза воды.

Итак, анализ имеющихся сведений, лишь частично приведенных выше, свидетельствует о том, что исходное предназначение лабиринта тесно связано с обрядом погребения, обеспечения перехода души усопшего в потусторонний мир, к загробной жизни. В течение веков и тысячелетий первоначальный смысл и предназначение этого символа могли трансформироваться или даже утрачиваться.

Таким образом, каменные лабиринты Северной Европы, включая и Новую Землю, — это скорее всего — «облегченная» модель «дома блуждающий», генетически связанная с Восточным Средиземноморьем и античным миром, а возможно, и непосредственно с Троей (ведь Троя по-гречески и Труйя по-этруски — лабиринт). Согласно исландским сагам, родословная их героев восходит к Одину — одному из потомков троянского царя Приама, — совершившему вместе с другими (например, Брутом, или Бриттом, колонизовавшим Британию) исход из павшей Трои около 1260 г. до н.э.

Именно таким образом, кстати, можно объяснить распространение каменных лабиринтов из Восточного Средиземноморья по столь значительному ареалу (помимо уже перечисленных регионов они, вероятно, были и в Исландии). Ограниченные по численности общины колонистов, тем более на начальных этапах освоения земель (которое в большинстве случаев, по-видимому, завершалось неудачей), и не могли создавать мощных культовых сооружений. Они были вынуждены заменять их сильно упрощенными постройками из крупных камней (например, Стоунхендж в Англии) или даже чисто символическими (каменные лабиринты, а позднее, вероятно, и сейды — каменные кольца) моделями.

По-видимому, ритуал погребения, связанный с каменными лабиринтами, параллельно был усвоен местными жителями. Не удивительно, что больше всего каменных лабиринтов — в ареале культуры комса на крайнем севере Скандинавии и Кольского п-ова, наиболее длительно находившемся в относительной изоляции. Поэтому именно здесь аборигенный этнос — носитель еще мезолитической культуры — сохранялся наиболее долго уже на фоне новой волны колонизации — скандинавов с юга и саамов с востока. Важно при этом подчеркнуть, что и те и другие пришельцы были уже носителями культур производящего типа, начинали использовать железные орудия, тогда как культура комса оставалась на уровне первобытного потребительства, продолжала использовать орудия из камня, кости и рога. Вероятно, именно эта двойная волна колонистов в конечном итоге и решила судьбу аборигенных первобытных охотников и собирателей, а не какие-либо иные причины. Новая Земля скорее всего явилась последним (или одним из последних) рефугиумом (убежищем) этого этноса, исчезнувшего на рубеже XVII—XVIII вв.

Высказанные здесь соображения имеют, безусловно, весьма предварительный характер. Очевидно, что требуются как дальнейшие археологические исследования обнаруженных памятников и поиск новых, так и организация их охраны. Особый интерес представляет найденное нами жилище, поскольку по радиоуглеродным датировкам имеющегося здесь слоя органики можно установить абсолютный возраст памятника.

Первые спектры, полученные Очень большим телескопом

В. Г. Сурдин,

кандидат физико-математических наук
Москва

НОВЫЙ телескопический прибор Европейской южной обсерватории (ЕЮО), расположенный в чилийской пустыне Атакама, на горе Сьерро-Параналь, быстро набирает силу. О строительстве этой гигантской системы, состоящей из четырех 8-метровых и трех 2-метровых телескопов, мы уже рассказывали¹. Летом 1998 г. вступил в строй первый из телескопов с диаметром главного монолитного зеркала 8,2 м. Строительство еще трех таких же телескопов будет завершено в 2001 г. Только тогда станет ясно, смогут ли они работать совместно как единый «многоглазый» инструмент, достойный своего названия — Очень большой телескоп (Very Large Telescope, VLT). Однако и сейчас уже нет сомнения в том, что проект оказался удачным: каждый из четырех огромных рефлекторов, даже работая в одиночку, даст астрономам уникальный материал. В этом убеждает высокое качество работы первого инструмента, на котором пока даже не закончены наладочные работы. Полученные на нем первые же снимки небесных объектов показали превосходное качество оптики и конструкции телескопа².

© В.Г.Сурдин

¹ Сурдин В.Г. Очень большой телескоп начал «смотреть» // Природа. 1998. № 12. С.58—60.

² ESO Press Photo 38a-e/98, 7 October 1998.

Однако качественное изображение объекта — лишь полдела для современного телескопа. Этот объект нужно исследовать, в первую очередь — спектральными методами. Новый телескоп будет снабжен несколькими штатными спектральными приборами. Осенью 1998 г. прошел приемные испытания первый из них — FORS (Focal Reducer / Low Dispersion Spectrograph), содержащий большой набор оптических элементов для всестороннего анализа света. Используя обычные светофильтры, он способен получать одноцветные изображения небесных объектов в широких спектральных диапазонах, а с помощью интерференционных светофильтров может дать изображение туманности или галактики в отдельной спектральной линии какого-либо химического элемента. Прибор снабжен также замысловатой комбинацией дифракционной решетки и призмы — так называемой гризмой (grism — от grating и prism), в которой штрихи дифракционной решетки нанесены на одну из граней призмы — таким образом взаимно компенсируются некоторые недостатки (абберации), вносимые в изображение спектра каждым из этих элементов в отдельности.

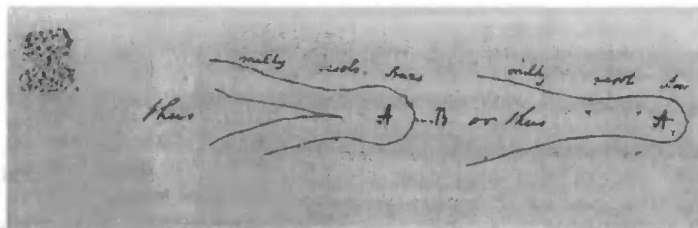
В первую же испытательную ночь FORS продемонстрировал свои многоцветные возможности, получив за 10,5 мин три изображения хорошо известной любителям астрономии плане-

тарной туманности «Гантель» (M 27, NGC 6853). Она находится в созвездии Лисички и удалена от Солнца примерно на 1000 световых лет. Первый ее снимок был сделан с экспозицией 5 мин в зеленой линии излучения дважды ионизованного кислорода ([OIII], 501 нм) при спектральной ширине фильтра 6 нм. Второй снимок, также с экспозицией 5 мин, получен в красной линии излучения водорода (H_α, 656 нм) при столь же узкой полосе фильтра. А третий снимок с экспозицией 30 с сделан в довольно широком спектральном интервале (88 нм), в синей области спектра (429 нм). Сложив с помощью компьютера три изображения, астрономы получили чрезвычайно выразительный цветной портрет этой туманности, демонстрирующий ее объемную структуру (см. фото на четвертой странице обложки журнала).

Любопытно сравнить этот снимок с рисунком той же туманности M 27, сделанным два столетия назад В.Гершелем. Сначала он думал, что туманности состоят из диффузного, не звездного вещества. Но наблюдения «Гантели», на фоне которой видны как яркие, так и слабые звезды, убедили его, что это «далекое кометообразное звездное скопление» (А), которое для наблю-

³ Страничка из дневника наблюдений Гершеля с его рисунком была опубликована в статье М.Хоскина о великом астрономе («Scientific American», Feb., 1986).

Рисунок туманности «Гантель», как ее увидел В.Гершель в 1784 г. при наблюдении в один из своих знаменитых телескопов (слева), и возможная, по его мнению, структура объекта (справа).



дателя (В) выглядит как смесь «разрешаемых» (близких) и «неразрешаемых» (более далеких) звезд³. Хотя с помощью новой техники мы неизмеримо улучшили качество изображений далеких объектов и в целом поняли их природу, еще многое в эволюции планетарных туманностей остается для астрономов загадкой. Например, не спрашивайте их, почему туманность М 27 похожа на гантель — этого пока не знает никто.

Но вернемся к испытаниям прибора FORS. В ту же ночь он продемонстрировал способность получать спектры сразу нескольких различных объектов. В прошлом, когда объективы телескопов были невелики, а светочувствительность фотопластинок — невысокой, регистрация спектра одной слабой звезды или галактики растягивалась на многие часы. Уже тогда возникла мысль получать одновременно спектры нескольких объектов, попадающих в поле зрения телескопа. Попытки реализовать ее, например, с помощью призмы, помещенной перед объективом телескопа, давали результат среднего качества. С появлением крупных телескопов от этой идеи вообще отказались — где найдешь призму, перекрывающую зеркало телескопа диаметром 5–10 метров? К

тому же возникла новая идея: с помощью световодов «выхватывать» из полученного телескопом изображения свет нужных звезд и направлять его в щель спектрографа. Так были созданы спектрографы, похожие на осьминогов, с вытянутыми к фокусу телескопа «щупальцами»-световодами. Один из таких приборов даже был назван «Ортопус», хотя, по-моему, он со своими глазами-щупальцами больше ассоциируется с улиткой, чем с осьминогом (по-англ. — octopus).

Итак, до создания высокоэффективного «разумного» спектрографа оставался последний шаг: научить «осьминога» двигать «щупальцами», чтобы быстро переводить «взгляд» с одной серии объектов на другую. Ведь у современного телескопа с огромным зеркалом и высокочувствительными приемниками света экспозиция длится лишь несколько минут; поэтому перенастройка прибора с одного объекта на другой занимает изрядную долю бесполезного времени, если эта процедура не автоматизирована. Оснатив «многоруким» (или «многоглазым»?) спектрограф компьютером, астрономы добились высокой эффективности работы 8-метрового телескопа, каждый час эксплуатации которого стоит весьма недешево. При-

бор FORS продемонстрировал способность получать одновременно спектры 19 звезд (или галактик), а затем самостоятельно и быстро переводиться на новую серию объектов. Поражает чувствительность нового прибора: детальные спектры 19 звезд, находящихся в Малом Магеллановом Облаке (соседней галактике!), были получены всего за 6 мин. Для этого прибора не проблема получить спектр объекта 25-й звездной величины, а ведь совсем недавно не удавалось даже просто регистрировать такие слабые объекты.

Нужно заметить, что и российские астрономы стараются использовать новые технологии: на нашем 6-метровом телескопе БТА Специальной астрофизической обсерватории РАН на Северном Кавказе тоже работает спектрограф-«осьминог», созданный энтузиастами в, мягко говоря, сложных бытовых и технических условиях. И неплохо работает. Хотя наш гигантский телескоп уступил свое мировое первенство инструментам нового поколения, он остается в первых рядах лучших астрономических приборов и работающие с ним ученые «на коленке» создают современную технику. Надолго ли хватит их энтузиазма?

Физика

Плазменные кристаллы из макрочастиц рождаются и на Земле, и в космосе

В плазме могут возникать (например, в результате конденсации) или искусственно в нее вводятся макроскопические частицы; обычно такую плазму называют аэрозольной, пылевой, гетерогенной или плазмой с конденсированной дисперсной фазой. Эти частицы, в свою очередь, способны заряжаться потоками электронов и ионов, а также за счет фото- или термоэмиссии электронов. Эмиссия электронов с поверхности частиц заставляет последние заряжаться положительно, при этом концентрация электронов в разряде повышается. Если же частицы захватывают электроны, то их заряд становится отрицательным, а концентрация электронов в плазме снижается.

Особенность плазмы с дисперсными частицами состоит в том, что благодаря относительно большим размерам частиц (от сотых долей до нескольких десятков мкм) их заряд Z_p также может достигать чрезвычайно больших величин — порядка 10^2 – 10^5 e (e — заряд электрона). В результате средняя кулоновская энергия взаимодействия частиц друг с другом, которая пропорциональна Z_p^2 , может намного превосходить их среднюю тепловую энергию. Плазма в таких условиях становится сильно неидеальной. Теоре-

тические расчеты равновесных свойств такой плазмы показывают, что в ней благодаря заметной межчастичной корреляции возможны фазовые переходы типа газ—жидкость—твердое тело. При определенных условиях расположение дисперсных частиц становится пространственно упорядоченным — аналогично структурам в жидкости или твердом теле. А поскольку достаточно большие частицы эффективно рассеивают свет даже при малой концентрации, изучение характера их упорядочения возможно с помощью различных оптических средств.

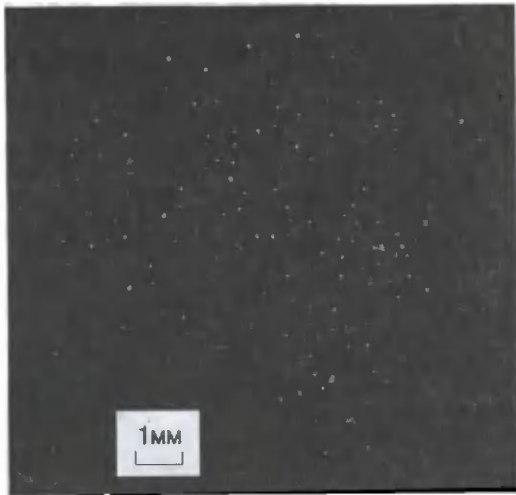
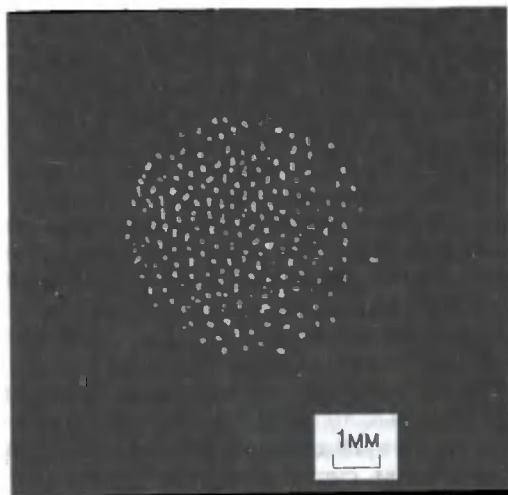
Так, недавно в высокочастотном разряде в газе с отрицательно заряженными частицами было обнаружено образование упорядоченных структур, получивших название плазменного кристалла. В типичных экспериментах, проведенных учеными Германии, США и Тайваня, в плазму вводились пылевые частицы с зарядом около 10^4 e , причем достигалось равновесие между гравитационными и электростатическими силами.

Начиная с 1995 г. в Научно-исследовательском центре теплофизики импульсных воздействий был проведен под руководством В.Е.Фортова и А.П.Нефедова цикл экспериментов по изучению упорядоченных структур в плазме, поддерживаемой постоянным током при низком давлении. Изучался также характер структур, формирующихся при различных меха-

низмах зарядки частиц (посредством термо- и фотоэмиссии).

В плазме с положительными заряженными частицами микронных размеров при термоэмиссионном механизме их зарядки эксперимент показал слабое упорядочение (типа жидкости), если давление было атмосферным, а температура около 1700 К. При низком давлении, ниже 1 Торр (1 Торр = 1 мм рт. ст.), т.е. в условиях тлеющего разряда, наблюдались квазикристаллические структуры дисперсных частиц. Из-за действия поля тяжести Земли упорядочение происходило в горизонтальной плоскости, а по вертикали частицы выстраивались в цепочки. Варьируя параметры плазмы, можно было изменять форму облака частиц в вертикальной плоскости.

Частицы способны приобретать положительный заряд и под воздействием интенсивного УФ-излучения, также образуя в определенных условиях квазикристаллические структуры. Эксперименты с пылевой плазмой, индуцированной УФ-излучением в условиях «компенсации» сил тяжести, позволяют моделировать естественные процессы образования плазменных кристаллов в космосе, где интенсивность УФ-излучения высока. Кроме того, в условиях подавленной гравитации может образовываться трехмерный кристалл, не деформированный силой тяжести. В таких исследованиях может быть лучше понят



Видеоизображения частиц Al_2O_3 в горизонтальной (слева; расстояние между частицами лежит в пределах 260—320 мкм) и вертикальной (справа; расстояние между слоями составляет 350—600 мкм) плоскостях при разрядном токе 1.15 мА и давлении неона 0.5 Торр.

характер взаимодействия частиц с учетом их возможного притяжения на больших расстояниях и, как следствие, формирования плаз-

менного кристалла со свободными границами.

Все это послужило основанием для постановки космического эксперимента «Плазменный кристалл» на орбитальном комплексе «Мир». Результаты, полученные в ходе двух этапов (январь и июль—август 1998 г.), еще продолжают детально анализироваться, но уже сейчас ясно, что в верхних слоях атмосферы при воздействии интенсивного солнечного излучения

исследуемые частицы заряжались путем фотоэмиссии и приобретали положительные заряды порядка 10^4 е. Экспериментальные данные позволили также сделать вывод: в условиях ослабленной гравитации частицы формируют слабокоррелированные жидкостные структуры.

© **О.Ф.Петров**,
кандидат физико-математических наук
Москва

КОРОТКО

К июлю 1998 г. в Люксембурге завершились переговоры между правительствами 15 государств ЕС о мерах по сокращению выбросов в атмосферу газов, ответственных за парниковый эффект. Согласно при-

нятым обязательствам, страны ЕС должны к 2010 г. снизить их на 8% по сравнению с 1990 г. Установлено, что Люксембург уменьшит свой вклад в парниковый эффект на 28%, Германия и Дания — на 21%, Великобри-

тания — на 12.5%, Финляндия и Франция останутся на уровне 1990 г., а квота Швеции даже увеличится.

New Scientist. 1998. V.158. № 2140. P.23 (Великобритания).

Движение частиц в микромире ЖИВЫХ СИСТЕМ

Г. Р. Иваницкий

Открытия заключаются в сближении идей, которые соединены по своей природе, но доселе были изолированы друг от друга.

П. Лаплас



Генрих Романович Иваницкий, биофизик, член-корреспондент РАН, профессор, заведующий лабораторией в Институте теоретической и экспериментальной биофизики РАН (Пушкино). Научный руководитель акционерной научно-производственной фирмы «Перфторан», выпускающей новые газотранспортные перфторуглеродные препараты для медицины и биологии. Лауреат Ленинской и Государственной премий в области науки. Автор многих научных работ — статей, монографий и изобретений. В последние годы основные научные интересы связаны с нелинейной динамикой биологических систем.

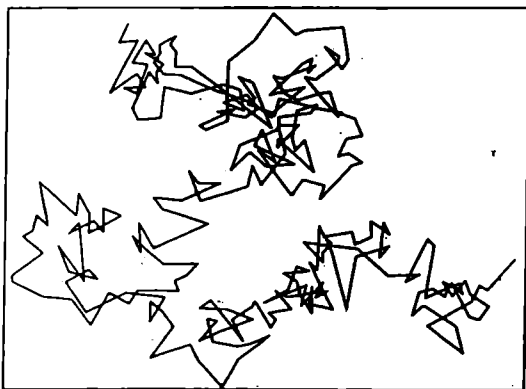
Речь пойдет о частицах, размер которых 10^{-8} — 10^{-6} м. Любое направленное движение их возникает при отклонении системы от состояния теплового равновесия. Так, в отсутствии температурных, концентрационных, электрических полей частица совершает чисто броуновское движение. Если же в коллоидной системе имеются градиенты температуры, концентрации или электрического потенциала, то продолжающиеся быстрые броуновские блуждания сопровождаются медленным дрейфом частиц в сторону действующих сил. Но тут возникают вопросы: как формируется это совокупное движение микрочастиц в живых системах? Сколько «стоит» в энергетических единицах преобразование хаотических блужданий в направленные движения? Да и возможно ли рассчитывать на создание новых технологий, если мы в деталях разберемся в процессе такого переноса?

ОТ ХАОСА МИКРОДВИЖЕНИЙ К ТАНЦАМ ЖИЗНИ

Замеченное Б.Корти еще 225 лет назад направленное движение микрочастиц в потоках протоплазмы и по сию пору интенсивно изучается. На грибах и гигантских клетках водорослей *Acetabularia* и *Nitella* его можно видеть в оптический микроскоп, а в ряде случаев и невооруженным глазом, например, на клетках гриба *Physarum polycephalum*. Тепловое дви-

жение размельченных частиц древесного угля на поверхности спирта Ж.Ингенгхауз наблюдал в 1785 г. — через 150 лет после создания А.Левенгуком микроскопа. Сам Левенгук зарегистрировал движение живых бактерий, сперматозоидов и простейших, весьма напоминающее движение, увиденное позднее Ингенгхаузом. Но само явление теплового движения взвешенных частиц в жидкости было названо именем английского ботаника Р.Броуна, который опубликовал в 1828 г. результаты наблюдений за движением на поверхности воды мелких частичек, включающих пыльцу растений, пыль и сажу. И наконец, в начале 70-х годов нынешнего столетия Х.Берг из Гарвардского университета с помощью следящего микроскопа записал трехмерную траекторию движения отдельной бактерии и показал, что в однородном поле концентраций питательных веществ (аттрактантов) она также имеет случайный характер — небольшие интервалы ровного плавания бактерий сменяются резкими поворотами и кувырканием (тамблингом).

Микрочастицы, например сажа или пыль, в жидкости движутся хаотически в результате ударов молекул жидкости и взаимных столкновений — «бильярдная модель». Теоретически броуновскую подвижность описал в 1905 г. А.Эйнштейн. Через три года эту теорию дополнил П.Ланжевэн, а в 1912 г. М.Смолуховский. Характер движения частиц в основном обусловлен действием сил двух типов. Первый тип — силы, возникающие при ударах молекул среды. Эта высокочастотная составляющая побуждает микрочастицы менять направление движения, ее среднее значение за большой промежуток времени равно нулю. Второй тип — силы вязкого трения, которые флуктуируют с низкой частотой. Действия обеих сил суммируются. Но простое суммирование в теории Эйнштейна—Смолуховского — лишь первое, хотя во многих задачах и хорошее, приближение. В живых системах модуляция физико-химических параметров среды меняет форму и размеры частиц, вызывая изменения и в характере их движения.



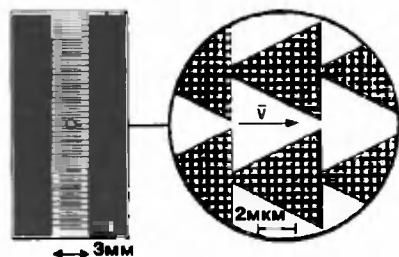
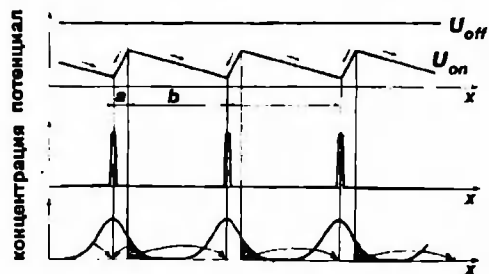
Горизонтальная проекция траектории броуновской частицы в воде (частицы камеди диаметром ~1 мкм). Положения, занимаемые частицей через каждые 30 с, соединены прямыми отрезками. Разумеется, если бы отметки делались через каждую секунду, каждый прямой отрезок был бы заменен ломаной из 30 отрезков, что дает нам представление о поразительной запутанности реальной траектории частицы, практически покрывающей всю площадь рисунка (по Ж.Перрену, 1908).

В биосистемах беспорядочное броуновское движение выполняет полезные функции: способствует поиску партнеров при молекулярных физико-химических взаимодействиях и адаптации систем к внешним условиям. С другой стороны, в живых системах с различным уровнем клеточной организации (от простейших до человека) всегда присутствуют слабые поля, которые разделяют потоки броуновских микрочастиц. Какие механизмы реализуют такое разделение?

ДВИЖЕНИЕ ПО ПРИНЦИПУ: «МАЛО ШАГОВ НАЗАД — МНОГО ВПЕРЕД»

Допустим, у нас в сосуде смесь двух видов броуновских микрочастиц, например макромолекулярных комплексов, имеющих разный по величине поверхностный электрический заряд¹.

¹ Образование объемного заряда в жидкости вблизи поверхности твердой частицы обусловлено существованием на границе раздела двойного электрического слоя. За счет силы вязкого трения какая-то часть этого заряда увлекается частичкой при ее движении. Об этом «присоединенном» к частице заряде и говорят как о поверхностном.



Один из вариантов устройства, сепарирующего броуновские микрочастицы. Поле создается включением (оп) и выключением (офф) потенциала на электродах, имеющих вид «елки»: слева — распределения потенциала (верхний график) и концентрации микрочастиц (средний и нижний графики) при переключениях потенциала. Поле тормозит тепловое движение микрочастиц во временном интервале (оп) и концентрирует их (средний график). Тепловое движение на временном интервале (офф) размывает концентрационное распределение микрочастиц, обеспечивая их направленное движение (нижний график); справа — макросхема расположения электродов и ее увеличенный микрофрагмент, показывающий форму электродов. Стрелкой показано направление движения микрочастиц.

Приложив к сосуду электрическое поле, мы заставим смесь заряженных частиц разделиться. Это — электрофорез, который хорошо изучен и широко используется как метод разделения частиц, взвешенных в газе или жидкости. Какова роль в этом процессе теплового броуновского движения? Казалось бы, отрицательная, так как оно, перемешивая частицы, будет препятствовать разделению. Однако это не всегда так. Возможна ситуация, когда броуновская подвижность способствует разделению. Например, если под действием поля характерный размер частиц одного типа уменьшается, а другого — увеличивается, то одни частицы будут двигаться быстрее, а другие медленнее².

Суть физико-химических принципов управления броуновским движением может пояснить физическая модель, созданная группой французских исследователей³. В ней на пространственно-периодические и асимметричные лабиринты-ситы накладываются также пространственно асимметричные по-

тенциалы, а на вход этих сит подаются броуновские частицы. К стенкам сосуда, которые служат электродами, прикладывается также определенная временная последовательность асимметричных П-образных импульсов напряжения. Геометрически электроды имеют вид «елки» с шагом 50 мкм, а частицами служат шарики из латекса размером 0.25—1 мкм. Электролит в сосуде был специально подобран так, чтобы гидролиз воды не влиял на формирование поля. И вот что выяснилось: частицы тормозились полем, разделялись и одновременно направленно перемещались из ловушки в ловушку вдоль оси x со средней скоростью 0.2 мкм/с. В этой модели пространственно-временное распределение электрического поля задано жестко.

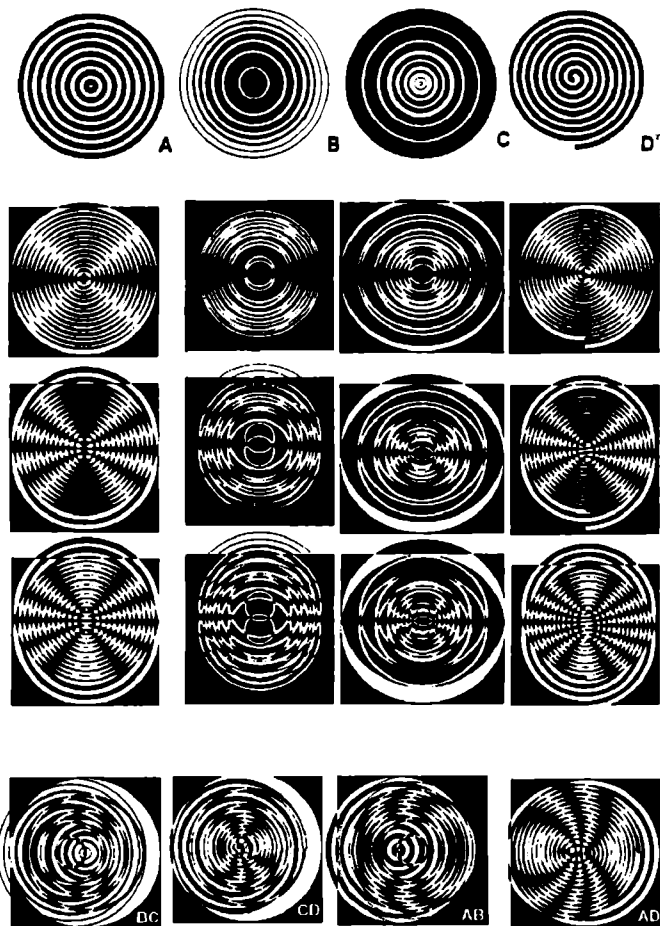
В другой модели поле также имело пространственно пилообразный характер, но в качестве второго агента выступала простейшая циклическая химическая реакция с добавлением фермента и последующим образованием с его помощью броуновской микрочастицы (комплекса Михаэлиса)⁴. Направленное движение таких микрочастиц в электрическом поле возникало из-за изменения за счет присоединения

² Точнее, электрофоретическая добавка к броуновской подвижности всегда отрицательна, т.е. уменьшает дрейфовую скорость частицы. Однако в описываемом случае (как и в ряде других) это замедление различно для частиц, размер которых по-разному реагирует на внешнее электрическое поле. См. также: Лифшиц Е.М., Питаевский Л.П. Физическая кинетика. М., 1979. С.144.

³ Rousselet J., Salome L., Ajdari A., Prost J. // Nature. 1994. V.370. № 6489. P.446.

⁴ Huan-Xiang, Yi-der Chen. // Phys. Rev. Lett. 1996. V.71. P.194.

Модельные конфигурации электрических полей вокруг ионных каналов клеточных мембран. Вверху — исходный набор — алфавит А, В, С и D; в середине — симметричные распределения, возникающие при парном наложении полей одного вида с различным сдвигом их осей (вертикальные столбцы); внизу — асимметричные картины, возникающие при парном наложении полей различного вида.



фермента их гидродинамического радиуса Стокса. Фермент нарушает симметрию реакции, что, в сочетании с действием осциллирующего электрического поля, вызывает направленное движение броуновских частиц. Здесь результат зависит от соотношения фаз пространственно модулированного электрического поля и стадии химической периодической реакции.

Для таких систем было установлено, что возникающая сила дрейфа — возрастающая функция нескольких переменных: амплитуды потенциала, который формирует поле, степени асимметрии импульсов и частоты их следования, а также пространственной частоты решетки электродов (в первой модели) или частоты оборотов циклической реакции (во второй). Величина

этой силы обычно невелика: от 0.5 до 1.5 пН (пикоНьютон). Однако броуновские частицы, получив под действием этой силы направленное движение, могут совершать работу.

АСИММЕТРИЯ ПОЛЕЙ СОЗДАЕТ РИСУНОК ДВИЖЕНИЯ

Теперь обратимся к биологическим системам. Движение различных ионов (Na^+ , K^+ , Ca^{2+} , Mg^{2+} и т.д.) через каналы клеточных мембран создает слабые электрические поля. Например, возбуждение нервной клетки сопровождается входом ионов Na^+ внутрь клетки и выходом K^+ наружу. При этом потенциал мембраны клетки может изменяться на 80—100 мВ (от -60 до +40 мВ). Каждый отдельно

взятый канал в мембране клетки — это проводник ионов, вокруг которого и возникает поле. Распределения потенциалов на мембранах живых клеток, а значит, и картины электрических полей могут быть весьма разнообразны.

Физико-химические методики сегодня еще далеки от возможности прямого детального картирования пространственно-временных конфигураций электрических полей на клеточных мембранах. Поэтому работа ведется главным образом на моделях — физических и компьютерных. Например, в качестве модельных конфигураций мы брали наиболее простые радиальные распределения электрического потенциала вокруг ионного канала. «Алфавит» был составлен из полей синусоидального типа (А), экспоненциально спадающего (В), экспоненциально растущего (С) и типа спирали Архимеда (D). Уже при попарном наложении полей ближайших проводников-каналов возникают конфигурации с удивительным богатством кластерных структур, порождающих сложные распределения концентраций электрофоретических броуновских частиц в пределах действия этих полей.

Наиболее интересны картины наложения полей двух каналов, когда каждый имеет свой тип конфигурации. Суммарное поле в этих случаях приобретает особенно асимметричный характер, что отражается на распределении концентрационных градиентов и, значит, потоков заряженных микрочастиц, стремящихся восстановить симметрию. Похожим образом в живых клетках поля вблизи ионных каналов как бы подавляют стохастичность в движении броуновских частиц в примембранных слоях, способствуя возникновению направленных потоков.

Конфигурация поля реагирует на изменение формы проводника (кривизна мембраны меняется при пульсации клеток) и интенсивность ионного потока в канале. Пропускную способность каналов медиаторы модулируют в диапазоне от 0.5 до 30 Гц. Отдельные поля от локальных источников-каналов

создают на мембранах клеток динамические мозаики суммарных полей. Возникающий макромасштабный мембранный потенциал («цветной шум») выполняет функцию управления. Он модулирует величину мелкомасштабной тепловой равновесной подвижности («белый шум»). Движение микрочастиц в примембранных слоях становится детерминированно-стохастическим, при котором происходит разделение потоков, причем часто меняется и геометрия самих частиц.

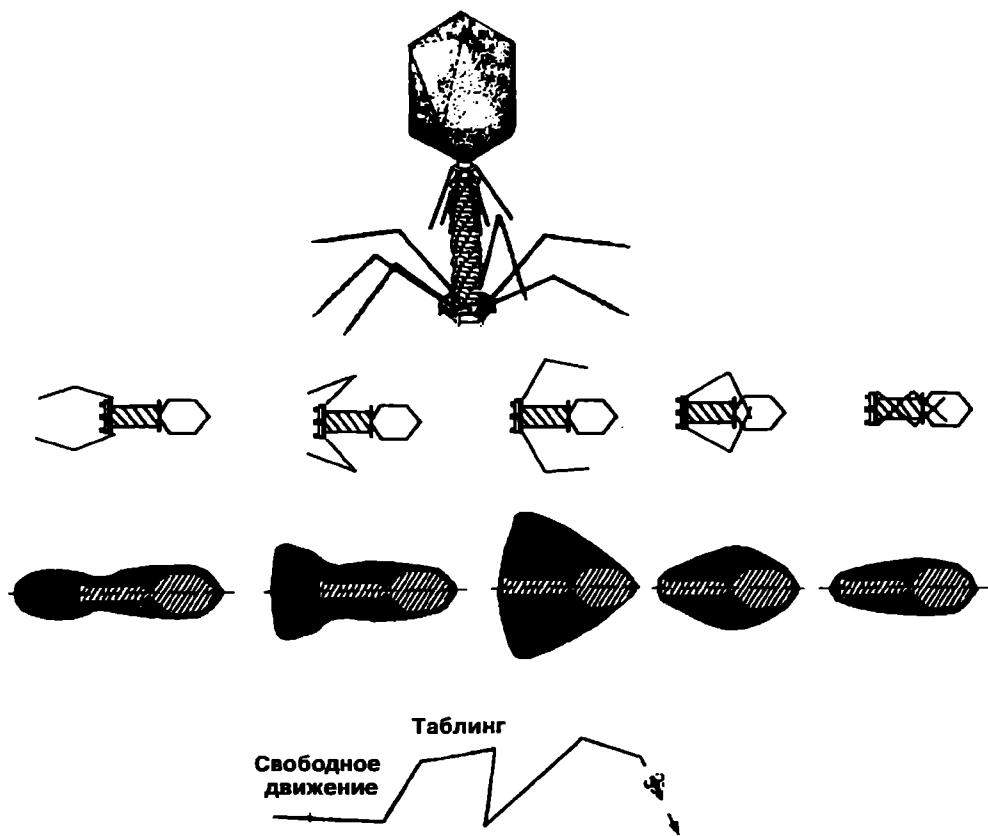
ЕДИНСТВО ФОРМЫ И ДВИЖЕНИЯ. САМОНАВОДЯЩИЕСЯ МИКРОЧАСТИЦЫ

Рассмотрим микрочастицы с изменяющейся геометрией на примере взаимодействия бактериальных вирусов (бактериофагов) и бактерий⁵. В опытах поле создавалось изменением концентрации сорбентов, влияющих на геометрию микрочастицы. Существуют сотни бактериальных вирусов или фагов — пожирателей бактерий. Размер фагов $\sim 10^{-7}$ м, т.е. они почти в 100 раз меньше, чем бактерии. Лучше других изучена жизнь фагов с отростками, размножающихся на бактериях кишечной палочки.

Краткий сценарий взаимодействия фага с бактериальной клеткой выглядит так: фаг встречается клетку, затем с помощью своих хвостовых нитей проверяет химический состав ее внешней мембраны. Если клетка фагу «интересна», он прикрепляется к ней, потом сокращает чехол хвоста, и ДНК, выходящая из головы (или РНК для некоторых видов фагов), проникает в клетку⁶. С этого момента биохимический аппарат бактериальной клетки в течение 20 мин работает под контролем фаговой ДНК. Сначала синтезируются особые ферменты, которые стимулируют синтез фаговых ДНК и белков. Затем внутри клетки из фаговых белков собираются компоненты фагов (хвосты, головы) и

⁵ Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Деев А.А. и др. // Биофизика. 1995. Т.40. Вып.1. С.60.

⁶ Tarahovsky V., Khusainov A., Ivanitsky G. // FEMS Microb. Lett. 1994. V.122. P.195—200.



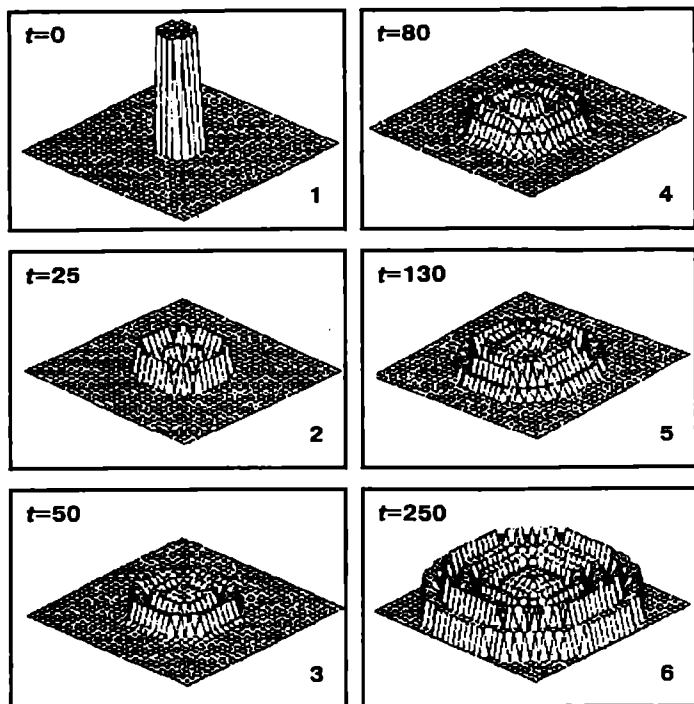
Бактериофаг Т4 (вирус бактерий) — микрочастица (~ 0.1 мкм) с изменяющейся геометрией. Концевые фибриллы бактериофага, раскрываясь при повышении температуры и присоединении метаболитов, меняют гидродинамический профиль фага и его радиус Стокса. При этом нерегулярное движение бактериофагов преобразуется в стохастически направленное, управляемое концентрационным градиентом метаболитов, выбрасываемых бактериями: в центре — трехмерная модель бактериофага, полученная на основе его реконструкции с помощью ракурсных электронно-микроскопических снимков; вверху — различные положения фибрилл по отношению к телу бактериофага при изменении температуры и присоединении метаболитов; в середине — гидродинамические профили бактериофага, определяемые положением фибрилл (зачернены); внизу — траектория движения бактериофага. Растущий градиент метаболита по мере приближения фага к бактерии снижает частоту его поворотов (тамблингов), что ускоряет движение вируса в направлении к бактерии. Соответствующее изменение профиля по мере приближения к бактерии показано на рис. в середине, слева направо.

целые фаги. В течение примерно 20 мин энергия клетки-хозяина используется на построение новых фагов. Наконец, оболочка клетки разрывается, и 100—200 потомков фага готовы к встрече с новыми хозяевами.

Даже после того, как все это было открыто, оставалось много вопросов к деталям «пиратского» сценария. Пожалуй, самые интересные:

каковы возможности фага? Ощущает ли он бактерию на расстоянии? Может ли управлять своим движением?

Бактериофаг нельзя назвать живым организмом в полном смысле этих слов: скорее это сложный биокomплекс, решающий задачи поиска, узнавания и заражения бактерии. Внутри фага не протекают биохимические процессы, он не потребляет и не усваивает



Последовательные стадии расселения на плоскости исходно точечной, синхронной, по возрастам размножающейся популяции микроорганизмов. С возрастом подвижность повышается лишь на определенном временном интервале. Кратковременность их максимальной подвижности по сравнению с продолжительностью жизни приводит к тому, что вместо колоколообразного «расползающегося» концентрационного распределения в пространстве, характерного для броуновского движения, возникают кольца с максимальной концентрацией микроорганизмов. t — время в условных единицах с момента посева исходной точечной популяции (первый кадр).

пищу; это — молекулярная «машина» из субъединиц белка и ДНК, т.е. полимерных материалов с распределенным по их длине зарядом. Молекулы любого неоднородного полимера вдоль цепи могут принимать целый набор пространственных конфигураций, каждая из которых соответствует определенному температурному и ионному составу среды. Если ион или какая-либо полярная частица изменяет или нейтрализует заряд в некотором месте цепи, то полимер изгибается и принимает иную пространственную конфигурацию. Если эту заряженную частицу нейтрализовать другой или смыть, прежняя конфигурация фага восстановится.

Почти 20 лет потребовалось нам, чтобы в деталях изучить трехмерное строение фага и понять механизм его работы. Итоги этих исследований мы опубликовали⁷ лишь в 1995 г. Здесь нет

возможности рассказать о всех деталях молекулярного устройства фага. Тем не менее приведем один наиболее интересный сюжет из жизни фага, имеющий прямое отношение к обсуждаемым вопросам. Чувствует ли фаг бактерию на расстоянии или столкновение его с бактерией — чистая случайность? Во всех учебниках по микробиологии написано, что бактерия наталкивается на фаг случайно, как корабль на мину. Однако мы усомнились в этом. Если проводить аналогию с минным полем, то бактериофаг — это не пассивная мина, а самонаводящаяся торпеда. Но как она может наводиться, если внутри бактериофага нет обменных процессов, откуда он возьмет энергию для самонаведения? Ответ оказался неожиданным.

Бактерия периодически выбрасывает продукты своей жизнедеятельности в окружающую среду. Равновесная концентрация этих веществ в пространстве вокруг бактерии отвечает классическому бальмановскому рас-

⁷ Иваницкий Г.Р., Деев А.А., Хусаинов А.А. и др. // Биофизика. 1995. Т.40. Вып.4. С. 1265—1280.

пределению, промодулированному во времени ее жизненным циклом. Воздействие «отбросов» на полярные элементы фага (его фибриллы) вынуждает изменить пространственную конфигурацию биополимера, что сопровождается изменением его гидродинамического радиуса Стокса, а это — главная причина дрейфа фага в направлении бактерии.

САМ СЕБЕ — ХОРЕОГРАФ

Свойствами асимметричной сепарующей системы может обладать не только окружающая среда, но и сами микрочастицы, если они имеют запас энергии. Тогда их подвижность может определяться в первую очередь их внутренними «биологическими часами». Еще в 1987 г. мы изучали диффузионную подвижность делящихся микроорганизмов, пытаясь выявить связь с возрастным циклом⁸.

В экспериментах было установлено⁹, что во многих случаях характер движения особей зависит как от их численности (N), так и от возраста (t). Причем по обоим этим переменным зависимость коэффициента¹ диффузии носит пороговый характер. При достижении численности популяции N за счет размножения порога $N_{кр}$ индивиды начинают перемещаться в пространстве, и плотность популяции быстро уменьшается. С течением времени, а значит, с их возрастом, наступает момент $t_{кр}$, когда подвижность резко падает — индивиды «замирают» на своих местах, продолжая однако размножаться. Далее процесс повторяется. В результате с течением времени возникает пространственно-неоднородное распределение плотности популяции.

СЮРПРИЗЫ ДВИЖЕНИЯ

В пособиях для санэпидемстанций написано, что при контроле загрязнения (водоемов или воздуха) форма растущих колоний высеваемых бактерий служит важным таксономическим признаком, позволяющим быстро идентифицировать их вид. При

этом иногда забывают добавить — при неизменных условиях среды, на которой проводится посев. Мы изучили рост колоний безобидной бактерии кишечной палочки на средах разного состава и получили формы колоний, характерные для разных видов бактерий, в том числе и опасных патогенных¹⁰. Богатство геометрических форм растущих бактериальных колоний вызвано тем, что на изменение питательных веществ среды (концентрации пептона) накладываются флуктуации поля, тормозящие движение бактерий за счет изменения плотности среды (концентрации агара).

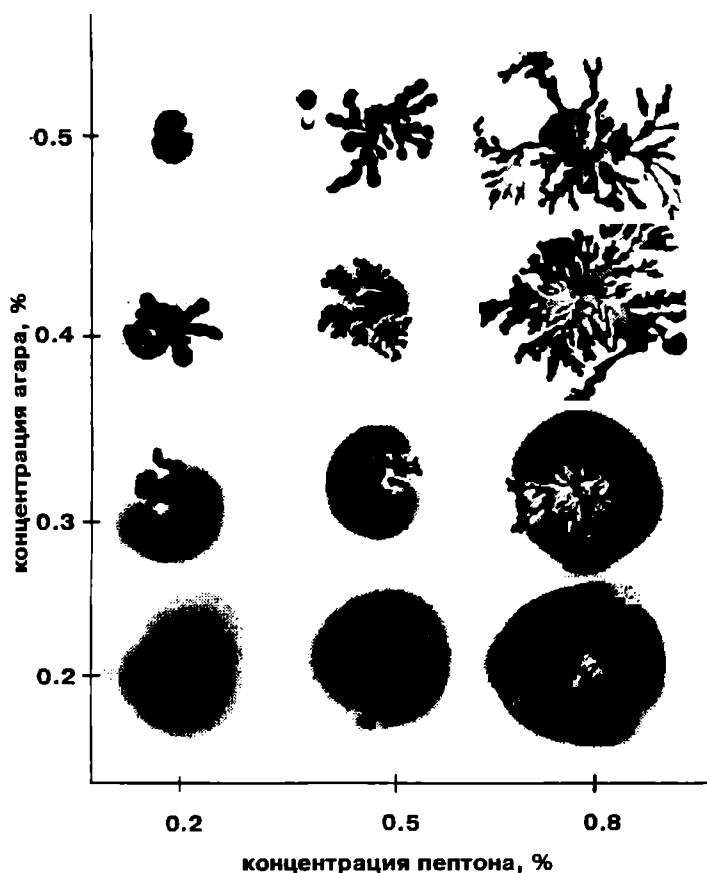
СКОЛЬКО СТОИТ ТРАЕКТОРИЮ ПОСТРОИТЬ?

Внутриклеточные процессы, если их сравнить с электронными, в большинстве случаев очень медленные (характерные времена — 0.1–0.01 с). Массы перемещающихся частиц, сравнительно с атомными, большие (10^{-18} – 10^{-12} г). Исключение составляет фотосинтез (характерные времена — пикосекунды), в основе которого лежит поглощение квантов света с последующими электронными переходами внутри молекул. Однако к броуновским процессам фотосинтез отношения не имеет. При сравнении эффективности разных биосистем «цену действия» (энергия · время) принято измерять в $kT \cdot \Delta t$, где k — постоянная Больцмана, T — температура, Δt — время, поскольку чем больше энергии и времени требуется на совершение какого-либо действия, тем менее эффективен его механизм.

Если время достижения цели частицей неограничено, то не существует минимально необходимой допол-

⁸ Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. // Успехи физ. наук. 1991. Т.161. № 4. С.13–71; Иваницкий Г.Р., Медвинский А.Б., Цыганов М.А. // Там же. 1994. Т.164. № 10. С.1041–1072; Medvinsky A.B., Shakhbazian V.Yu., Tsyganov M.A., Ivanitsky G.R. | FEMS Microbiol. Lett. 1991. V.84. R.279–284.

⁹ Медвинский А.Б., Фишов И.Л., Карпов В.А. и др. // ДАН. 1991. Т.318. № 8. С.454–458.



Пространственные структуры колоний бактерий E.coli JM 103, которые формируются на среде с агаром (шкала ординат), тормозящим движение бактерий, и на среде с пептоном «Serva» (шкала абсцисс), ускоряющим их движение. Бактерии точно вносились в питательную среду разного состава и, размножаясь, формировали колонию. Видно, что при изменении состава питательной среды наблюдается переход от классической картины колонии (концентрическая круговая волна), что характерно для этого вида бактерий (нижний слева), до древовидных — фракталоподобных колоний, характерных для других видов (верхний правый).

нительной к тепловой энергии, которую нужно потратить на эту операцию. Для медленного дрейфа достаточно и тепловой энергии. Однако при этом нельзя предсказать, когда микрочастица достигнет цели. В соответствии с теорией Эйнштейна—Смолуховского прогнозировать можно только среднее вероятностное время встреч. Потребность в дополнительной энергии у частиц возникает, когда есть лимит времени и необходимо преобразование неупорядоченного движения в направленное.

«Цена управления» определяется основной энергетической платой, т.е. энергией $kT \ln 2$, необходимой для

одного броуновского шага (когда энтропия системы изменяется на $k \ln 2$). Так что «платить» приходится за число поворотов при движении частиц, т.е. за забывание предыдущей траектории при создании новой. Допустим, что при посадке сорбента на частицу объем ее увеличился. Частица — упорядоченная часть системы среда—частицы. Поскольку ее объем увеличился, то вроде бы возрастает упорядоченность системы в целом, т.е. понижается энтропия. Однако и сорбенты, и частицы до этого времени находились в этой же системе. Возникает парадокс — откуда взялась энергия на понижение энтропии системы, если извне она не поступала?

Ответ прост. В этом случае происходит перераспределение энергии, которая уже содержалась в

¹⁰ Крестьяева И.Б., Цыганов М.А., Асланиди Г.В. и др. // ДАН. 1996. Т.351. № 3. С.406—409; Цыганов М.А., Крестьяева И.Б., Лысаченко И.В. и др. // ДАН. 1996. Т.351. № 4. С.561—564.

системе и была затрачена при создании напряженной структуры частиц («структурная энергия»). Если учитывать структурную энергию при составлении энергетического баланса для системы среда—частицы, можно показать, что энтропия системы всегда увеличивается. На первом этапе при сорбции структурная энергия увеличивается или уменьшается (зависит от устройства частицы) за счет повышения/понижения энтропии только среды (но не системы). На втором этапе при восстановлении первоначального объема частицы только часть этой энергии, аккумулированной в напряженной структуре, возвращается обратно. Другая — затрачивается на отмывание сорбента. Чтобы существенным образом повлиять на изменение траектории частицы, реакция образования/разрушения комплекса с сорбентом должна быть асимметричной и смещена в сторону его образования, т.е. частица должна помнить свое новое состояние хотя бы на протяжении нескольких, например 10 шагов.

Таким образом, в живой клетке на локальное изменение в движении частиц при удержании сорбента на протяжении 10 шагов затрачивается порядка $10 \cdot 0,7kT$ свободной энергии на каждую степень свободы ее движения. Если управление осуществляется в трехмерном пространстве, то затраты составят уже $\sim 20kT$. Если необходимо достичь цели за 0.1 с, то при комнатных температурах минимальная «цена действия» будет $\sim 10^{-20}$ Дж.с. При этом частота кувырканий (тамблинга) уменьшится на протяжении этой траектории в 10 раз, а выигрыш в скорости достижения цели будет находиться в интервале от 10 до 100. Обычно реальная энергетическая плата за направленность движения частиц к источнику сорбента много больше (10^2 — 10^3 kT), поскольку определяется константой связывания сорбентов с частицами.

Следует подчеркнуть, что в биосистемах преобразование неупорядоченного движения в направленное всегда сопровождается увеличением

энтропии системы в целом, как и при любых естественных процессах, и поэтому может происходить лишь в системах с притоком энергии или неравновесных системах с аккумулярованным запасом энергии. При технологическом воспроизведении устройств, аналогичных биологическим системам, нет оснований рассчитывать на нарушение законов термодинамики и пытаться создать вечный двигатель.

К ТЕХНОЛОГИЯМ XXI ВЕКА

Представленные результаты имеют широкую область приложений, прежде всего для понимания механизмов многих биологических процессов. Принципы броуновской подвижности, управляемой слабыми асимметричными полями, лежат в основе процессов с участием фибриллярных белков. Так, АТФ обеспечивает управление тепловым движением на периодической решетке фибрилл. Гидролиз АТФ задает направление и периодичность остановок на макрошкале, а броуновская подвижность обеспечивает движение на микрошкалах. Фибрилла, по которой движется ферментный мотор (микрочастица), демонстрирует периодичность и пространственную асимметрию потенциалов, задаваемые генетической природой¹¹. Сама движущаяся микрочастица может находиться в двух или более различных состояниях, тепловые переходы между которыми индуцируют гидролиз АТФ¹². Подвижная микрочастица на фибриллярной структуре и броуновские частицы, проскакивающие через сито, аналогичны во многих аспектах.

В модели французских исследователей с асимметричными пространственными электродами периодическую смену направления движения броуновских микрочастиц между двумя энергетическими уровнями «on» и «off»

¹¹ Филатова Л.Г., Мещеряков В.Н., Есипова Н.Г., Иваницкий Г.Р. // ДАН. 1984. Т.276. № 4. С.999—1002.

¹² Сидоренко Н.П., Дещеревский В.И., Иваницкий Г.Р. // Там же. 1994. Т.335. № 6. С.806—809.

создавал асимметричный пространственный потенциал. Величина скоростей ($\sim 10^{-7}$ м/с) там меньше, чем в реальных биологических системах, а период лабиринтов-решеток слишком велик (50 мкм) по сравнению с реальными периодами в биологических фибриллярных системах. Например, период сегментов белка тубулина равен 8 нм. В этом случае скорость перемещения должна быть $\sim 10^{-4}$ м/с.

Молекулярные машины, составленные из фибриллярных белков (кинезина, актина или миозина) или ДНК и РНК, имеют многомикронную длину. По первым (белковым) могут транспортироваться под действием асимметричных полей микрочастицы — везикулы или хромосомы, а по вторым — РНКполимеразы при считывании генетической информации. Динамика этих процессов полностью еще не понята, потому что наблюдаемые кристаллизованные нитевидные структуры, например волокна мышечного миозина, при фиксации «застывают», а изучать их кинетику нужно в режиме сокращения.

Кроме того, для создания направленного движения необязательно использовать реальные «жесткие» периодические пространственные структуры (фибриллы, решетки, сита). Их аналогом может служить и осциллирующее во времени поле, создающее периодическую тормозящую (ускоряющую) силу. Его можно получить путем наложения двух сдвинутых в пространстве и асимметричных потенциалов (каналов мембран), периодически изменяющихся во времени.

Биофизическое исследование кинетики взаимодействий среда—частицы необходимо и для развития биотехнологии. Неслучайно в начале 90-х годов возник (возможно, и не очень удачный) термин «интеллектуальные материалы». Это композиционные материалы для протезирования элементов организма, биочипы для компьютерной техники. Появились и новые методы управления кооперативной подвижностью сложных молекулярных комплексов посредством модификации среды и

самого объекта. Первая Международная конференция по интеллектуальным материалам проходила в марте 1992 г. в г.Оисо (Япония). Тогда речь шла о композитах, способных при направленных изменениях свойств среды заданно (обратимо или необратимо) изменять форму, цвет и другие физические параметры. Эта способность закладывается в материал путем создания его структурной гетерогенности при сборке и реализуется в кинетическом цикле взаимодействия с внешней средой. Знакомые примеры материалов такого типа — спиновые стекла и родопсины. Искусственные гетерогенные образования могут не только закрепляться на соответствующих подложках, но и перемещаться. В качестве примера можно привести быстро развивающуюся отрасль в фармакологии, где уже начинают использовать капсулы-переносчики (в виде везикул) для лекарственных соединений, генетические корректоры или газы¹³. В сентябре 1997 г. в Пекине прошел XII Международный конгресс по искусственным клеткам, заменителям крови и иммобилизованной биотехнологии. При конструировании капсулы для адресной доставки в ее структуру закладывается изменение физико-химических параметров, чтобы обеспечить нужную траекторию движения к мишени.

В этом смысле бактерия — это тоже своеобразный подвижный самоуправляемый модуль, «биочип», созданный Природой, размером меньше 10 мкм, который объединяет в одном «корпусе» системы подвижности, сенсор, логическое и исполнительное (поисковое) устройство. В то же время вирусы бактерий — это композиционный макромолекулярный комплекс, не обладающий системами метаболизма и направленного самодвижения, но имеющий набор конформационных состояний, системы рецепции и распознавания при поиске адресата. Раз-

¹³ Иваницкий Г.Р., Воробьев С.И. // Вестн. РАН. 1997. Т.67. № 11. С.998—1001; Тараховский Ю.С., Иваницкий Г.Р. // Биохимия. 1998. Т.63. С.510.

дельное и совместное изучение подвижности таких систем позволяет провести границу между активными самоуправляемыми и пассивными частицами, которые в асимметричных внешних полях могут двигаться направленно.

Будущие технологии на основе управляемого броуновского движения с помощью слабых асимметричных полей, возможно, позволят создать принципиально новые способы доставки активных соединений внутри организма. Например, большой контейнер, матка-база, нагружается необходимым для организма продуктом и движется по протокам кровоснабжения или тканевой жидкости, а циркулирующие между контейнером и клетками микрокапсулы-перевозчики адресно переносят его содержимое к различным тканям и органам. Такая «микромашинная технология» уже создается. Первые, пока сравнительно простые, варианты реализованы. Например, это — созданные нами газотранспортные плазмозаменители крови. Принцип работы их основан на том, что мелкие частицы перфторуглерода (0.07—0.1 мкм) переносят кислород от оставших-

ся после кровопотери эритроцитов в ткань. Эритроцит в артериальной крови, размер которого в 100 раз больше частиц эмульсии, выполняет функцию матки-базы, нагруженной кислородом. Периодически циркулируя за счет пульсирующих гидродинамических потоков крови между эритроцитами и тканью и образуя структуры типа жемчужных нитей, частицы перфторуглерода, хорошо растворяющие кислород, по эстафете переносят его от эритроцита к стенкам кровеносного сосуда, откуда он сам диффундирует в ткань¹⁴.

Новые технологии нужны, но красота законов движения в микромире, независимо от прикладных задач, вызывает восхищение, потому что именно в ней заключено откровение фундаментальных особенностей управления, используемого в живой природе.

Изложенные выше работы были поддержаны Российским фондом фундаментальных исследований (гранты 96-04-48192, 96-15-97851, 97-04-48404).

¹⁴ Иваницкий Г.Р., Воробьев С.И. // Биофизика. 1996. Т.41. Вып.1. С.178—190.

Острорылый скат на грани вымирания

К. Н. Несис,

доктор биологических наук
Москва

НА СЕГОДНЯ в пресных водоемах мира вымерло или близко к вымиранию множество видов — результат перелома или изменения среды их обитания. С морскими организмами человеку разделаться гораздо труднее. До последнего времени не было достоверно известно ни одного вида морских рыб, вымершего за исторический период под влиянием естественных причин либо деятельности человека. К сожалению, кандидат в «черную книгу» теперь появился и среди них. И что самое удивительное — это не каков-нибудь «живое ископаемое» с крохотным ареалом, вроде латимерии, или мелкая слабо изученная рыба, которую трудно опознать и отличить от других, а рыба легко узнаваемая и широко распространенная, к тому же не в столь давнем прошлом — немаловажный объект промысла. Речь идет об острорылом скате, или скате лэвис (*Raja laevis*), из атлантических вод США и Канады. Его английское название «Barndoor skate», что означает «скат — амбарная дверь» — наверное, за размеры и гладкость кожи (*laevis* в переводе с латыни — гладкий).

Острорылый скат — крупная рыба, до 180 см длиной, ширина по «крыльям» больше метра, вес до 17 кг. Распространен в Северо-Западной Атлантике, от Большой Ньюфаундленд-

ской банки до мыса Хаттерас и от мелководий (иногда даже заходит в устья рек) до глубин 450–500 м (но в основном это 10–150 м). Питаются скаты преимущественно крабами, омарами, креветками, реже брюхоногими, двусторчатыми и головоногими моллюсками и червями, но иногда поедают и рыб, от акулы до камбалы. Созревают поздно: на юге ареала — в возрасте около 11 лет, на севере — еще позже, лет в 12. Как и у всех других видов ската, самка откладывает на дно по одному большому яйцу, заключенному в кожистый пакет прямоугольной формы с длинными выростами по всем четырем углам. Эти пустые яйцевые капсулы (12–13 см в длину, около 7 см в поперечнике) часто попадают на берегах, их называют «морскими кошельками». Яйца откладывают зимой, и к лету из них вылупляется вполне сформировавшаяся, похожая на родителей молодь. Длина новорожденного ската 18–19 см (в яйцевой капсуле он помещается, загнув хвост). За сезон размножения самка откладывает менее полусотни яиц.

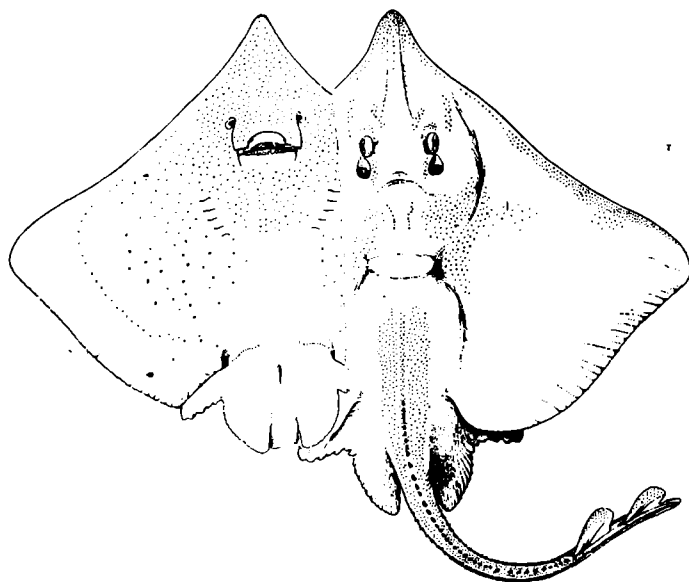
Еще не так давно *Raja laevis* занимал основное место в промысловых (правда, небольших) уловах скатов на Атлантическом побережье США, и его часто добывали на внешнем шельфе у берегов штатов Нью-Йорк и Нью-Джерси. Как и у других скатов, в пищу шли только «крылья», остальные части

тела выбрасывались. На Джорджес-Банке, расположенной у входа в залив Мэн, в начале 50-х годов острорылые скаты оказывались практически в каждом донном трале, в среднем более 20 за траление, а у берегов штата Род-Айленд в ставные сети попадало до трех десятков за раз. Очень многочислен он был и у канадских берегов: к югу от Ньюфаундленда занимал второе место среди всех скатов. Но затем началось неуклонное падение его численности.

Процесс постепенного исчезновения острорылого ската проследили канадские ученые Дж. Кейзи из Ньюфаундлендского Мемориального университета в Сент-Джонсе и Р. Майерс из Университета Далхаузи в Галифаксе¹. Они использовали данные сезонных учетов рыб донными тралями, которые регулярно, трижды в год по стандартной схеме, проводились в зоне ответственности Международной комиссии по рыболовству в Северо-Западной Атлантике, в одних районах — с начала 50-х, в других — с 60-х годов. В первое время численность ската была низкой только на крайнем севере и крайнем юге ареала, а в его центре (на банке Сент-Пьер южнее Ньюфаундленда, банках Банкеро, Сейбл-Айленд и Браунс у Новой Шотландии) биомасса ската составляла 20–40 кг на квадратный

¹ Casey J.M., Myers R.A. // Science. 1998. V.281. № 5311. P.690–692.

Самка острорылого ската (*Raja laevis*). Монтаж нижней (слева) и верхней поверхностей тела. (Bigelow H.B. and Schroeder W.C. *Fishes of the western North Atlantic*. V.2. New Haven, 1953.)



километр. Но уже около 1960 г. острорылый скат исчез из уловов на юге Большой Ньюфаундлендской банки, в других районах — в середине—конце 60-х или в 70-х годах, и только на соседних банках (Джорджес и Браунс) единичные особи попадаются и сейчас. Если в 50-х годах численность острорылого ската в районе Сент-Пьер составляла около 600 тыс., то в 60-х — около 200 тыс. и лишь полтысячи — в начале 70-х годов, а с 1975 г. эти рыбы вообще больше не попадались в уловах, хотя биомасса мелких скатов (звездчатого и гладкохвостого) за это время даже выросла. Снижение численности отмечалось по всему ареалу, но в южных промысловых районах скорость убывания была выше, чем в северных.

В чем причина резкого и неуклонного снижения численности острорылого ската? По мнению Кейзи и Майерса, — в перелове, правда, непреднамеренном. Чрезмерный лов уже давно привел к снижению запасов обычных

промысловых рыб (тресковых, камбаловых и др.) на Джорджес-Банке, зато здесь возросла численность колючей акулы и скатов, которых раньше ловили мало. Несколькими годами назад у Ньюфаундленда, Новой Шотландии и на Джорджес-Банке начался специализированный промысел акул и скатов, считающихся недолавливаемым ресурсом, и вскоре их численность тоже стала снижаться. Однако в зоне действия Международной комиссии по рыболовству в Северо-Западной Атлантике величина допустимого вылова и размер ячеи используемых орудий строго регулируются, чтобы не допустить перелова взрослой рыбы, а также изъятия молоди. К сожалению, острорылый скат не был отнесен к специальным объектам промысла, он — только прилов к треске и морскому окуню, поэтому квота на него не утверждается. Однако рождается он настолько крупным (почти 20 см), что даже новорожденные особи попадают в тралы. Прибавьте к этому

низкую плодовитость и очень позднее созревание. В результате тот пресс промысла, который могут спокойно вынести относительно рано созревающие и высокоплодовитые рыбы с мелкой молодь, например треска или пикша, оказывается непереносимо тяжелым для острорылого ската. На банках Джорджес и Браунс он еще уцелел лишь потому, вероятно, что скорость его роста там выше, чем в более холодноводных северных районах; кроме того, на части акватории этих банок действует сезонный запрет промысла.

В несколько лучшем положении оказался европейский родственник острорылого ската — гладкий скат *Raja batis*, распространенный от Мурманска до Марокко и Исландии, а в 20—30-е годы — многочисленный промысловый вид. Этот самый крупный скат Европы (длина самок до 2,85 м при ширине до 2 м, вес до 113 кг) уже в конце 70-х годов полностью исчез в некоторых районах Ирландского моря, правда, о его

общем вымирании речь пока, кажется, не идет. Причины снижения численности те же: позднее созревание (при раз- мере более 1.5 м), низкая плодovitость и уязвимость в ходе промысла даже для новорожденных скатов, которые вылупляются при длине 21 см.

В самые последние годы появились сообщения о на- ходках острорылого ската в прилогах к синекорому пал- тусу на больших глубинах (около 1000 м) Лабрадорско-

го моря, далеко к северу от ранее известной границы его ареала. Южнее на таких больших глубинах промысел не ведется, а поймать столь крупную рыбу маленьким зоологическим тралом невоз- можно, так что не известно, водится ли острорылый скат на километровых глубинах на юге ареала. Если да, то там, на больших глубинах, он пока в безопасности и имеет шанс выжить. Если нет, то единст- венная возможность спасти

рыбу, пишут Кейзи и Майерс, — немедленно создать мор- ской заповедник (закрытую для тралений зону) на внеш- них банках континентального шельфа, притом достаточно большой площади, чтобы обеспечить существование самоподдерживающейся по- пуляции. Благо, новорожден- ные сразу начинают вести донный образ жизни, и нет опасности, что их унесет те- чениями за пределы запо- ведной зоны.

КОРОТКО

В июле 1998 г. в Синтре (Португалия) состоялось со- вещение входящих в группу «Осраг» («Осло—Париж») за- падноевропейских министров по охране окружающей среды. Принято решение добиться к 2000 г. значи- тельного сокращения радио- активных веществ, поступаю- щих в окружающую среду, а к 2020 г. свести их количест- во до уровня, «близкого к нулю».

По мнению экспертов, это не потребует закрытия заводов по переработке ядерных отходов; такие предприятия, как Селлафилд в Великобритании или пере- рабатывающий завод на мысе Аг во Франции, должны будут перейти на сухой метод хранения радиоактив- ных отходов вместо сбрасыва- ния их в море.

Nature. 1998. V.394. № 6692. P.407 (Великобритания).

Созданная поначалу с сугубо военными целями, американская спутниковая система навигации «GPS» («Global Positioning System»)¹

становится все более до- ступной для гражданского использования. При этом она продолжает совершенство- ваться: в 1998 г. было объявлено, что следующее поколение спутников «GPS» будет излучать два новых радиосигнала, которые по- зволят повысить точность определения координат объ- ектов. Ожидается, что по сравнению с нынешней она возрастет в 10 раз.

New Scientist. 1998. V.158. № 2123. P.23 (Великобритания).

На о.Тасмания лисицы не водятся, вернее, там их не было до июня 1998 г., пока одна рыжая особь «зайцем» не перебралась на судне из Мельбурна через Бассов пролив (отделяющий остров от материка) в порт Берни, где сбежала по трапу.

Событие это подняло на ноги всю Тасманию: ведь в континентальной Австралии завезенные туда лисицы уничтожили значительную часть мелких сумчатых, кото- рые нигде более не водятся.

По следу хищницы, ко- торую видели уже в 20 км от места высадки, идут охотни- ки с гончими псами. Если это

беременная самка — популя- ция лис может здесь укорениться, и тогда прощай четвероногие и пернатые уникамы Тасмании.

New Scientist. 1998. V.158. № 2139. P.25 (Великобритания).

Химики Корнеллского университета (Итака, штат Нью-Йорк, США), кажется, нашли способ избавиться от присущей грейпфрутовому соку горечи. Известно, что главный ее источник — нарингин, который присутст- вует в плодах большинства цитрусовых, и лимонин, об- разующийся в процессе пас- теризации. Химики предлага- ют покрывать внутреннюю поверхность картонных паке- тов, в которые разливают сок, тонкой пленкой ацетат- целлюлозы, содержащей фермент нарингиназу: разла- гая нарингин, она существ- венно снижает горечь сока.

Участники конференции по технологии обработки пищевых продуктов (июль 1998 г., Атланта) с большим интересом восприняли это сообщение.

New Scientist. 1998. V.159. № 2141. P.13 (Великобритания).

¹ Подробнее см.: Спутниковая навигация в действии // Приро- да. 1998. № 1. С.119—122.

Георгий Владимирович Вернадский

М. Ю. Сорокина



Марина Юрьевна Сорокина, старший научный сотрудник Архива Российской академии наук. Занимается социальной историей российской науки, мемуарным и эпистолярным наследием ученых, в том числе В.И.Вернадского, С.Ф.Ольденбурга, Н.И.Конрада, А.С.Лаппо-Данилевского и др.

19 АВГУСТА 1927 г. трансатлантический лайнер «Аквитания» доставил в США русского историка, одного из идеологов евразийства Георгия Владимировича Вернадского и его жену Нину Владимировну, урожденную Ильинскую. Америка стала конечным пунктом их одиссеи. Бежав в ноябре 1920 г. вместе с врангелевскими войсками из Крыма в Константинополь, они затем перебрались в Грецию, а оттуда в начале 1922 г. — в Чехословакию. Оставшиеся им почти полвека изгнания они провели в США, так никогда больше и не увидев Россию.

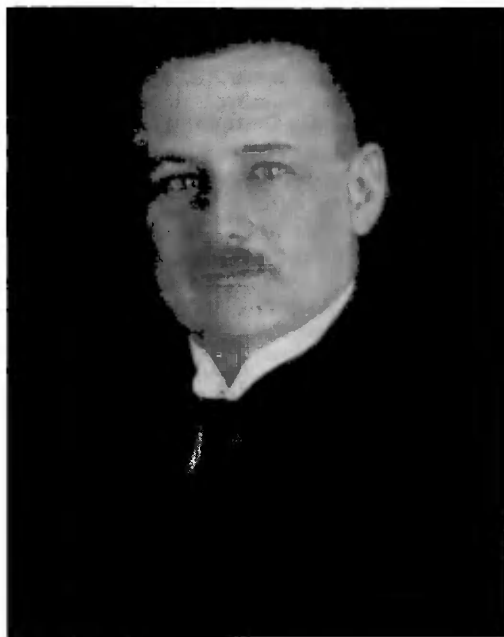
В американской эмиграции Георгий Вернадский превратился в George Vernadsky, одного из самых известных историков России в XX в.

Опубликованные библиографии (весьма неполные) насчитывают более 160 его работ, хронологически охватывающих всю историю России — с древнейших времен до XX в. Его многообразное и обширное научное наследие, практически все опубликованное, пока не получило монографического рассмотрения ни в России¹, ни на Западе; своего биографа Георгий Владимирович тоже пока не обрел.

Вернадский был единственным историком, который всегда придерживался евразийской теории. Еще в 1928 г. П.Н.Милюков прозорливо заметил, что, связав свое имя с евразийством, Вернадский «рисковал карьерой». Действительно, нарушив академическую традицию «чистого знания», евразийская историческая мысль дерзнула выйти за границы профессиональ-

© М.Ю.Сорокина

¹ См. важнейшие из последних работ о нем: Вандалковская М.Г. Историческая наука российской эмиграции: «евразийский соблазн». М., 1998; Козляков В.Н. «Это только персонификация не нашего понимания исторического процесса»: Георгий Владимирович Вернадский (1887—1973) и его «Очерки по русской историографии» // Вернадский Г.В. Рус. историография. М., 1998. С.5—26; Он же. Обзор коллекции документов Г.В.Вернадского в Бахметевском архиве Библиотеки Колумбийского университета в Нью-Йорке // Там же. С.395—444.



Георгий Владимирович Вернадский (1887–1973).

ного поля и предложить историко-культурную концепцию, заостренную на поиски «русской идеи». Однако откровенно помещаемая в ограничительную рамку православно-конфессионального зрения, она вызвала и вызывает самые противоречивые суждения современников и потомков.

Многие работы Георгия Вернадского, написанные в США, имели откровенно просветительский характер, а оторванность от привычной научной среды и источниковой документальной базы неизбежно вела к определенной компилятивности. Тем не менее до сих пор американские студенты начинают изучать русскую историю «по Вернадскому», и один этот факт достаточно определяет значимость его фигуры.

Еще недавно запрещенное в СССР, сегодня имя Георгия Вернадского можно найти во многих новых российских энциклопедиях², где скупые биографические строки рисуют облик вполне состоявшегося и преуспевающего ученого. Однако в действительности все было намного сложнее. Не случайно Вернадский так и не опубликовал воспоминаний ни о «пражском», ни о

«йельском» периоде своей жизни, хотя в черновиках они существуют и хранятся в его обширном фонде в Бахметевском архиве Колумбийского университета (США)³.

Столь же значительный фонд Г.В.Вернадского, но относящийся к дореволюционному времени, находится у нас, в Государственном архиве РФ — ГАРФ (в 40-е годы он был волонтеристски изъят из Архива Российской академии наук — АРАН). Эти собрания документов предоставляют широкие возможности для реконструкции жизненного пути автора многотомной «Истории России», фактически завершавшей ту «энциклопедическую» парадигму русской историографии, которая связана с трудами Н.М.Карамзина, С.М.Соловьева, В.О.Ключевского.

ДОРЕВОЛЮЦИОННЫЙ «МИР» ВЕРНАДСКОГО-МЛАДШЕГО

Георгий Вернадский родился 20 августа (1 сентября) 1887 г. в семье естествоиспытателя, впоследствии академика Владимира Ивановича Вернадского (1863–1945). С детства вхожий в дома русской интеллектуаль-

² См., напр.: Русское зарубежье. Золотая книга эмиграции. Первая треть XX века. Энцикл. биогр. словарь. М., 1997. С.142–144 (автор статьи — Н.Е.Соничева).

³ Пользуясь случаем, хочу отметить, что моя работа с материалами семьи Вернадских в Бахметевском архиве (далее ВАР) стала возможна благодаря гранту Программы Фулбрайт (США).

ной элиты, Георгий, казалось, обстоятельствами рождения и воспитания был «обречен» на традиционные для людей его круга профессорскую карьеру и кадетскую партийность. Он окончил в 1905 г. с золотой медалью в Москве 5-ю классическую гимназию; в 1905—1910 гг. занимался на историко-филологическом факультете Московского университета. Выбор темы кандидатского сочинения — «Общественная программа дворянских наказов в Екатерининскую комиссию 1767 г.» — вполне определенно обозначил стремление молодого историка к связи науки и современных ему социальных проблем России.

К этому добавим, что еще в гимназические годы Вернадский-младший последовательно перепробовал традиционный для интеллигенции тех лет набор исканий: кружок «самоусовершенствования», «хождение» к Льву Толстому в Ясную Поляну, дискуссии с социал-демократами. Студентом он участвовал в кампании помощи голодающим, зимой 1906 г. был арестован, сотрудничал в Крестьянском союзе, работал в молодежной организации конституционно-демократической партии — фактически след в след повторяя путь идейных исканий своего отца и его друзей — известных либералов Д.И. Шаховского, братьев С.Ф. и Ф.Ф. Ольденбургов, А.А. Корнилова и др., членов так называемого «приютинского братства»⁴.

Сестра Георгия Нина вспоминала: «Друзья были из Братства, их дети были для нас родные братья и сестры. Это был громадный мир, связанный взаимной верой, любовью и чувством ответственности перед жизнью»⁵. В этих словах, написанных десятки лет спустя, слышатся ностальгически-идеализирующие нотки, но они точно обозначают дореволюционный «мир», или, как сказал бы сам историк, «месторазвитие» молодых Вернадских.

Молодежь, казалось, напоминала родителей. Как и в «большом» братстве, в «малом» тоже был рельефно очерченный центр: «Гуля (домашнее имя Г.Вернадского. — М.С.), Нина Ильинская, Соня Любоцинская, Наташа Шаховская и товарищи Георгия, в том числе Михаил Владимирович Шик, и др. составили тесный кружок и энергичный, далеко еще не сложившийся, но очень одаренный. Он жил своей жизнью, отчасти держась в стороне от нас, очень молодых родите-

лей», — заметил Владимир Иванович Вернадский⁶.

Среди этой молодежи Вернадский-старший не случайно выделил по имени-отчеству Михаила Владимировича Шика, который, хотя и был ровесником Георгия, казался значительно старше и глубже остальных. «Под его влиянием мы вернулись к церкви», — вспоминала жена Вернадского-младшего⁷. Почти одновременно с появлением сборника «Вехи» Шик издал свой перевод знаменитого «Многообразия религиозного опыта» У.Джеймса — книгу, в предвоенные годы ставшую властительницей дум интеллигентной молодежи обеих российских столиц. Именно с Шиком тема религиозного переживания, православия как способа самоосознания личности вошла в молодое Братство и зримо обозначила границу отталкивания «отцов» и «детей».

Противогосударственность, безрелигиозность, космополитизм — диагноз, поставленный «Вехами» русской демократической интеллигенции, — совпадал с тем, что видело в старшем поколении «молодое Братство». «Я решительно за «Вехи»! — восклицал в 1909 г. в письме Г.Вернадскому его друг Михаил Карпович, или Мих, в будущем историк, профессор Гарварда, а в ту пору еще студент, правый эсер и меломан. — Это книга для меня написанная, почти мной написанная»⁸. А сам Георгий еще в 1907 г. писал отцу о ложности профессиональной, «оплачиваемой» политической деятельности⁹; читая письма Чехова, он восхищался тем, как писатель «ругает русских интеллигентов за узость, как он ищет полной духовной свободы, как он ненавидит рамки и направления, будь то направления профессоров или жандармов»¹⁰.

Георгий менее своих друзей был склонен к конфронтации и тем более осуждению родителей. Мягкий, очень домашний, «частный» человек, он никогда не был лидером, скорее ведомым. Влияние семьи на него было огромно. Практически всю жизнь Георгий ощущал на себе тень, а часто и давящий пресс отца. Его первые научные работы 1913 г., «евразийские» по замыслу, вызвали суровую критику академика Вернадского, который и в дальнейшем

⁶ АРАН. Ф.518. Оп.2. Д.33. Л.44об.

⁷ Archive of Russian and East European History and Culture (далее — BAR). Vernadsky Collection (далее — Coll.). Box (далее — В.) 139.

⁸ ГАРФ. Ф.1137. Оп.1. Д.248. Л.20.

⁹ АРАН. Ф.518. Оп.2. Д.39. Л.42об.

¹⁰ ГАРФ. Ф.1137. Оп.1. Д.366. Л.9—9об.

⁴ См.: Аксенов Г.А. Сила братства // Природа. 1988. № 2. С.82—93.

⁵ Владимир Иванович Вернадский: Материалы к биографии // Прометей. Т.15. М., 1988. С.121—122.

Гуле десять лет.



В кругу семьи. Слева направо: Георгий, его дядя Павел Егорович Старицкий, мать Наталья Егоровна, сестра Нина, отец Владимир Иванович.



С Ниной Владимировной после свадьбы. 1909 г.



Молодое братство. За столом — Г.В.Вернадский, справа от него — М.В.Шик, слева — М.М.Карпович, А.Д.Шаховская, Н.Д.Шаховская, Н.В.Вернадская (ур.Ильинская); в белом фартуке — прислуга Поля. 1912 г.



тщательно рецензировал все сочинения сына.

Окончив Московский университет с дипломом 1-й степени, Георгий не был оставлен «для приготовления к профессорскому званию». В воспоминаниях он причисляет к своим «московским» учителям историков самых разных научных школ и разной политической ориентации, что свидетельствует скорее о желании подчеркнуть свою преемственность по отношению к русской дореволюционной исторической школе в целом, чем о реальном влиянии того или иного направления. Между тем всех этих историков надолго развел 1911-й год, когда из Московского университета в знак протеста против политики министра народного просвещения Л.А.Кассо ушли более ста профессоров и преподавателей. Из числа историков к ним присоединились кадеты А.А.Кизеветтер и Д.М.Петрушевский.

Одним из инициаторов профессорской акции 1911 г. стал Вернадский-старший, также покинувший университет. Магистерские экзамены Георгий сдавал уже в Петербурге. Темой диссертации он выбрал историю колонизации Сибири в XVI—XVII вв., но, став приват-доцентом столичного университета, начал заниматься историей русского масонства XVIII в., диссертацию о котором защитил 22 октября 1917 г.

Свои скитания по России в годы гражданской войны Г.Вернадский подробно описал в опубликованных воспоминаниях. С осени 1917 г. он преподавал в Пермском университете. В мае 1918 г., предупрежденный о возможности ареста, вынужден был скрываться. Затем, побывав летом в Москве и Киеве, уехал в Крым, где стал преподавать в Таврическом университете. В сентябре 1920 г., по совету П.Б.Струве, был назначен заведующим отделом печати в правительстве барона П.Н.Врангеля, с войсками которого, как уже говорилось, эвакуировался в Константинополь. В этих воспоминаниях Георгий не акцентировал, однако, главного — кардинального изменения мировоззрения, или, по его собственным словам, сказанным в письме, «осознания того, к чему раньше относился безразлично, именно — я националист и монархист». Кадет-западник Георгий Вернадский остался в России, в эмиграцию пришел совсем другой человек¹¹.

РУССКАЯ ПРАГА

Русская диаспора в Чехословакии не была многочисленной (около 35 тыс.). Однако довольно быстро Прага оказалась крупнейшим интеллектуальным центром русского зарубежья, где сосредоточилась значительная часть его элиты — и политической, и научной. Еще в 1921 г. П.Б.Струве писал о желании создать в Праге «до падения большевиков центр русской зарубежной академической и учено-учебной жизни». План Струве совпал с намерениями лидеров молодой Чехословацкой республики, и I съезд русских академических организаций состоялся в октябре 1921 г. именно в Праге, куда был приглашен министром иностранных дел Чехословакии Э.Бенешем, начинавшим свою Русскую акцию.

Русская акция замышлялась на непродолжительный срок, и правительство ЧСР не жалело на нее средств. Ассигнования, начавшись с 10 млн крон в 1921 г., перевалили к 1926 г. за 300 млн крон. Президент Т.Масарик и министр иностранных дел Э.Бенеш полагали, что «гуманитарная помощь может оказаться выгодным помещением политического капитала» и Русская акция делает их страну ведущим славянским центром Европы.

Первоначально помощь была предложена 50 профессорам. В числе приглашенных оказался Георгий Вернадский, приехавший с женой из Греции 16 января 1922 г. и сразу же включившийся в работу по организации русских научно-учебных учреждений. После избрания председателем Русской академической группы в Праге академика Струве Вернадский вошел в правление группы, осенью того же года был избран секретарем проходившего в Праге II съезда русских академических организаций. А когда в Праге открылся Русский юридический факультет, Вернадский в качестве профессора начал читать курс по истории права Российской империи, в 1924 г. опубликованный как учебник «Очерк истории права Русского государства XVIII—XIX вв.», ставший его первой книгой в эмиграции.

Казалось, жизнь начала устраиваться. Близость к академикам П.Б.Струве и Н.П.Кондакову делала фигуру Вернадского заметной в чешских правительственных кругах. Жена Георгия Нина регулярно пела в салонах Крамаржей и Масариков; Рождество и лето 1923-го, Пасху 1924-го Вернадские провели в Париже. Появилась возможность помочь друзьям и знакомым. Благодаря усилиям Вернадского в Прагу приехали будущий «кондаковец» Н.П.Толль и о.Сергий (Булгаков), с

¹¹ См. публ. в «Новом журнале»: «Пермь—Москва—Киев» (1971. Кн.104), «Крым» (1971. Кн.105), «Константинополь» (1972. Кн.108). А также: Письмо А.Ф.Родичевой 1 мая 1922 г.; BAR. Rodichev family Coll. B.4.

которым Георгий сблизился еще в Таврическом университете; осенью 1922 г., приглашая из Софии религиозного философа А.В.Флоровского, Вернадский вполне уверенно обещал помочь ему со стипендией.

До 1925 г. Вернадские живут в Збраславе, в их доме регулярно устраиваются музыкальные вечера, у Георгия появляются ученики — А.Б.Эфрон, С.Г.Пушкарёв. В начале 1925 г. Вернадские переезжают в Прагу, в русский «профессорский» дом.

«Я сейчас очень увлечен... — писал Георгий отцу в декабре 1924 г., — чтением (и переводом, но это по секрету) Константина Багрянородного — «О чинах византийского двора». Это сочинение — прямо кладёзь живой воды по византиноведению, а между тем оно поразительно мало использовано. Я думаю серьезно этим заняться — работа на несколько лет при параллельной разработке татарского вопроса, в который я тоже вхожу»¹². Перевод Вернадский делал с коллегами по будущему *Seminarium Kondakovianum* — знаменитому Кондаковскому семинарию, переросшему затем в Институт, который на много лет стал одним из главных его дел.

Семинарий возник еще при жизни выдающегося русского археолога, византолога, историка искусства академика Н.П.Кондакова (1844—1925), приехавшего в Чехословакию из Болгарии по личному приглашению президента Масарика и преподававшего в Карловом университете. В лучших традициях русской дореволюционной науки академик работал с некоторыми слушателями не только в стенах университета, но и дома. «Понедельники», «среды», «пятницы» издавна служили одним из самых надежных — «из рук в руки» — каналов передачи и сохранения преемственности в гуманитарной науке.

Среди тех, кто часто бывал у Кондакова, выделялись Г.В.Вернадский, А.П.Калитинский, Н.М.Беляев, Н.П.Толль и др. После кончины Кондакова они решили продолжить его исследовательскую программу в рамках Семинария, занимающегося «кондаковским» направлением — историй древнерусского, византийского, восточного искусства в сравнительно-историческом плане и в связи со средневековой историей культуры вообще. Кроме того, предполагалось издать неопубликованные труды Кондакова, прежде всего его фундаментальное многотомное исследование о русской иконе, а также сборник его памяти.

В отличие от других эмигрантских научных учреждений, в самих названиях подчеркивавших свою «русскость», Кондаковский

семинарий изначально создавался как интернациональный научный центр. В основе его организационной структуры лежала модель сотрудничества между постоянным пражским ядром-центром и приглашаемыми «со стороны» учеными, а независимые от русской эмиграции источники финансирования обеспечивали возможность максимально дистанцироваться от политики.

Между тем Вернадскому и его коллегам виделось большее. Они «хотели бы создать настоящий исследовательский институт по археологии и византиноведению, Kondakov Institution», — как писал Вернадский Карповичу в феврале 1926 г. И продолжал: «Миша, дорогой, найди на это дело денег (хорошо бы 10 000 долларов в год — на это уже можно довольно широко поставить дело), затем брось Америку и приезжай с женой и сыном (и деньгами!) на Балканы или в Афины, или где мы устроимся. Seriously, это не бред, если у тебя будут какие-нибудь идеи, к кому обратиться, — найди ходы к кому-нибудь из ваших миллиардеров, которому было бы приятно быть проректором или дать имя новому научному институту. Если хочешь, я пришлю тебе разработанный проект русского Института археологии и византиноведения. Поместить его можно где угодно в восточной части Средиземного моря. Ты будешь членом этого Института, вот тебе жизненное дело, которому всего себя можно отдать. Поверь только в это дело, пожелай его как следует, и тогда добьешься!»¹³

Почти юношеский энтузиазм, каким пропитано письмо Вернадского, имел практическое воплощение. В Бахметевском архиве сохранились три разных варианта, описывающих устройство будущего института. Все они датируются серединой 1925 г. Один из проектов предусматривал образование «Института археологии и византиноведения им.Н.П.Кондакова, учрежденного Ч.Крейном».

Несколько слов о Чарльзе Ричарде Крейне (Charles Richard Crane; 1858—1939), личности интереснейшей и мало известной в России. Миллионер, глава знаменитой «Crane Company» в США, он был страстным поклонником всего славянского, в том числе национально-русского, понимаемого им прежде всего как православное. Более двадцати раз бывал в России, где встречался с самыми разными людьми — от императора Николая II до хлыстов; последний визит, уже в Советскую Россию, состоялся в 1937 г. Именно Крейн в самом начале века «завез» в Америку новых славянских либеральных лидеров — П.Н.Ми-

¹² BAR. Vernadsky Coll. B.84.

¹³ BAR. Karpovich Coll. B.3.



«Вначале мы живем хорошо... — Георгий получает много денег, мы покупаем машинку и немного одеваемся», — фиксировала в дневнике жена Георгия Нина Владимировна. (Прага, 1925 г.)

люкова, М.М.Ковалевского, Т.Масарика и обеспечил им publicity, а потом принял самое активное участие в продвижении русских программ в Университете Чикаго. После октябрьских событий в России идею славянского возрождения Крейн связывал уже с Чехословакией и всячески поддерживал инициативы чешского руководства.

Попытка Вернадского обрести спонсора института в лице столь влиятельной фигуры казалась очень перспективной. О трудности реализовать этот проект предупреждал академик М.И.Ростовцев¹⁴, хорошо знавший непостоянство интересов Крейна, и оказался прав: к 1925 г. они сместились

от славянской экзотики к восточной, создания института он не поддержал, но финансировал сборник памяти Кондакова, а также выделял именные стипендии членам Кондаковского семинария.

За первые два с половиной года существования Семинарий весьма основательно заявил о себе изданиями, в которых наряду с кондаковцами сотрудничали известные русские гуманитарии, члены Российской академии наук, оставшиеся в Советской России (Ф.И.Успенский, И.Ю.Крачковский, В.В.Бартольд, С.А.Жебелев и др.), и крупнейшие западные специалисты (Т.Уитмор, Г.Мийе и др.).

Русская ученая Прага, напротив, в большей своей части относилась к Семинарию настороженно, а часто и недоброжелательно. Не последнюю роль в этом играла

¹⁴ Скифский роман / Под общ. ред. Г.М.Бонгард-Левина. М., 1997. С.517.

тень «евразийства» как глэушной организации; в эмиграции с ГПУ прямо связывали многих евразийцев, прежде всего П.Н.Савицкого, сотрудничавшего с кондаковцами и более всего с Вернадским. Подозрительность, ревность и даже зависть коллег по профессии, чья деятельность не имела такого мирового резонанса, необходимость постоянно преодолевать финансовые затруднения изрядно отравляли атмосферу и в самом Семинарии, где уже в преддверии отъезда Вернадского в США в 1927 г. появились признаки внутренних конфликтов.

Именно Георгий Владимирович был тем человеком, благодаря которому сохранялся моральный баланс. С его отъездом конкуренция в Семинарии все более обострялась. Каждый из оставшихся претендовал на руководство и лидерство, а Вернадскому даже из-за океана приходилось выступать третейским судьей.

Положение самого историка в Праге значительно осложнилось неопределенностью его профессионального статуса. Докторской степени, присуждаемой университетом, он не имел и, следовательно, не мог претендовать на полноценное звание профессора. Ощущая ущербность такого положения, он собирался защититься в 1927 г. на Юридическом факультете одну из опубликованных книг как докторскую диссертацию. Однако это намерение встретило резкое осуждение отца. «Знаешь ли ты, что докторская степень факультета никогда не будет признана или не будет считаться равноценной с докторской степенью университета, если университеты в России получают автономию?» — сурово вопрошал академик и продолжал: «Вообще меня очень смущает Пражская университетская русская организация в ее университетской политике... Можно мириться с магистерской факультетской степенью — *faute de nouveau* (ошибкой молодости. — М.С.), — но зачем вводить докторскую факультетскую? Возможно, что ты будешь играть, если автономия возродится в будущем, роль немножко смешную и зачем ставить себя в такое положение? ... лучше не давай на трепание свое имя»¹⁵. И докторскую диссертацию Вернадский тогда не защитил — как оказалось, ему не суждено было защитить ее никогда.

Отношения с коллегами по профессии, большинство из которых были еще недавно его соратниками по партии (кадетами) или социалистами разного толка, также складывались мучительно. Вернадского постоянно упрекали в том, что он «быстро» печатал свои сочинения, не

обрабатывая, «противно тому, что делали старые профессора». И если в рецензии на «Государственную Уставную грамоту», изданную в 1925 г., А.А.Кизеветтер назвал книгу «первым опытом», совсем немного прибавляющим к истории составления Грамоты, объяснив это отсутствием необходимых архивных источников, то в газетном отклике на «Начертание русской истории» — первую большую «евразийскую» книгу Г.Вернадского — уже прямо и безжалостно обвинил его в «запутывании и затемнении наших представлений о русской истории».

Одна из первых вспышек корпоративного партийно-научного раздражения произошла еще осенью 1924 г. на III (Пражском) съезде русских академических организаций, где Вернадский выступил с докладами о землепользовании помещичьих крестьян XVIII—XIX вв. с частнопроводной точки зрения и военных поселений при Александре I. Вернадский проводил тезис об определенной целесообразности крепостного права для устойчивости государства в известную эпоху, а аракчеевские военные поселения интерпретировал как первые реальные шаги к отмене крепостного права, что было воспринято эсеровско-кадетской, а частично и «возвращенческой» Прагой как попытка идеализации крепостного права и монархии вообще. «Меня (главное без всякого основания, все ложь и клевета), — писал Георгий отцу, — продолжают травить за мои выступления на съезде ученых <...> мое имя у эс-эров и большевиков стало совсем крамольным — им надо было выдумать что-нибудь про съезд и русскую эмигрантскую науку — вот я и явился козлом отпущения»¹⁶.

В этой травле особенно преуспел автор статьи «Белая "наука"», опубликованной в «Воле России» (1924, № 16/17) под псевдонимом Ф.Репейников, за которым скрывался скорый возвращенец Далмат Лутухин. Советская печать немедленно подхватила возмущение Репейникова, и 15 ноября 1924 г. ленинградская «Красная газета» объявила профессора Вернадского мракобесом и реакционером, жаждущим порабощения крестьянства.

В этих условиях отъезд Георгия Вернадского в США напоминал бегство.

ГАРВАРД ИЛИ ЙЕЛЬ?

Американская тема возникла почти сразу после прибытия Вернадского в ноябре 1920 г. в Константинополь и была связана с именами его старых друзей —

¹⁵ BAR. Vernadsky Coll. B.12.

¹⁶ BAR. Vernadsky Coll. B.84.

Михаила Карповича и американского историка Фрэнка Голдера.

При содействии Голдера Вернадский решил перебраться с женой в США, и в начале марта 1921 г. они даже отплыли на пароходе в направлении Нового Света, но, не выдержав морской болезни, вернулись и остались в Греции. Тем не менее мысль об Америке не оставляла его и была постоянным предметом обсуждения в переписке с Карповичем, который, однако, предостерегал друга, что найти «интеллигентную работу» очень трудно.

В конце 1924 г. Голдер встречался в Вашингтоне с Ростовцевым и обсуждал с ним будущее Вернадского. Сообщая Вернадскому об этом разговоре, Голдер не скрывал, что первый в «его» списке на устройство в американских университетах — Карпович и ищет место прежде всего для него; но советовал надеяться и главное — учить английский. Летом 1925 г. для Карповича возникла перспектива преподавания в Калифорнийском университете, однако сам он отнюдь не стремился на западное побережье и через декана исторического факультета Л.Паэтова пытался сватать туда Вернадского.

Через полгода ожидания, 22 сентября 1926 г., Вернадскому оставалось только констатировать: «Paetow молчит, и, очевидно, я и в Америке места не получу»¹⁷.

Но неожиданно стал развиваться новый американский сюжет. В связи с предполагавшейся отставкой в конце 1926 г. профессора Роберта Г.Лорда, читавшего русскую историю в Гарварде, оказалась вакантной его кафедра. Одним из кандидатов на нее рассматривался и Вернадский. В письме Карповичу 7 ноября 1926 г. он сообщал, что получил на днях предложение выставить свою кандидатуру в профессора русской истории «в каком-то» американском университете.

Однако уже 14 декабря 1926-го он с горечью признавался: «Дорогой Миша! На днях получил твоё письмо, и мы с Ниной уже размышляли, как мы вас повидаем — но, по-видимому, поездка наша не состоится. Вчера меня вызывал к себе приехавший сюда на несколько дней из Парижа проф. Eisenmann (через которого шло все это дело), и намеками дал мне понять, чтобы я не рассчитывал на профессию в Harvard'sком университете (оказывается, речь шла именно о Harvard'sком), т.к. у меня конкурент с очень сильными рекомендациями. Выяснилось потом, что этот конкурент Пав. Пав. Гронский, т.е. человек, который никакого отноше-

ния к науке русской истории не имеет (м.б., хороший юрист, этого уж я не знаю). Вот как делаются дела на свете!»¹⁸ Пикантность ситуации заключалась в том, что главным конкурентом Вернадского на место в Гарварде оказался не столько П.П.Гронский, сколько адресат письма.

Лекции Карповича начались в Гарварде 8 февраля 1927 г. Кажется, за такой исход он испытывал некоторую неловкость перед старым другом, который был несомненно более профессионально подготовлен. А так как сама профессура все еще оставалась свободной, Карпович позволил себе пофантазировать: «Идеальным было бы такое решение: пусть берут тебя профессором вместо Лорда, а меня твоим ассистентом или инструктором при тебе (у них такая должность по истории существует). Вот было бы хорошо! Как бы их в этом убедить?»¹⁹

Почти параллельно гарвардскому развивался йельский сюжет, хорошо представленный публикациями переписки Ростовцева и Вернадского в книгах М.Веса и Г.М.Бонгарда-Левина²⁰. Оба автора считают, что Вернадский обязан своим приглашением в Йельский университет Ростовцеву. Судя по переписке, с самого начала Вернадскому предложили очень скромные условия — работу на один учебный год в качестве преподавателя, ведущего практические или семинарские занятия, в высшей школе, с жалованием 1500 долл. в год и с оплатой переезда. В итоге Вернадский получил должность с еще меньшим жалованием — 1000 долл. в год. Предполагалось также, что он будет вести курс введения в русскую историю и работать в русском отделе университетской библиотеки.

Йельское приглашение последовало в тот момент, когда выбора у Георгия Владимировича не было и любое предложение из США показалось бы манной небесной. 28 июля 1927 г. он сообщил родителям из Праги: «Все уладилось благополучно: все бумаги достали, получили паспорта и американскую визу и заплатили полностью за Аквитанию. Значит, жребий брошен и с небольшим через две недели мы уже должны leave Europe (покинуть Европу. — М.С.)»²¹.

Еще и сегодня в новейшей исторической литературе приходится читать, что Вернадский получил в 1927 г. кафедру в

¹⁸ BAR. Karpovich Coll. B.3.

¹⁹ BAR. Karpovich Coll. B.3.

²⁰ Wes Marinus A. Michael Rostovtzeff, *Historian in Exile*. Stuttgart, 1990. P.75—78; Скифский роман. С.516—529.

²¹ BAR. Vernadsky Coll. B.84.

¹⁷ BAR. Karpovich Coll. B.3.

Йельском университете. Между тем фигурирующая в его официальных биографиях должность «research associate in history» (прямого перевода на язык рангов русской/советской вузовской науки она не имеет) означает только то, что для него было как бы специально придумано некое место, искусственный и временный статус которого явно не давал никаких перспектив профессионального продвижения. Впрочем, хорошо известно, что на протяжении 30-х годов Вернадский все-таки преподавал и, по-видимому, в самой низкой должности (instructor), совершенно не соответствующей его квалификации и годам.

«В неудачах моих отчасти, может быть, виноват я сам, — писал он отцу в 1933 г., — отчасти же — и я думаю главным образом — внешние обстоятельства, т.е. главным образом весь строй Department of History нашего университета. Во-первых, они себе ставят главным образом цели учебные, а не научные. Во-вторых, и учебные цели понимают очень узко. В частности, они совершенно исключают из своей нормальной программы славянство и Россию. К этому еще присоединяется, по-видимому, мнение некоторых членов Department'a о том, что мой английский язык недостаточно fluent (беглый. — М.С.). Надо сказать, что я действительно с большим трудом и очень медленно овладевал английским языком — я сам был в своих способностях разочарован — но теперь-то как раз я считаю, что я языком овладел (конечно, совершенствоваться все время надо будет), и тут отчасти у моих недоброжелателей действовали воспоминания о моих первых годах, а отчасти дело в том, что я не языком не владею, а совершенно не подхожу к ним по интересам, по психологии. У них, например, почти неприлично считается говорить о науке помимо специальных разговоров по специальным appointment'am (здесь: вне условленных встреч. — М.С.). Попытки создать тут историческое общество не увенчались успехом. При встречах — на department'ских завтраках, напр., — говорят большей частью или об университетских сплетнях, или о футбольных матчах, на которые я не хожу и от безденежья и от того, что не интересуюсь. Все это привело к тому, что в прошлом декабре я получил от Chairman'a исторического отделения (профессора Гэбриэля — профессора американской истории, ничем в науке не замечательного) письмо, что ввиду денежного кризиса и сокращения бюджета университета мое назначение не будет возобновлено по

истечении срока (срок истекает 1 июля 1935). Я на это письмо не ответил, но перестал ходить на department'ские lunch'и».

Далее Георгий пишет, что шансы на «возобновление приглашения» все же остаются, и заключает: «Вообще же получается какое-то дурацкое положение. С одной стороны, мне полный почет и уважение в американском академическом мире <...>, а вот между тем в Yale'e мое положение так непрочное, не говоря о том, что жалование мне платят по американским понятиям (и условиям жизни) нищенское. Да, еще при этом надо сказать, что занятия мои со студентами идут, по-моему, вполне благополучно (и на мой английский язык студенты не жалуются). <...> Как бы то ни было, я твердо верю, что, если Бог даст, через несколько лет я пробьюсь в Америке и завоюю себе настоящее положение, но, конечно, все это неопределенное положение мешает вполне отдаваться чисто научному творчеству»²².

За глаза Георгия Владимировича упрекали не только в неважном знании английского, но и в том, что он в ущерб преподаванию занимается научной работой и мало времени уделяет студентам. В течение многих лет только благодаря личным связям и авторитету Ростовцева Йельский университет продлевал незавидные контракты Вернадского.

Необходимость «завоевания Америки» заставляла Вернадского обращаться к темам, весьма далеким от его исследовательских интересов. От родных он никогда не скрывал абсолютно вынужденного характера этих сочинений: «...пришлось писать о Троцком в Curr[ent] Hist[ory]²³... Писать эту последнюю статью было, признаться, неприятно, но отказаться от предложения было нельзя, т.к. Curr[ent] Hist[ory] создает известную марку среди более широких слоев американской публики, а мне приходится отчаянно пробиваться в Америке»²⁴. В начале 30-х он выпустил ряд обзорных работ по новейшей истории России, в том числе «The Russian Revolution. 1917—1932» и переизданную недавно на русском языке книгу «Lenin, Red Dictator». Его статьи часто появлялись в научной периодике, но преимущественно не американской.

Параллельно, для души, Вернадский планировал несколько совместных проектов с Михаилом Карповичем. В середине 30-х они

²² BAR. Vernadsky Coll. B.84.

²³ Vernadsky G. Trotsky Turns Historian // Current History. 1933. V.XXXIX. P.176—181.

²⁴ BAR. Vernadsky Coll. B.84.

В Нью-Хейвене. 30-е годы.



собирались написать биографию Федора Родичева — одного из известнейших русских либералов, к тому же родственника Вернадского по линии жены. В архиве Георгия Владимировича сохранилась рукопись начальных глав этой книги, посвященных родословной и детству Родичева. Судя по стилю, работа учитывала интерес и любовь американцев к жизнеописаниям знаменитых людей и должна была стать беллетристической книгой, а не академически сухой. Для подготовки глав, посвященных гражданской войне, — наиболее сложных для историка в плане сбора документов, — Вернадский брал интервью у коллег Родичева по партии (сейчас это называется «oral history»); сохранились записи его бесед с графиней С.В.Паниной и Ростовцевым.

Благодаря постоянной переписке с

дочерью Родичева Александрой Федоровной, жившей в Швейцарии, он получил много семейных материалов и в конечном итоге, при самом активном участии Вернадского, архив семьи Родичевых был приобретен Колумбийским университетом. Но книга о Родичеве так и не была завершена. Ее вытеснил другой общий проект Вернадского и Карповича, решивших предпринять издание на английском языке подробного курса истории России в 10-ти томах.

Финансовую поддержку проекта через Гуманитарный фонд обеспечивал бывший посол России в США Б.А. Бахметев, а издательство Йельского университета пообещало опубликовать многотомник, каждый выпуск которого, по американской традиции, при цельности общего замысла мог одновременно служить и учебным пособием по отдельным

периодам русской истории. В этом издании Вернадский брал на себя первые шесть томов, а Карпович последние четыре — Россия в XIX и XX вв. Свою часть проекта Вернадский со свойственной ему последовательностью почти выполнил: в 1943 г. вышла «Древняя Русь», в 1948-м — «Киевская Русь», в 1953-м — «Монголы и Русь», в 1958-м — «Россия в средние века», в 1968-м — «Московское царство». Он довел работу до 1682 г. Карпович же своих томов так и не написал. По складу характера он не был кабинетным ученым, а преподавательская занятость и издание знаменитого «Нового журнала» еще более отдаляли его от реализации задуманного.

Несмотря на это, отношения Вернадского и Карповича всегда оставались самыми дружескими. Ближайший круг общения Вернадских на протяжении всех американских лет оставался русским — прежде всего старые знакомые и родственники — Панина, Ростовцевы, А.И.Петрунkevич, Карповичи, Зарудные, А.Л.Толстая. Нина Вернадская вела ежегодные записи гостей на самый дорогой для семьи праздник — Пасху. Под 1933-й: «...были Ростовцевы чудесно. Кушали с удовольствием и были веселы и ласковы и разговорчивы. Как нам надо благодарить судьбу, что они у нас есть». Пасху 1934-го встречали «в ростовцевской квартире с Сережей Зарудным», 1935-го — с Карповичами. Пасха 1936-го оказалась «богатой», т.к. перед ней «Георгий получил за Ленина (т.е. за книгу «Lenin, Red Dictator». — М.С.) 190 долларов»²⁵.

В 1938 г. в США, в Нью-Хейвен, наконец-то из Чехословакии приехали Толли: родная сестра Вернадских — Нина Владимировна, ее муж, фактический директор Кондаковского института Николай Петрович Толль и их дочь Танечка, которым первоначально, в 1934 г., отказали во въезде в США. Однако вместо ожидаемой радости их приезд, напротив, внес много нервозности. Толли довольно быстро адаптировались к американской жизни. Нина — врач-психиатр — нашла работу по специальности, а значит, неплохой доход; при покровительстве Ростовцева Толль устроился в университете. Оба они стали пользоваться успехом у американцев.

Настроение Георгия и Нины Вернадских было иным: «Для меня успех у американцев есть признак морального почти падения», — записывала Нина²⁶. Идеология обязательного жизненного преуспевания, понимаемая в Америке прежде

всего как карьерный, материальный успех, так и осталась для них чуждой. А материальная необеспеченность — постыдная в Америке и тем более в научной среде — развивала болезненную замкнутость образа жизни. Еще в конце 1931 г., отказываясь принять пост члена Совета Кондаковского института, Вернадский с горечью писал Толлю: «Мое настоящее положение в Америке совершенно для такой помпезной роли не подходит. Было бы смешно, если бы я начал вместе с Крейном заседать в нем, ибо я по американским понятиям нищий и мне таких выступлений делать не полагается», — и советовал привлечь Ростовцева, тогда «будет очень удачное с американской точки зрения трио: княгиня, миллионер и ученый с мировым именем»²⁷.

К концу 30-х ситуация не изменилась. На Пасху 1939 г. горькая запись Нины Вернадской: «В среду были у Ростовцевых. Г. пил, я удрала на бусе (автобусе. — М.С.). Была забываемая ночь. Г. не должен пить так, он может совсем упасть, если будет продолжать. Он был прямо страшный, кричал ужасные вещи и потом заснул тяжелым храпящим сном. Я не спала ни одной минуты и все думала, думала. Никогда не забуду. Нам надо подниматься куда-то. Дальше так жить нельзя. Что-то не так»²⁸.

Разлад, возникший в отношениях с Ростовцевыми и Толлями, переживался Вернадскими исключительно тяжело: «После каждой из этих драм мы себя чувствовали так, точно обухом нас ударило по голове, и я чувствую, как мы меняемся, теряем веру в людей, отходим от людей, люди отходят от нас и делаемся мы одиноки. В этом одиночестве еще крепче наша близость с Георгием, но иногда бывают моменты, когда тяжело это ощущение, что люди уходят, уходят, что с ними как будто и жизнь уходит и мы точно уплываем куда-то одни на тающей льдине».

Начало второй мировой войны, нападение Германии на СССР и необходимость выбирать «патриотическую» или иную позицию обострили отношения внутри эмиграции. Для Вернадских связь с Родиной никогда не прерывалась — они постоянно интенсивно переписывались с родителями, причем вся почта с их согласия шла непосредственно через послов СССР в США М.М.Литвинова и А.А.Громыко (по-ви-

²⁵ BAR. Vernadsky Coll. B.141. F.2.

²⁶ BAR. Vernadsky Coll. B.142.

²⁷ Пашуто В.Т. Русские историки-эмигранты в Европе. М., 1992. С.35.

²⁸ BAR. Vernadsky Coll. B.142.

димому, возлагавших надежды на возвращение Г.Вернадского). Сомнений, чью сторону принять, не было. Георгий регулярно выступал по радио и в местной прессе с обзорами положения в СССР и на фронте. Когда в начале 1942 г. в Нью-Хейвене возник Russian War Relief, Вернадские почти сразу же включились в его работу, а «Р[остовце]вы не пошли», — записала Нина Вернадская и тут же отметила: «Графиня [Панина] на словах пообещала, но по своему кадетскому устарелому мировоззрению все боится помогать России».

Зимой 1944/45 гг. Георгий Вернадский собирался навестить отца в Москве, но 6 января 1945 г. академик В.И.Вернадский скончался. Советское посольство пыталось уговорить Георгия Владимировича не отменять визит, но он не поехал. Послевоенные годы принесли заметное облегчение жизни Вернадских. В 1946 г., в возрасте 63 лет, после почти двадцати лет преподавания в Йеле, Георгий Владимирович получил звание профессора. Непосредственно перед этим ему предоставили Фулбрайтский грант для работы в Англии в течение года и предложили профессорское место в Лондонской школе славянских и восточноевропейских исследований. Он склонялся к тому, чтобы покинуть Йель. Однако теперь уже перспектива потерять известного историка-слависта не устраивала администрацию Йельского университета, и Вернадскому наконец-то предложили профессорский контракт. Известный американский историк Ф.Мозли сразу откликнулся на эту новость: «Я очень, очень рад, что наконец университет пришел в себя и начинает отдавать должное Вашим большим заслугам в университете и в науке. Для меня его отношение было непонятно, и я глубоко доволен тем, что он начал исправлять такую вопиющую несправедливость»²⁹.

В качестве visiting professor Вернадский читал также лекции в Колумбийском университете и университете Джона Хопкинса в Балтиморе. В 1958 г., уже после отставки из Йеля, Американский совет научных обществ (American Council of Learned Societies) удостоил Вернадского гранта в 10 000 долларов. Последние четверть века своей жизни ученый оказался в роли патриарха американской русистики: гарвардские историки «гнезда М.Карповича» постоянно приезжали к нему консультироваться, ученики (А.Фергюссон и А.Левин) издали в 1964 г. в его честь Festschrift. Запоздалое признание пришло.

Однако после острого сердечного приступа в 1950 г. Г.Вернадский внутренне сосредоточился «на итогах»: на завершении «Истории России» и многочисленных воспоминаниях. Когда в 1953 г. Роман Гуль, мастер исторических портретов, захотел написать очерк о нем, последовал немедленный отказ: «пишите, ответил историк, когда умру, «считайте, что я ушел в монастырь»³⁰. С 1954 г. он начал разбирать свой архив и готовить его к передаче в учрежденный в 1951 г. Колумбийским университетом и Фондом Рокфеллера Archive of Russian and East European History and Culture (Бахметевский архив), ставший преемником знаменитого пражского Русского заграничного исторического архива, интернированного в 1945 г. в СССР.

Георгий Владимирович Вернадский скончался в 1973 г. — тихо и незаметно. Его последней научной работой стали «Очерки по русской историографии» — своего рода профессиональная родословная, где равноправно присутствуют имена маститых ученых и их менее известных коллег — того научного братства, к которому Вернадский стремился всю жизнь.

²⁹ BAR. Vernadsky Coll. B.6.

³⁰ BAR. Vernadsky Coll. B.2.

СОДЕРЖАНИЕ

- 72** Плазменные кристаллы из макро-
частиц рождаются и на Земле, и
в космосе
- 104 NB** Транзистор на основе углерод-
ной нанотрубки
- 105** Звездотрясение магнетара
- 106** На Канарах будет новый телескоп
Рекорд астронома-любителя
Космические зеркала тревожат
астрономов
- 107** На Тритоне сейчас -- лето
Твердый водород остается по-
прежнему диэлектриком
- 108** Универсальные закономерности
использования пространства жи-
вотными и растениями. **Гиля-
ров А.М.**
- 109** Жизнь началась не в кипятке, а в
холодильнике?
Косатка заигрывает со скатом
- 110** Птица-носорог восстанавливает
леса
Молекулярные генетики против
браконьеров
Радионуклиды поднимаются к по-
верхности
- 111** Загрязнение Антарктиды продол-
жается
Эксперты МАГАТЭ — на бывших
ядерных полигонах
- 112** Будущее Мертвого моря
Япония меняет сейсмологическую
стратегию
- 113** Извержения на острове Реюньон
- 114** "Международное десятилетие
Восточно-Африканских озер"
Недельная цикличность погоды
- 115** Парниковые газы над Тихим
океаном
Характер осадков в США меняется
Почему Австралия опустынилась?
- 116** От Гренландии до Аравии...
Гоби миллионы лет назад
- 117** Мумии "постарели"

CONTENTS

- 72** Plasma Crystals Consisting of
Macroparticles Are Created on
Earth and in Space
- 104 NB** Transistor Based on a Carbon
Nanotube
- 105** Magnetar Starquake
- 106** A New Telescope Will Be in the
Canaries
A Record Set by an Amateur
Astronomer
Astronomers Disturbed by Cosmic
Mirrors
- 107** It Is Now Summer on Triton
Solid Hydrogen Is Still a Dielectric
- 108** Universal Regularities of How
Space Is Used by Animals and
Plants. **Gilyarov A.M.**
- 109** Life Originated in a Refrigerator
Rather than in Boiling Water?
The Killer Whale Flirting with a
Skate
- 110** Hornbills Recovering Woods
Molecular Geneticists against
Poachers
Radionuclides Rising to the Surface
- 111** Pollution of Antarctica Goes on
IAEA Experts at Former Nuclear
Testing Sites
- 112** The Future of the Dead Sea
Japan Changing Seismological
Strategy
- 113** Eruptions on Reunion Island
- 114** "International Decade of the East
African Lakes"
Weekly Cyclicity of Weather
- 115** Greenhouse Gases over the Pacific
Ocean
Atmospheric Precipitation in the
USA Changes Its Pattern
What Are the Causes of Australia's
Desertification?
- 116** From Greenland to Arabia
Gobi Millions of Years Ago
- 117** Mummies Have "Aged"

Nota bene

Физика

Транзистор на основе углеродной нанотрубки

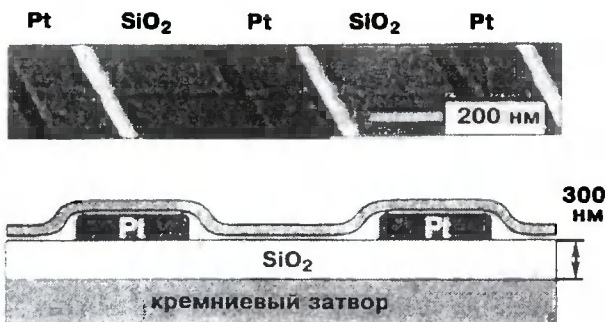
Достижения современной микроэлектроники основаны во многом на уникальных свойствах кремния, который можно сочетать с различными металлами и легирующими добавками. На основе кремния разработаны разнообразные технологии формирования микроструктур. Дальнейшая их миниатюризация связана, по-видимому, с переходом к масштабам нанообъектов с использованием биотехнологий.

Углерод входит в состав многих биологических структур, и он же служит материалом для нанообъектов (фуллеренов, нанотрубок)¹. В 1997 г. группа исследователей во главе с С.Тансом (S.J.Tans; Дельфтский технологический университет, Нидерланды) показали, что при низкой температуре углеродная нанотрубка при наложении электрического поля может быть переведена из металлического состояния в диэлектрическое. Тем самым открылась потенциальная возможность использования нанотрубок как активных элементов для наноэлектроники, однако необходимость глубокого охлаждения ставила значительное препятствие на пути практической реализа-

Отдельная углеродная нанотрубка пересекает платиновые пластинки и служит каналом полевого транзистора. Вверху — изображение, полученное с помощью атомно-силового микроскопа; внизу — схематический разрез транзистора.

ции полупроводниковых свойств единичных трубок.

Недавно той же группе физиков удалось продемонстрировать уже при комнатной температуре способность углеродной нанотрубки служить каналом полевого транзистора. На кремниевой подложке, покрытой изолирующим оксидным слоем толщиной 300 нм, формировали параллельные платиновые полоски шириной по 200 нм, разнесенные на расстояние около 600 нм между их осями. Нанотрубку диаметром 1.4 нм и длиной около 1 мкм укладывали поверх полос так, чтобы она перемывала две или три Pt-полоски, образуя с ними тун-

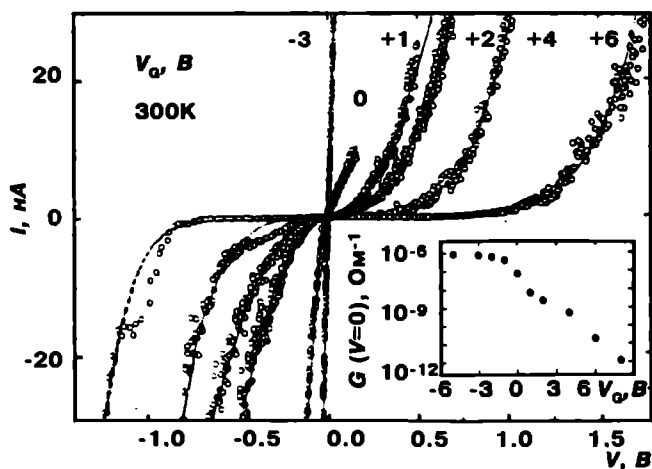


нельные контакты. Это позволяло носителям заряда (дырки — в углеродной нанотрубке) участвовать в создании тока между соседними Pt-электродами, служащими истоком и стоком в полученном таким способом полевом транзисторе с изолированным затвором, роль которого играла Si-подложка.

Детальные измерения вольт-амперных характеристик (ВАХ) в такой системе, проведенные при комнатной температуре с более чем 20 нанотрубками, выявили, помимо металлического поведения у ряда трубок (с линейной зависимостью тока I от напряжения V между истоком и стоком и отсутствием зависимости от напряжения затвора V_G) ярко выраженные полупроводниковые свойства у других трубок.

В системах с такими нанотрубками ВАХ оказываются сильно асимметричными. При больших отрицательных смещениях затвора $V_G < -3$ В зависимость $I(V)$ линейна, а ее наклон отвеча-

¹ Подробнее см.: Электросопротивление единичных углеродных нанотрубок // Природа. 1997. № 1. С.107—108; о фуллеренах см.: Чернозатонский Л.А. Лауреаты Нобелевской премии 1996 г. По химии — Р.Кёрл, Г.Крото, Р.Смолли // Природа. 1997. № 1. С.96—99.



Семейство BAX полевого транзистора с единичной углеродной нанотрубкой в качестве канала. Линейное поведение при $V_G \leq -3$ В сменяется при $V_G > 0$ — сильно нелинейным со значительным подавлением тока при малых V . На вставке показана зависимость проводимости канала G от V_G в отсутствие напряжения между Pt -электродами ($V=0$). Измерения (кружки) проводились при комнатной температуре в вакуумных условиях ($\sim 10^{-7}$ атм).

лю с шириной запрещенной зоны ≈ 0.6 эВ.

В описанном опыте транзистор имел коэффициент усиления по напряжению не более 0.35, однако его нетрудно повысить, сделав больше единицы, за счет уменьшения толщины оксидного слоя с 300 до 5 нм. Максимальную частоту устройства оценивают в 10 ТГц. Полагают, что в будущем с помощью технологии молекулярной сборки² удастся получать интегральные схемы на основе нанотрубок.

Nature. 1998. V.393. P.15—17, 49—51 (Великобритания).

Астрофизика

Звездотрясение магнетара

27 августа 1998 г. верхняя атмосфера Земли подверглась пятиминутному облучению необычно мощным потоком гамма-лучей.

² Львов Ю.М. Молекулярные пленки — упорядоченные нанокмозиты из полиионов, белков и керамики // Природа. 1997. № 3. С.39—49.

Астрофизики установили, что виноват космический объект SGR 1900+14, принадлежащий к странному классу магнетаров — от английских слов magnet (магнит) и star (звезда). Вспышки гамма-излучения за этим небесным телом уже числились и ранее, но такой интенсивности еще никогда не наблюдались.

Специалисты полагают, что к подобным источникам повторных вспышек мягкого гамма-излучения могут быть отнесены молодые нейтронные звезды с мощным магнитным полем. Считается, что прохождение магнитного поля сквозь богатую железом кору нейтронной звезды вызывает ее разогрев на миллионы градусов; это приводит к раскалыванию звезды, которое сопровождается эффектом, подобным землетрясению. Такое звездотрясение и выбрасывает в пространство мощный поток гамма-лучей.

Обычно верхняя атмосфера Земли в дневное время суток ионизируется под влиянием солнечного излучения, а ночью теряет ионизацию. На этот раз объект SGR 1900+14, находящийся от нас в 20 тыс. световых лет, послал такой поток гамма-лучей, что ночная сторона атмосферы на высоте всего около 60 км над планетой ионизовалась, как днем. Космические частицы «забили» до полного насыщения приборы двух искусственных спутников Земли и заставили автоматику отключить приборы на третьем.

По вычислениям У.Ина-на (U.Inan; Университет штата Калифорния, Беркли), в результате этого звездотрясения было выброшено за 5 мин больше энергии, чем дает Солнце за 300 лет. Резкие колебания в интенсивности гамма-излучения хорошо согласуются с ком-

ет сопротивлению ≈ 1 Мом. При положительных смещениях $V_G > 0$ BAX хорошо описываются степенным законом $I \sim V^\alpha$, с показателем α , возрастающим от 1 до 12 при повышении потенциала затвора V_G до ≈ 8 В. Такая нелинейность означает, что сопротивление канала на начальном участке BAX (вблизи $V=0$) как функция V_G меняется на шесть порядков величины. Анализ этих данных, а также BAX для трехэлектродной измерительной схемы показывает, что свойства углеродной нанотрубки качественно описываются стандартной полуклассической зонной моде-

пьютерными моделями магнетаров, пока еще, однако, мало изученных.

New Scientist. 1998. V.160. № 2154. P.5 (Великобритания).

Астрофизика. Организация науки

На Канарах будет новый телескоп

В течение нескольких лет в Испании дискутировалась проблема создания на Канарских о-вах нового крупного телескопа. Правительство страны соглашалось выделить на это лишь половину требуемой суммы в 100 млн амер. долл., предлагая ученым отыскать за рубежом спонсоров для покрытия остальных 50 млн. Все же в апреле 1998 г. Управление науки и техники добилось согласия кабинета министров на полное финансирование этого чрезвычайно престижного проекта.

Канарский институт астрофизики, в состав которого войдет новая обсерватория, предоставил для сооружения площадку на горе Рок-делос-Мучачос, что на о.Ла-Пальма. Ввод в действие 10-метрового телескопа, зеркало которого подобно многосекционному зеркалу Телескопа им.Кека на Гавайских о-вах (США), намечен на 2002 г.

Интерес к проекту проявили ученые Китая, Индии, Италии, США и Финляндии. Руководство Канарского института астрофизики намерено продолжать поиски партнеров, которые взяли бы на себя оплату трети расходов, получая при этом право работать на телескопе в течение времени, пропорционального денежному вкладу. Кроме того, им будет предоставлено 5% наблюдательно-

го времени на всех 20 телескопах, которые принадлежат Канарскому институту астрофизики.

Nature. 1998. V.392. № 6679. P.852 (Великобритания).

Астрономия

Рекорд астронома-любителя

Астроному - любителю Г.Гаррадду (G.Garradd), жителю городка Тамуорт (штат Новый Южный Уэльс, Австралия) удалось сфотографировать американский космический аппарат «NEAR» («Near Earth Asteroid Rendezvous»).

Вопреки своему сокращенному названию, которое в переводе с английского означает «близко», аппарат в то время (середина июня 1998 г.) находился в 33.65 млн км от Земли. Так астроном - непрофессионал на весьма скромном 25-сантиметровом телескопе поставил мировой рекорд дальности фотографирования искусственного небесного объекта. В момент съемки лучи света ярко отражались панелями солнечных батарей.

New Scientist. 1998. V. 158. № 2138. P.5 (Великобритания).

Астрономия

Космические зеркала тревожат астрономов

Российская ракетно-космическая корпорация «Энергия» совместно с несколькими предприятиями космической отрасли создала международный консорциум «Космическая регата» с целью разработки проекта

солнечного парусного корабля. Следующим шагом стала разработка системы космического освещения, обеспечивающей отражение солнечных лучей на Землю с помощью зеркал, которые дадут поток света, в 10 раз больший, чем от полной Луны. Основная цель этого проекта — освещение северных городов и поселков во время длинной полярной ночи.

Подобные планы вызвали протесты со стороны астрономов, поскольку оптические телескопы могут быть внезапно ослеплены лучами от таких зеркал, что помешает наблюдению небесных тел. Ведь и теперь при изучении слабо светящихся объектов специалисты прекращают работы в полнолуние.

Тем не менее, согласно плану, космический аппарат «Прогресс М-40» после отстыковки от станции «Мир» должен будет развернуть в космосе 25-метровый рефлектор, изготовленный из алюминизированной майларовой пленки. За следующие сутки аппарат сделает 16 оборотов вокруг Земли, во время которых экипаж «Мира» с помощью системы управления будет направлять солнечный «зайчик» на различные города, в частности Харьков, Краков, Франкфурт, Брест (Франция), Сент-Джонс, Квебек, Накина, Виннипег, Калгари (последние пять — в Канаде), Ванкувер и Сиятл. Аналогичный эксперимент уже проводился в феврале 1993 г. с космическим зеркалом диаметром 20 м, светимость которого отвечала блеску полной Луны.

Если будет найден источник финансирования, следующим шагом станет запуск зеркала диаметром 70 м. Однако, прежде чем проект создания в космосе системы космического освещения будет принят к исполнению, необходимо найти возможность снижения его стоимос-

ти до уровня, когда он станет конкурентоспособным с обычным электроосвещением городов.

Между тем астрономы создают общественную организацию с целью предотвратить «световое загрязнение неба». Их представитель, Д.Макнэлли (D.McNally; Лондонский университетский колледж) напоминает, что прежние попытки разместить в околоземном пространстве яркую световую рекламу не удалось из-за нежелания аэрокосмических компаний «искажать природу и мешать науке». Удастся ли на этот раз сорвать подобное намерение?

New Scientist. 1998. V.158. № 2139. P.4 (Великобритания).

Планетология

На Тритоне сейчас — лето

В зависимости от положения Нептуна на орбите один из его спутников — Тритон — повернут к Солнцу то одной, то другой стороной. Летом и осенью 1998 г. их взаимное расположение было таково, что Солнце стояло в зените над Южным полюсом Тритона. Специалисты полагают, что при таких обстоятельствах замерзший азот (лед) на полярной шапке Тритона должен испаряться.

Еще в ноябре 1997 г. группа астрономов во главе с Дж.Эллиотом (J.Elliot; Масачусетский технологический институт, Кембридж, США) начала использовать Космический телескоп им.Хаббла для наблюдений за изменениями светового излучения одной из удаленных звезд во время ее

частичного затенения Тритоном (т.е. когда он находится между Землей и этой звездой). Анализ полученных результатов говорил о том, что в атмосфере Тритона шло потепление, причем значительно более быстрыми темпами, чем можно было ожидать. Выяснилось, что на высоте 1400 км над поверхностью Тритона температуры, близкие в 1995 г. к 47 К, быстро поднялись до 50.3 К.

За последние 10 лет атмосфера Тритона вследствие постепенного таяния ледникового покрова увеличила свой объем приблизительно вдвое, и процесс этот, видимо, продолжается.

Все это находится в противоречии с ранее сделанными расчетами большинства специалистов, предсказывавших уменьшение атмосферного давления. Согласно уточненным оценкам, глобальное потепление на Тритоне может быть обусловлено увеличением инсоляции южной полярной шапки планеты.

Nature. 1998. V.393. № 6687. P.765 (Великобритания).

Физика

Твердый водород остается по-прежнему диэлектриком

Водород уже много лет служит объектом исследования в физике высоких давлений. Теоретически предсказан его переход в металлическое состояние, однако оценки критического давления для такого перехода различны.

До сих пор не удавалось экспериментально обнаружить металлическое состояние твердого водорода при сжатии вплоть до давления 216 ГПа (2.16 Мбар), хотя в

ударных экспериментах с жидким водородом, в которых давление достигало 140 ГПа, его электропроводность резко возрастала¹.

По некоторым оценкам в твердом водороде при давлении около 340 ГПа должна образоваться атомарная кубическая алмазоподобная фаза с электронной структурой бесщелевого полупроводника или полуметалла. При еще большем давлении — 650 ГПа — ожидается переход в фазу с простой кубической решеткой и металлической структурой электронного спектра.

Ч.Нараяна с коллегами (Ch.Narayana; Корнеллский университет, Итака, США) в установке с алмазными наковальнями сжимали твердый водород при комнатной температуре до давления 340 ГПа. Исходный молекулярный водород заполнял цилиндрическую полость диаметром 11 мкм в вольфрамовой пластине². В процессе сжатия экспериментаторы следили за изменением оптической прозрачности водорода сквозь прозрачные алмазные наковальни. При высоком давлении алмаз желтеет, что и наблюдалось, однако прозрачность водородного образца не изменилась. В металлическом водороде глубина проникновения света оценивается в 0.02 мкм, поэтому, если бы исследуемый слой сжатого водорода толщиной несколько микрон перешел в металлическое состояние, он стал бы

¹ См.: Получен жидкий металлический водород // Природа. 1997. № 7. С.104.

² Подробней об экспериментах при сверхвысоких давлениях см.: Стружкин В.В., Хемли Р.Дж., Го-кванг Мао, Тимофеев Ю.А. Сверхпроводимость серы // Природа. 1999. № 1. С.72—82.

совершенно непрозрачным.

В экспериментах со сверхвысоким давлением важно не только достичь требуемого давления, но и подтвердить, что оно фактически воздействует на исследуемый объект. Механические свойства материалов под нагрузкой в несколько мегабар кардинально меняются, деформации деталей устройства становятся аномально большими, что вызывает существенное перераспределение сил. Проведенный анализ этих процессов применительно к данному эксперименту убедил авторов в том, что водород действительно находился под давлением 342 ± 10 ГПа. Таким образом, неизменность его оптических свойств доказывает и стабильность электрических.

Nature. 1998. V.393. P.46—49 (Великобритания).

Биология

Универсальные закономерности использования пространства животными и растениями

Экологи уделяют много внимания изучению роли размера животных в использовании ими пространства. В частности, для больших выборок разных видов млекопитающих (а затем и птиц) было показано¹, что корреляционная зависимость плотности популяции n (т.е. числа особей, приходящихся на единицу площади или объема) от массы тела m отвечает степенной функции $n \sim m^{-3/4}$. Иными словами, чем

крупнее животное, тем меньше плотность популяции (что в общем не удивительно), но зависимость эта не линейна. Поэтому часть пространства $v = n^{-1}$, приходящаяся на одно животное, при пересчете на единицу массы его тела оказывается тем меньше, чем оно крупнее: $v/m \sim m^{-1/4}$. Итак, «единица массы» крупных животных требует меньше пространства для обитания, чем мелких.

В то же время уже давно известно², что интенсивность дыхания животных R , а также их рацион зависят от массы тела по закону $R \sim m^{3/4}$. Чем больше животное, тем больше оно тратит энергии (и соответственно поглощает пищи), но в расчете на единицу массы тела крупные животные расходуют меньше энергии и потребляют меньше пищи, чем мелкие: $r = R/m \sim m^{-1/4}$. С этим, видимо, согласится каждый, у кого есть кошка и кто хотя бы раз попытался сравнить ее рацион со своим собственным.

Зная эти две корреляционные зависимости, можно теоретически представить, как же именно в природных популяциях потребление животными пищи в расчете на единицу площади зависит от массы их тела. Иными словами, какие результаты мы сможем получить, если сравним потребление пищи всеми полевками, всеми зайцами и всеми лосями, живущими на 1 км². Животные какого размера в совокупности своей потребляют больше пищи? Восполняемые пищей энергетические траты животных в расчете на единицу занимаемой ими площади, очевидно, равны

R/n и, значит, оказываются одинаковыми вне зависимости от массы животных (поскольку $m^{3/4} \cdot m^{-3/4} = 1$). Этот факт составляет содержание «правила энергетической эквивалентности»³, иначе формулируемое так: количество энергии, потребляемое с определенной территории животными разного размера, примерно одинаково.

Что касается растений, то для них сведения о связи плотности популяции и размеров отдельного растения были широко разбросаны по разным источникам и представлены в форме, трудно сопоставимой с аналогичными данными для животных. Недавно этот разрыв успешно преодолели Б.Энквист и его коллеги из Института Санта-Фе (Нью-Мехико, США)⁴. Обработав опубликованные данные относительно популяций 250 видов растений, варьирующихся по размерам на несколько порядков (от крошечной ряски до гигантской секвойи), они обнаружили, что зависимость максимальной плотности популяций $n_{\max}$ от средней массы одного растения m для всей совокупности рассмотренных видов описывается степенной функцией, причем показатель степени, как и в случае животных, близок к $-3/4$. Собрав сведения об интенсивности движения ксилемного (т.е. находящегося в сосудах древесины) сока в разных растениях Q , эти же исследователи выяснили, что данная величина (характеризующая общее потребление растением ресурсов, его транспирацию и продукцию) тоже зависит от массы одного растения, причем зависимость описывается степен-

¹ Damuth J. // Nature. 1981. V.290. P.699—700.

² Peters R. The Ecological Implications of Body Size. Cambridge, 1983.

³ Damuth J. // J. Linn. Soc. 1987. V.31. P.193—246.

⁴ Enquist B.J., Brown J.H., West G.B. // Nature. 1998. V.395. P.163—165.



Зависимость величины потока ксилемного сока в расчете на единицу площади (величина, характеризующая интенсивность использования растениями ресурсов и их продуктивность). Видно, что она практически не зависит от массы доминирующих растений сообщества.

ной функцией с показателем степени $+3/4$. Таким образом, было получено соотношение $Q \sim m^{+3/4}$, хорошо известное для животных.

Как и в случае с животными, общий поток потребляемой растениями энергии на единицу площади пропорционален $Q \cdot P_{\max}$ и не зависит от их массы. Иначе говоря: потребление растениями ресурсов (а следовательно, и их суммарная продукция) на определенной территории не зависит от того, крупные или мелкие растения здесь произрастают.

Полученная зависимость кажется удивительной и даже обескураживающей. Получается, что степи, заросли кустарников или высокостебельный лес поглощают примерно равное количество ресурсов, а их продукция в принципе не зависит от размеров доминирующих растений. Следует заметить также, что не существует пока и сколь-либо приемлемого объяснения того, почему показатель степени в формулах, описывающих энергетические траты организмов в зависимости от

массы, равен $+3/4$, а показатель степени в формулах, выражающих плотность популяции как функцию массы тела, равен $-3/4$. Обнаружение того, что эти эмпирические константы приложимы и по отношению к растениям, только подчеркивает их общобиологическую значимость.

© А.М.Гиляров,
доктор биологических наук
Москва

Биология

Жизнь началась не в кипятке, а в холодильнике?

По распространенному мнению, первые микроорганизмы на Земле были подобны обитателям современных высокотемпературных вод вблизи вулканических выходов. Следовательно, полагают многие специалисты, жизнь могла возникнуть именно в «горячих» условиях.

Противниками этой точки зрения выступают известный биолог С.Миллер и его коллега М.Левы (S.Miller, M.Levy; Университет штата Калифорния, Сан-Диего, США), которые ранее уже показали, что основания рибонуклеиновой кислоты — аденин, гуанин, цитозин и урацил — не могли спонтанно, сами по себе, образоваться в условиях молодой

Земли. Теперь они пришли к выводу, что, даже образовавшись в высокотемпературной среде, РНК очень быстро разложилась бы.

Экспериментаторы в течение нескольких месяцев поддерживали стерильные растворы оснований РНК при температурах 0°C и 100°C . При кипении эти соединения разлагались, но с разной скоростью. По оценкам, период полураспада урацила составлял 19 лет, аденина и гуанина — 1 год, а цитозина — вообще не превышает 19 суток.

В то же время при температуре около 0°C периоды полураспада этих оснований оцениваются тысячами или даже миллионами лет. Хотя в геологическом масштабе эти сроки невелики, зато достаточны для полимеризации РНК из этих биомолекул. Так что, с точки зрения этих ученых, для пребиотических химических процессов лед и близкое к замерзанию море служили более чем подходящей средой.

По мнению же биохимика Дж.Джойса (G.Joyce; Скриппсовский исследовательский институт, Ла-Холья, штат Калифорния), высокие температуры не исключают возникновения преджизненных форм; к тому же не обязательно, считает он, что первичные формы жизни должны основываться именно на рибонуклеиновых основаниях.

Proceedings of the National Academy of Sciences. 1998. V.95. P.7933 (США).

Этология

Косатка заигрывает со скотом

Однажды студентка Университета Окленда И.Виссер наблюдала вблизи города-

порта Окленд (Новая Зеландия), как косатки ловили скатов-хвостоколов, и поняла, что видит нечто необычное.

Косатки, эти крупнейшие представители семейства дельфиновых, с легкостью выпрыгивали из воды, гонясь за плоскими рыбинами с длинными хвостами, у основания которых торчали по одной-две ядовитых иглы. Вообще-то косатки всегда не прочь закусить скатами, но на сей раз они предстали играющими со своими жертвами.

Сначала косатка плавает под водой в вертикальном положении вниз головой, стараясь держаться поближе ко дну, где скаты лежат, затаившись в ожидании добычи. Но вот ей удается поймать ската, однако она не спешит сразу его проглотить, а поднимается на поверхность и выпускает добычу из пасти. Скат, разумеется, пытается скрыться. Косатка гоняется за скатом, который, стремясь избежать печальной участи, устремляется на мелководье. Такая «игра» продолжается до тех пор, пока косатке не надоест, и тогда скату приходит конец.

Косатки живут во всех океанах. В исландских водах они охотятся за сельдью, у берегов Аляски, Канады и Северо-Запада США — за лососями, а у аргентинского побережья — на пингвинов и тюленей, в погоне за которыми они иногда почти выпрыгивают на берег. Нападают косатки и на сородичей — дельфинов, и даже на китов.

Взрослые косатки общаются со скатами, чтобы те не пострадали на охоте от ядовитых игл.

National Wildlife. 1998. V. 36. № 2. P.10 (США).

Экология

Птица-носорог восстанавливает леса

Во влажных тропических лесах Африки встречаются два вида птицы-носорога — черношлемный калао (*Ceratogymna atrata*) и бурошекий калао (*Bycanistes cylindricus*), внешне похожие на известного своим огромным клювом тукана. Эти птицы помогают распространению растений: съев плоды, они выбрасывают семена с помехом. До сих пор считалось, что происходит это лишь на малых расстояниях от гнезда птицы-носорога.

Орнитологи К.Уитни и Т.Смит (K.Whitney, T.Smith; Университет штата Калифорния, Дейвис, США) обнаружили, что птица-носорог может улетать от дома более чем на 150 км, заноса семена на большие расстояния. Установлено, что «услугами» этих птиц пользуется около четверти видов деревьев, произрастающих во влажных африканских лесах. По-видимому, в нынешних условиях, когда идет массовая вырубка лесов, а численность других «сеятелей» флоры, в том числе слонов и приматов, во многих районах сокращается, роль птицы-носорога в восстановлении лесов становится весьма существенной.

Animal Conservation. 1998. V.1. P.107 (США).

Охрана природы

Молекулярные генетики против браконьеров

Группа исследователей (V.Berstein, P.Doukakis, B.Sorkin, R.DeSalle) из Молекулярной лаборатории Аме-

риканского музея естествознания разработала метод определения видовой принадлежности черной икры. Метод основан на установлении нуклеотидной последовательности гена цитохрома b митохондриальной ДНК.

Исследование 95 образцов икры из коммерческих партий, главным образом продававшихся в Нью-Йорке, показало, что более чем в 20% случаев икра принадлежит не тем рыбам, которые значились на этикетках банок. В частности, под видом дорогой икры белуги шла икра севрюги и осетров, вместо каспийских видов оказывалась икра амурских, за икру коммерчески используемых видов выдавалась икра видов, находящихся под угрозой исчезновения, и т.п.

С точки зрения авторов, все это свидетельствует о падении численности коммерчески используемых популяций осетровых, с одной стороны, и о проникновении на мировой рынок икры, полученной в результате превышения норм вылова или браконьерского промысла — с другой. Авторы надеются, что применение методов, подобных разработанному ими, поможет навести порядок в легальной торговле черной икрой и будет способствовать сохранению исчезающих популяций осетровых.

Conservation Biology. 1998. V.12. № 4. P.766—775 (США).

Охрана окружающей среды

Радионуклиды поднимаются к поверхности

Сотрудники Окриджской национальной лаборатории (штат Теннесси, США) прове-

ли многолетние эксперименты для выяснения проникающей способности различных радиоактивных веществ сквозь почвенные пласты.

Исследователи погружали в почву смолистое вещество, загрязненное радионуклидами при аварии на АЭС Три-Майл-Айленд в 1979 г. и изъятые в ходе очистительных работ. Предварительно вещество помещали в небольшие капсулы из цемента и полистирола, а затем закапывали в землю на глубину около 1 м. Скорость передвижения радионуклидов измеряли с помощью лизиметров (трехметровых стальных цилиндров, обычно используемых для слежения за просачиванием воды через почву и песок). Полагая, что наверх радионуклиды не переносятся, их содержание регулярно измеряли в воде на дне лизиметров. Однако, вопреки ожиданиям, радиоактивное загрязнение было обнаружено на поверхности лизиметра, заполненного песком. Сначала предполагали, что это — результат утечки или разлива, но тщательные исследования показали, что радиоизотопы ^{137}Cs и ^{90}Sr проникли из закопанных капсул с радиоактивными отходами.

Руководитель работ геохимик У.Сэнфорд (W.Sanford) предполагает, что радионуклиды могли быть перенесены наверх с водой, впитываемой корнями растений. Скорость перемещения радионуклидов составляла около 20 см/год, так что за пять лет они в состоянии достичь поверхности.

Таким образом, радиоактивные вещества, находящиеся в подземных хранилищах, могут выноситься на поверхность почвы.

Journal of Environmental Radioactivity. 1998. V.41. P.147 (США).

Охрана окружающей среды

Загрязнение Антарктиды продолжается

Недавно завершено обследование главной американской южнополярной станции Мак-Мердо, которое провели экологи из Университета штата Монтана под руководством микробиолога Г.Макфетерса (G.McFeters).

Мак-Мердо — крупнейшая из антарктических баз; ее население достигает 1 тыс. человек. Однако приемлемой системы обработки отходов жизнедеятельности людей здесь (а также на других южнополярных станциях) не существует. Канализация на Мак-Мердо сводится к системе труб, выводящей экскременты в море всего на 50 м от берега, где глубина составляет 17 м. В результате на протяжении более 1 км полоса побережья, простирающаяся на 300 м в море, сильно загрязнена, что заметно местами даже невооруженным глазом. Анализ проб, взятых в точке выброса отходов, показал присутствие в организме 80% морских ежей (*Echinoidea*) и асцидий (*Urochorda*) бактерий *Clostridium perfringens*, характерных для фекалий. Даже в полукилометре от точки сброса они обнаружены почти у 25% организмов.

В осадочных донных породах здесь выявлены следы того продукта распада холестерина, который специфичен для отходов жизнедеятельности именно человека. Установлено также присутствие болезнетворных микроорганизмов, в том числе *Salmonella typhimurium* и патогенных штаммов *Escherichia coli*.

Прежде полагали, что при характерной для этих вод температуре ниже -1°C

микроорганизмы погибают, на самом же деле лишь замедляется их развитие.

Исследователи запросили у Национального научного фонда США грант для изучения вопроса, насколько серьезно выявленные факты угрожают природной среде, отметив при этом, что руководители Антарктической экспедиции США пока не предусматривают создание каких-либо химических или биологических очистных сооружений на южнополярных станциях (вероятно, не желая отрывать средства от научных работ).

Applied Environmental Microbiology. July 1998; New Scientist. 1998. V.158. № 2138. P.21 (США).

Охрана окружающей среды

Эксперты МАГАТЭ — на бывших ядерных полигонах

Международное агентство по атомной энергии (МАГАТЭ) провело на выделенные правительство Франции 2 млн амер. долл. независимое обследование нынешнего состояния атолла Муруроа во Французской Полинезии. В нем приняли участие 55 ученых из 18 стран. Подробный (2 тыс. страниц) отчет об итогах обследования этого бывшего полигона для испытаний ядерного оружия был представлен на конференции МАГАТЭ (Вена, июль 1998 г.).

В период между 1966 и 1996 гг. на Муруроа и близлежащем атолле Фангатауфа было произведено 193 атомных взрыва, из них 46 — на поверхности и 147 — под землей. В пяти случаях,

когда ядерный заряд уничтожился с помощью обычной химической взрывчатки, произошло рассеяние радиоактивного плутония как на Муруроа, так и на соседних островах Колетт, Аризель и Веста. Кроме того, теперь установлено, что в донных осадочных породах лагун у атоллов Муруроа и Фангатауфа содержится несколько килограммов плутония, осевшего после атмосферных испытаний. В результате подземных взрывов в лагуны просачивается также радиоактивный тритий; его концентрация здесь нередко в 10 раз выше, чем в открытом океане.

Тем не менее эксперты считают, что происшедшее загрязнение природной среды вряд ли приведет к ее серьезному повреждению. (На атоллах в настоящее время никто не живет; ближайший населенный о.Турейя лежит в 130 км от бывшего полигона.)

Полученные результаты подтверждают выводы, содержащиеся во французском правительственном документе, однако международное обследование было поставлено шире и глубже, чем национальное, и позволило сделать интересные заключения, важные для создания надежных систем безопасности от последствий атомных испытаний.

Одновременно участникам конференции был представлен доклад МАГАТЭ о состоянии природной среды атолла Бикини, где атомные испытания производили США. В 1946 г. оттуда было эвакуировано все население, после чего в течение 12 лет осуществлено 23 надземных атомных взрыва. По мнению ученых, те 160 семей, которые выразили желание вернуться туда, могут это сделать при условии, что будут питаться только привозными

продуктами. Эксперты МАГАТЭ, изучившие состояние природной среды на о.Бикини в 1997 г., нашли, что в местных фруктах содержится плутоний с радиоактивностью 260 мкБк на 1 г. Концентрация ^{137}Cs достигает в них 21 мкБк/г. Лицам, решившим возвратиться, рекомендовано устранить верхний слой почвы вокруг домов.

New Scientist. 1998. V.158. № 2140. P.5 (Великобритания).

Геология. Геохимия

Будущее Мертвого моря

Мертвое море, эта единственная на Ближнем Востоке закрытая акватория, лежит на 410 м ниже уровня Мирового океана, причем падение уровня продолжается: всего 40 лет назад его зеркало находилось на отметке 392 м.

Этот процесс объясняется как естественным испарением, так и возрастающим расходом воды из р.Иордан на интенсивное сельское хозяйство, промышленные и бытовые нужды Израиля. С начала 60-х годов, когда началось активное использование стока Иордана, уровень озера снизился почти на 20 м. Сейчас темпы его падения достигают 80 см/год. Возникла угроза полного исчезновения в будущем этой акватории и опустынивания ее дна и окрестных земель, как это случилось с Аральским морем.

Несколько обнадеживают выводы, сделанные недавно И.Йехиэли (Y.Yechieli; Геологическое управление Израиля в Иерусалиме) и

Б.Берковицем (B.Berkowitz; Институт им.Вейцмана в Реховоте). Они считают, что через 400 лет снижение уровня Мертвого моря прекратится естественным образом. Произойдет это вследствие увеличения солености моря (идущего параллельно с изъятием пресных вод Иордана). Высокая соленость и уменьшение поверхности моря должны сократить испарение до такого уровня, когда оно достигнет равновесия (с учетом поступления в акваторию подземных вод).

Специалисты полагают, что зеркало Мертвого моря стабилизируется на уровне 510 м ниже Мирового океана, при этом глубина Мертвого моря будет составлять около 200 м. Однако они признают, что некоторые микроорганизмы, приспособившиеся к нынешней солености моря, перенести дальнейшее его засоление не смогут.

Geology. 1998. V.26. № 8. P.755 (США).

Сейсмология

Япония меняет сейсмологическую стратегию

До сих пор сейсмологи Японии основной своей целью ставили создание системы краткосрочного (за несколько суток) прогноза землетрясений, включая их силу и место выхода на поверхность. Теперь специальная комиссия экспертов в составе 160 специалистов во главе с профессором геодинимики Токийского университета Й.Хамано (J.Hamano) предложила решительно изменить такой подход.

Комиссия признает, что при нынешнем состоянии науки весьма сложно дать

точный прогноз землетрясений, на чем обычно настаивает общественность (опыт осуществлявшейся на протяжении 30 лет программы по предсказанию подземных толчков в области Токаи, к юго-западу от столицы страны, подтверждает это).

Ныне предлагается провести подробное сейсмораионирование на всей территории Японского архипелага, указав для каждого района вероятность землетрясений в течение предстоящего десятилетия.

Благодаря многолетним исследованиям собран ценный массив данных об уровне сейсмичности различных регионов страны. Последние усовершенствования методики наблюдений, в том числе с использованием спутниковой навигационной системы «GPS»¹, позволяют, по мнению ученых, решить проблему долгосрочного сейсмического прогноза.

Оппонентом изменения стратегии выступил сейсмолог Р.Геллер (R.Geller; Токийский университет), указавший, что адекватной теории, на которую подобный план мог бы опираться, пока не существует. По его мнению, точный сейсмический прогноз ни сейчас, ни в обозримом будущем невозможен. Теперь же необходимо шире развернуть фундаментальные исследования тех процессов, которые происходят в районе источника сейсмической опасности.

Предложения комиссии лягут в основу нового (восьмого) пятилетнего плана деятельности специалистов сейсмологов, который разрабатывается по поручению правительства Геодезичес-

ким советом при Министерстве образования и науки Японии.

Nature. 1998. V.393. № 6682. P.202 (Великобритания).

Вулканология

Извержения на острове Реюньон

В 700 км к востоку от Мадагаскара находится древний вулканический остров Реюньон (владение Франции). Юго-восток острова занимает область недавних извержений вулкана Фурнез (2621 м над ур.м.). Это один из самых активных в современную эпоху вулканов: только за последние 300 лет он извергался около сотни раз.

Судя по геологическим признакам, мощные извержения происходили и 250 тыс., и 65 тыс., и 5 тыс. лет назад. Пока вулкан «молчал», в его огромных котлообразных кратерах с крутыми стенками и плоским дном поселялись крупные нелетающие птицы додо (правда, в конце 1660-х годов они полностью исчезли, впрочем, в этом был повинен уже не вулкан, а человек).

В 1977 г. Фурнез в очередной раз проявил бешеную активность. Извергнутая им лава сожгла на склонах всю растительность, от непла сильно пострадали окрестные поля и населенные пункты. Вскоре после этой катастрофы французские ученые создали здесь отлично оборудованную обсерваторию, благодаря которой большинство из десятиков последовавших более мелких извержений удалось вовремя предсказать. В последние пять лет (на протяжении 63 месяцев подряд) вулкан вел себя необычайно

спокойно, тогда как в предыдущие десятилетия он извергался в среднем чаще одного раза в год.

Население как-то стало забывать, что живет буквально на вулкане, когда на рассвете 9 марта 1998 г. внезапно начались подземные толчки — не сильные, но очень частые. Сейсмоприборы показали, что очаг землетрясений лежит под небольшим кратером Бори, прильнувшим к более крупному Доломье; впервые было отмечено, как центр активности постепенно перемещается все выше к поверхности. В середине дня вершина горы начала вздуваться, а склоны, судя по показаниям наземных приборов и данным «GPS» («Global Positioning System»)¹, несколько изменили свою крутизну. Специалисты объяснили это перемещением лавы внутри вулкана в сторону трещин, расположенных на северном склоне горы, на высоте около 2450 м над ур.м. Вскоре из них повалили клубы газов, а во второй половине дня взметнулись 50-метровые фонтаны раскаленной лавы. Сейсмологи порекомендовали местным властям объявить тревогу; началась эвакуация населения. Следующие двое суток происходили землетрясения средней силы.

Обычно сейсмическая активность Фурнеза приостанавливалась, как только начиналось излияние расплавленной породы. Продолжавшиеся на этот раз землетрясения позволили ученым предсказать, что в ближайшее время здесь откроется новая расселина, что и случилось в ночь на 11 марта у западного склона кратера

¹ См.: Спутниковая навигация в действии // Природа. 1998. № 1. С.119—122.

¹ Подробнее см.: Спутниковая навигация в действии // Природа. 1998. № 1. С.119—122.

Бори, на высоте примерно 2200 м над ур.м. Язык лавы толщиной в 10 м вскоре вытянулся на 100 м, после чего слился в единое русло с другим лавовым потоком, длина которого вдоль склона достигла 300 м. За одну секунду извергалось до 50 м³ раскаленного материала. К 15 марта лава протянулась уже на 4 км от источника излияния, после чего остановилась на высоте 1100 м над ур.м. Максимальная ее температура около расселины достигала 1167°C. Новый холм вулканических пород поднялся на высоту 40 м. Активность четырех молодых кратеров постепенно замедлялась, и лишь один из них продолжал выпускать лаву и газы до конца апреля 1998 г.

4 августа фронт расплавленных пород внезапно вновь перешел в движение; к этому времени общая длина лавового языка достигла 12 км. Подземные толчки, наблюдавшиеся в начале событий, утихли на несколько месяцев, но 6 августа их сила и частота возросли вдесятеро; одно за другим землетрясения продолжались более недели.

По данным местной вулканологической обсерватории, активность Фурнеза все еще отмечалась на протяжении сентября.

Smithsonian Institution Bulletin of the Global Volcanism Network. 1998. V.23. № 7. P.2 (США).

Лимнология

«Международное десятилетие Восточно-Африканских озер»

Восточно-Африканские озера — одна из крупнейших лимнологических систем в мире. Исследования по про-

грамме «IDEAL» («International Decade for the East African Lakes») начались в апреле 1995 г. За несколько лет работы были получены интересные результаты, опубликованные, в частности, Э.О.Одада (E.O.Odada; Университет Найроби, Кения) и Т.С.Джонсоном (T.C.Johnson; Университет штата Миннесота, США). Первый том научного отчета по программе «IDEAL», вышедший в свет в 1998 г., посвящен лимнологии, современной и палеоклиматологии этого региона. Второй, уже подготовленный к печати, содержит материалы по экологии всей системы Восточно-Африканских озер.

В оз.Виктория было проведено сейсмическое профилирование методом отраженных волн и подняты буровые колонки с образцами осадочных пород. Выяснилось, что в эпоху позднего плейстоцена (500—100 тыс. лет назад) это гигантское озеро полностью высохло и вновь начало заполняться водой лишь около 12 400 лет назад. Но это означает, что большинство эндемичных видов рыб-цихлид должны были успеть сформироваться всего за 12 тыс. лет. Если открытие подтвердится, будет зафиксирован «рекорд» скорости эволюции для любого из позвоночных Земли. По своей значимости этот неожиданный вывод может далеко выйти за пределы данного региона.

Начиная с июля 1998 г. осуществляется другой международный проект — «Ньянса», в рамках которого на берегах оз.Танганьика ведется подготовка гидрологов, лимнологов и других специалистов. Студенты и аспиранты из ряда африканских стран работают и учатся здесь вместе с коллегами из США. Этот проект, рассчитанный на 5 лет, возглавляет американский гидролог

Э.Коэн (A.Cohen; Университет штата Аризона). Финансирование обеспечивает Национальный научный фонд США и Отдел глобальной экологии Всемирного банка.

Global Change Newsletter. 1998. № 35. P.36 (Швеция).

Метеорология

Недельная цикличность погоды

Специалисты по математической статистике в метеорологии Р.Червени и Р.Боллинг (R.Cervený, R.Balling; Университет штата Аризона, Темп, США), проанализировав погодные данные по акватории Атлантического океана за период с 1979 по 1995 г., не обнаружили, как и ожидалось, зависимости между количеством осадков и днем недели. Но если в расчет брать не океан в целом, а лишь акваторию, которая непосредственно примыкает к восточному побережью США, то окажется, что по субботам осадков выпадает примерно на 22% больше, чем по понедельникам.

Были проанализированы также данные об ураганах и тропических штормах, происходивших в Атлантике за последние 50 лет. И здесь выявилась некая зависимость: скорость ветра в среднем была меньше к концу недели и в воскресенье, причем разница достигала 18 км/ч.

По мнению Червени, открытый им и Боллингом эффект объясняется антропогенным загрязнением природной среды. Анализируя информацию, имеющуюся на станциях слежения за состоянием среды, они заметили, что ближе к концу недели начинает возрастать в атмо-

сфере концентрация оксида углерода и озона. «Воскресный эффект» уже был известен для крупных городов: он связан с различным количеством автотранспорта и разной промышленной нагрузкой по дням недели.

Чтобы объяснить достаточную протяженность эффекта, ученые предположили, что выброшенные в атмосферу антропогенные частицы «засевают» облачные образования вблизи побережья и это способствует выпадению осадков.

Тот же процесс может производить и обратное действие — «отнимать» водяные пары из центральной области зреющей бури, лишая ее части энергии и ослабляя ее.

Метеоролог К.Лендси (C.Landsea; Национальное управление США по изучению океана и атмосферы, Майами, штат Флорида) отметил важность полученных свидетельств того, что человек, по-видимому, может своей деятельностью влиять на ураганы. Однако для познания механизмов воздействия необходимо построить достоверные математические модели.

Nature. 1998. V.394. № 6693. P.561 (Великобритания).

помощью оборудования, установленного на пассажирских самолетах, совершавших рейсы Япония—Австралия, а затем анализировались в лабораториях Института метеорологических исследований Японии.

Установлено, что в период с апреля 1993 по апрель 1995 г. концентрации CO_2 и CH_4 в верхней тропосфере и у поверхности океана были примерно одинаковы, составляя 354—362 части на 1 млн. При этом в Северном полушарии концентрации были выше, а в Южном — постепенно снижались. Амплитуды сезонных колебаний в северных широтах тоже оказались большими. Максимальные и минимальные показатели отмечались соответственно весной и осенью Северного полушария; от года к году эти величины возрастали. Годовой прирост парниковых газов составлял около 1.4 част./млн. Эта величина близка к той, которая характерна для всего земного шара в целом.

World Climate News. 1998. № 13. P.10 (Швейцария).

мости от местности. Суток со слабыми дождями стало меньше, однако общий положительный баланс дали сутки с осадками, превышающими среднюю норму на 5% и более, причем их число увеличилось на 1%. Кроме того, отмечается, что больше стало и затяжных ливневых дождей, продолжающихся по нескольку суток.

Наибольший рост осадков отмечен на Среднем Западе США и в долине р.Миссисипи: в 1993 г. эти регионы пострадали от беспрецедентного наводнения.

Согласно новейшим математическим моделям климата, глобальное потепление должно приводить в высоких широтах к росту осадков, а потепление — факт неоспоримый (действительно, считая с 1948 г. почти по всей территории США количество суток с температурой ниже 0°C заметно сократилось).

New Scientist. 1998. V. 158. № 2128. P.22 (Великобритания).

Палеоклиматология

Почему Австралия опустынилась?

Почти вся центральная область Австралии представляет собой крайне безводный регион, занятый Большой Песчаной пустыней Гибсона, Большой пустыней Виктории, пустыней Симпсона, пустыней Арунта, засушливыми горами Масгрейв, Макдоннел... И рядом с ними — огромное, хотя и частично пересыхающее оз.Эйр. Именно обмелевшие участки дна этого водоема позволяют палеоклиматологам и геологам прояснить природные условия континента, существовавшие в отдаленном прошлом.

Климатология

Характер осадков в США меняется

На конференции Ассоциации американских географов (апрель 1998 г., Бостон) Д.Истерлинг (D.Easterling; Национальный центр климатических данных США, Ашвилл, штат Северная Каролина) сообщил, что начиная с 1910 г. ежегодное количество осадков на континентальной территории США (без штатов Гавайи и Аляска) выросло на 5—20% в зависи-

Метеорология

Парниковые газы над Тихим океаном

Японское метеорологическое агентство совместно с авиакомпанией «JAL» и Министерством транспорта Японии более пяти лет изучали химический состав атмосферы над Тихим океаном. Пробы воздуха брались на высотах до 10—13 км с

Результаты недавно завершённых исследований под руководством Г.Миллера (G.Miller; Университет штата Колорадо, Боулдер, США) были заслушаны на конференции Американского геофизического союза (Сан-Франциско, январь 1998 г.).

Осадки на дне оз.Эйр свидетельствуют о том, что в летние сезоны на огромных территориях внутренней Австралии регулярно выпадают муссонные осадки. Это характерно и для эпохи, удалённой от нашего времени более чем на 60 тыс. лет. Самые обильные осадки были в межледниковую эпоху, около 120 тыс. лет назад, — тогда муссонные ветры, срывавшиеся с Тибетского нагорья, пройдя над океаном, доносили влагу до Центральной Австралии. Когда наступило нынешнее межледниковье, около 10 тыс. лет назад, аналогичный влажный климат снова должен был бы установиться в этом регионе, тем более что система муссонов на территории Индостана усилилась, однако Центральная Австралия так и осталась засушливой.

Чтобы установить причину этого явления, Миллер с коллегами построили математическую модель австралийского климата. В случае, когда материк покрыт лесом, модель прогнозирует формирование увлажнённого региона в самом сердце ныне засушливого континента, и наоборот, в отсутствие растительности дожди не достигают центра Австралии.

Исследователи отмечают, что 50 тыс. лет назад из Юго-Восточной Азии сюда впервые прибыли первобытные люди. Не исключено, что именно их деятельность и привела к сведению лесов, за которым последовало опустынивание огромных территорий. Однако авторы

вслед за некоторыми участниками конференции признают, что палеодендрологические свидетельства для данного региона незначительны, и неясно, существовал ли там растительный покров до прибытия человека. Поэтому с уверенностью судить о роли людей в процессах иссушения климата пока преждевременно.

С другой стороны, вероятность таких событий вполне допустима, подчеркнул Дж.Э.Кутцбах (J.E.Kutzbach; Университет штата Висконсин, Мадисон, США), указав в качестве примеров на ряд регионов в Африке и Амазонии, где связь климата с наличием растительности твердо установлена.

Science News. 1998. № 3. V.153. P.45 (США).

Палеоклиматология

От Гренландии до Аравии...

Немецкие палеоклиматологи Х.Шульц (H.Schultz; Управление по наукам о Земле и полезным ископаемым, Ганновер) и Х.Эрленкойзер (H.Erlenkeuser; Кильский университет) обнаружили связь между колебаниями климатических условий на крайнем севере Атлантического океана и в районе Аравийского моря, происходившими 100 тыс. лет назад.

Специалистам известны периоды крайней неустойчивости климата в эпоху позднего плейстоцена, когда метеорологические и океанологические характеристики резко изменялись в глобальных масштабах за какие-нибудь тысячелетия или столетия (возможно даже — за десятилетия).

Шульц и Эрленкойзер изучили многочисленные ко-

лонки грунта, которые были подняты со дна в Аравийском море (на шельфе у побережья Пакистана), вблизи о.Суматра (Индонезия) и в Бенгальском заливе (Индийский океан), и сопоставили их с колонками, взятыми на ледниках Гренландии.

В те отрезки времени, когда в Северной Атлантике существовал мягкий климат, характерный для межледниковья, на северо-востоке Аравийского моря, в условиях интенсивных муссонов, протекали бурные биологические процессы, о чем свидетельствуют обнаруженные в колонках слои, богатые углеродом органического происхождения. И наоборот, когда муссонная активность на юго-западе падала (о чем говорят бедные органическим углеродом слои), в приполярных широтах атмосфера значительно охлаждалась и массы талой воды вторгались в Северную Атлантику.

Эти исследования указывают на существование крупномасштабных процессов в системе океан—атмосфера, взаимодействующих на высоких и низких широтах. Авторы полагают, что важными движущими силами этих процессов могут быть изменение влажности атмосферы и насыщенность ее парниковыми газами.

Nature. 1998. V.393. № 6680. P.54 (Великобритания).

Палеогеография. Палеонтология

Гоби миллионы лет назад

С тех пор как еще в 20-х годах нашего столетия на территории Монголии были найдены ископаемые остатки

разнообразных динозавров, среди палеонтологов, палеоклиматологов и других специалистов не прекращается дискуссия о том, что представлял собой в древности этот регион, ныне — один из самых засушливых в мире.

Если миллионы лет назад здесь была пустыня, сходная с нынешней Гоби, которая отличается сильнейшими песчаными бурями, то трудно объяснить, как в таких условиях могли существовать гигантские растительноядные и хищные ящеры. А если это была более благоприятная в климатическом отношении область, то когда и при каких обстоятельствах произошла ее аридизация?

Проблему эту изучали седиментолог Д.Б. Луп (D.B. Loope; Университет штата Небраска в Линкольне) и палеонтологи М.А. Норелл (M.A. Norell; Американский музей естественной истории, Нью-Йорк) и Ч. Миндзиин (C. Mindjiin; Монгольский технологический институт, Улан-Батор).

Возглавлявшая ими экспедиция в 1993 г. обнаружила в урочище Ухаа-Толгод (Южно-Гобийский аймак, Южная Монголия) богатейшее скопление остатков различных ископаемых животных, в том числе около 1 тыс. ящеров, более 500 млекопитающих и свыше 200 динозавров¹.

Одна из находок — кладка яиц динозавра овираторатора (*Oviraptor*). Первоначально специалисты предположили, что животное более 70 млн лет назад попало в песчаную бурю и погибло, не покинув кладку. Однако Луп отметил, что остатки овираторатора

заклучены в слои, не похожие на эоловые образования песчаных пустынь, которые, как правило, состоят из округлых песчинок одинаковой формы и залегают наклонными пластами. Такие породы в урочище тоже встречаются, но ископаемые остатки находились не в них, а среди неслоистых отложений, содержащих крупные булыжники, которые не могли быть принесены ветром.

Дальнейший анализ, завершенный в 1998 г., показал, что в меловую эпоху Гоби (или по крайней мере ее значительная южная часть) отнюдь не была подобием сегодняшней Сахары. По-видимому, тогда здесь преобладал холмистый ландшафт (с возвышавшимися над местностью гигантскими дюнами); долины были покрыты богатой растительностью и заселены многочисленными видами животных. Недостатка влаги они не испытывали, и песчаные бури тогда не случались.

Однако для урочища Ухаа-Толгод была характерна резкая смена климата, время от времени становившегося засушливым. В такие периоды дюны приходили в движение, растительный покров в значительной мере погибал, а следом существенно менялся или почти исчезал животный мир.

Седиментолог и палеонтолог Д.Э. Фастовски (D.E. Fastovsky; Университет штата Род-Айленд, Кингстон, США), ознакомленный с работой Лупа и Норелла, выразил согласие со многими ее выводами.

Внимание специалистов привлекла также недавняя находка польско-монгольской экспедиции в другом районе Монгольской Народной Республики. В Тугрике палеонтологи обнаружили остатки сцепившихся в смер-

тельной схватке хищного велоцираптора (*Velociraptor*) и растительноядного протоцератопса (*Protoceratops*). По мнению Фастовски, наблюдается характерный для пустыни случай гибели обоих животных от удушья во время песчаной бури.

Geology. 1998. V.26. № 1. P.27 (США).

Археология

Мумии «постарели»

Немецкие ученые, возглавляемые У. Везером (U. Weser; Тюбингенский университет) и И. Коллером (J. Koller; Институт им. Деннера, Мюнхен) сообщают о результатах проведенного ими химического анализа костных остатков одной из древнеегипетских мумий, найденной в Гизе. Тело некоего Иду II, бывшего, вероятно, при жизни важным сановником, было бальзамировано с использованием антисептической пропитки, содержащей соду и смолы деревьев, около 2150 г. до н.э.

Особенно важен возраст мумии: раньше специалисты полагали, что в древнем Египте бальзамирование умерших началось почти на тысячу лет позже, чем установлено теперь. Кроме того, обнаружен дискуссионный среди египтологов факт отделимости от плоти (полностью или частично). Теперь установлено, что по крайней мере часть мягких тканей Иду II была отделена от костей жрецами в ходе ритуала мумификации.

Nature. 1998. V.391. № 6665. P.343 (Великобритания).

¹ См. также: Решетов В.Ю. Млекопитающие Центральной Азии // Природа. 1989. № 9. С.55—60.

«Подарок» переводчику

А. К. СЫТИН,

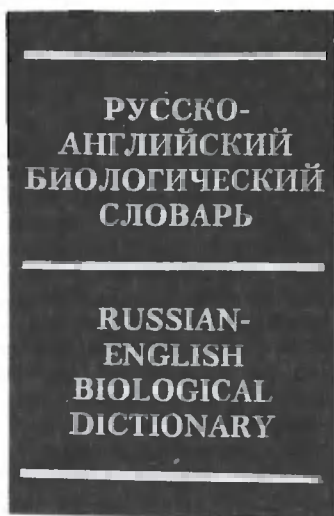
кандидат биологических наук

Ботанический институт им.В.Л.Комарова РАН
Санкт-Петербург

В НАСТОЯЩЕЕ время, когда ширится международное сотрудничество во многих отраслях науки, в том числе и биологии, статьи почти во всех отечественных научных журналах снабжаются резюме на английском языке; кроме того, наши ученые стали чаще обсуждать результаты своих исследований в зарубежных изданиях. Поэтому потребность в тематических языковых словарях безусловно велика. У нас есть превосходный Англо-русский биологический словарь, который переиздавался уже пять раз. Первый же опыт создания Русско-английского биологического словаря разочаровывает. Просчеты составителя весьма серьезны, и лишь коренная переработка всей концепции справочника может дать приемлемый результат.

В словаре представлены названия растений и животных на русском, английском и латинском языках, а также весьма широкий и разнообразный спектр биологической и медицинской терминологии, некоторые философские понятия (например, «гилозоизм») и даже слова, относящиеся к военному делу («камуфляж»).

Выбор русских слов поражает, с одной стороны, разнородностью несходных объектов и понятий, с другой — насилием над духом



РУССКО-АНГЛИЙСКИЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ СЛОВАРЬ: более 35000 терминов / Сост.: К.У.Дамблтон. Минск: Международная ассоциация переводчиков, 1997. 512 с.

RUSSIAN-ENGLISH BIOLOGICAL DICTIONARY. Over 35000 terms / K.W.Dumbleton. Minsk: International association of translators and interpreters, 1997. 512 p.

языка, которому их подвергли ради размещения в алфавитном порядке. Так, в ряду, объединяемом словом «глаз» (с.91), перечислен следующий набор: «г. аппозиционный»; «г. ведущий — dominant eye». На следующей странице это же слово переводится как «г. доминирующий», с ним соседствует название растения, известного как «вороний глаз» (*Paris quadrifolia*), но скрытого автором под именем «г. вороний, четырехлистный —

herbparis». За ним следуют «г. мантийный», «г. науплиусов», «г. невооруженный», затем, вопреки алфавитному порядку, вторгаются названия бабочек — «г. наавлинный, дневный — peacock butterfly (*Nymphalis io*)» и «г. павлинный, ночной малый — emperor moth (*Saturnia pavonia*)», а чуть ниже — «г. фасеточный — faceted eye; com-...». Далее строка обрывается. На следующей — «г. фасетчатый — faceted eye; compound eye». «Глазки анютины» закономерно продолжают сумбурную последовательность. Этот пестрящий ошибками отрывок текста был выбран почти наугад, но, увы, подобными неточностями переполнен весь словарь.

Весьма неудачно механическое смешение названий растений и животных, не помеченных никакими различающими знаками. Так, на с.483 чечевица пищевая (*Lens culinaris*) затесалась между названиями птиц — обыкновенной чечевицей (*Rubicilla erythrina*) и сибирской (*Erythrura rosea*). Заметим, кстати, что в словаре есть множество таксономических погрешностей. Так, латинским названием первой из птиц в соответствии с современной номенклатурой считается *Carpodacus erythrurus*, а второй — *C. roseus*¹.

Еще более архаичным названием — *Saxifraga crassi-*

¹ Степанян Л.С. Конспект орнитологической фауны СССР. М., 1990. С.630—632.

folia снабжен на с.26 бадан толстолистный, уже более двух столетий относимый к роду *Bergenia*. «Вид высокоарктический» не тождествен «circumpolar species» — циркулярному виду. Это различные понятия биогеографии. «Вид суперстистый» (в словаре на с.65 — одно из значений «relict species») — немыслимый в русском языке эпитет, как и существительное «аффинитет» (с.24). Под термином «affinity» в биологической литературе обычно понимается «естественное родство». «Видение телесное — solid vision, stereoscopic vision» (с.65) — следует переводить как трехмерное, пространственное или стереоскопическое зрение. «Аюга» (с.25) — транслитерация названия рода растений из семейства губоцветных (*Ajuga*), называемого по-русски живучкой. Вообще список небрежностей, неточностей, ошибок и опечаток можно

продолжать бесконечно.

В начале словаря приводится перечень сокращений фамилий авторов родов и видов. В большинстве случаев аббревиатура расшифровывается полной фамилией автора с инициалами и датами рождения и смерти. Однако это правило соблюдается далеко не всегда. Для отечественных авторов (Г.Ф.Соболевского, А.И.Поярковой, С.С.Станкова и др.) чаще приводятся лишь фамилии.

Непродуманная структура данного раздела заводит в информационный тупик. Только специалист догадается, что под загадочными инициалами «F. et M.», которые далее расшифровываются как «Fischer & Meyer», скрываются имена двух великих наших соотечественников — Федора Богдановича Фишера (1782—1854) и Карла Андреевича Мейера (1795—1855). Эти выдающиеся систематики описали множество

видов и даже родов растений Алтая, Средней Азии, Кавказа и других частей России. Несведущему читателю трудно догадаться, кто именно из четырех перечисленных в словаре исследователей, носивших фамилию Фишер, имелся в виду и почти невозможно найти человека по фамилии Мейер, так как в алфавитном перечне на букву «М» эта фамилия не значится, но ее можно отыскать в списке на букву «С» — «С.А.М.» или «С.А.Мейер». Излишний в подобном издании справочный раздел лишь умножает число ошибок.

К сожалению, мы не знаем, какими источниками пользовался составитель словаря, так как «Предисловие» книги лишь повторяет аннотацию. В выходных данных отсутствуют сведения о числе тиража. Остается надеяться, что он был невелик.

НОВЫЕ КНИГИ

Физика

В.П.Минеев, К.В.Самохин.
ВВЕДЕНИЕ В ТЕОРИЮ НЕОБЫЧНОЙ СВЕРХПРОВОДИМОСТИ.
М.: МФТИ, 1998. 144 с.

Эта книга — первый в мировой литературе учебник-монография по теории необычной сверхпроводимости (сверхпроводимости с нетривиальным куперовским спариванием). В основу издания положен курс лекций по теории обычной и необычной сверхпроводимости, который один из авторов (В.П.Минеев) читал в течение ряда лет студентам Московского физико-технического института. Хотя сам термин

«необычная сверхпроводимость» возник существенно позднее, начало интенсивного изучения теории относится к 70-м годам и связано с открытием сверхтекучести гелия-3 — явления, имеющего ту же природу и характерные признаки, что и необычная сверхпроводимость.

Книга состоит из двух частей. В первой представлены симметричная классификация сверхпроводящих фаз, теории Бардина—Купера—Шифера и Гинзбурга—Ландау—Абрикосова, а также описан ряд эффектов, специфичных для необычных сверхпроводников. Во вторую часть включен ряд задач теории необычной сверхпроводимости, решение которых

требует применения математического аппарата функций Грина.

«Двухэтажное» построение книги, хотя и проигрышное с точки зрения единства изложения, дает возможность ознакомить читателя с основными представлениями физики необычной сверхпроводимости.

Геофизика

ДИНАМИКА ПЕСЧАНЫХ БЕРЕГОВ МОРЕЙ И ВНУТРЕННИХ ВОДОЕМОВ / Сост. Л.А.Жиндарев, А.Ш.Хабидов, А.К.Тризно. Новосибирск: Наука СО РАН, 1998. 271 с.

В истории освоения человеком Мирового океана

морские берега играют особую роль. Именно здесь в большинстве случаев зарождались очаги цивилизации.

В настоящее время береговая зона морей и других крупных водоемов — объект интенсивной техногенной экспансии. Здесь добываются полезные ископаемые, ведется промышленное, гражданское и гидротехническое строительство.

В книге исследуются общие закономерности и механизмы формирования песчаных берегов водоемов. Обсуждается проблема влияния горизонтального расчленения рельефа на динамику берегов. В основу работы положены материалы многолетних исследований, проведенных авторами на Балтике и в районе Новосибирского водохранилища.

Биохимия

БИОХИМИЧЕСКИЕ ИНДИКАТОРЫ СТРЕССОВОГО СОСТОЯНИЯ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ / Сост. Н.Е.Судачкова, И.В.Шеин, Л.И.Романова и др. Новосибирск: Наука СО РАН, 1997. 176 с.

Понятие «стресс» по отношению к растительным организмам применяется в случае необычной, ограниченной временем нагрузки, которая не приводит к очевидным необратимым последствиям.

В естественных условиях древесные растения, как правило, испытывают действие как краткосрочных, так и длительных стрессов.

Среди основных природных стрессов в лесной зоне Северного полушария наиболее часто встречаются: корневая гипотермия из-за сезонной или вечной мерзлоты, гипоксия в корневой сфере на заболоченных участках и водный дефицит на южной границе леса.

Авторы поставили цель: выявить биохимические по-

казатели, пригодные для индикации стрессового состояния древесных растений.

Физиология растений

В.А.Воробьев. СИМБИОТИЧЕСКАЯ АЗОТФИКСАЦИЯ И ТЕМПЕРАТУРА. Новосибирск: Наука СО РАН, 1998. 128 с.

Одна из проблем растениеводства — это дефицит азота, который из года в год не только не сокращается, но даже возрастает в связи с необходимостью резкого увеличения производства пищевого и кормового белка.

В книге представлены экспериментальные данные по оценке потенциальных возможностей бобовых растений и их способности к азотфиксации при действии низких положительных температур (ниже +12°C) и весенних заморозков (до -6°C), характерных для районов Севера и Сибири. Авторы останавливаются на особенностях взаимоотношений бобовых растений с клубеньковыми бактериями, на состоянии обменных процессов (азотного и фосфорного) и распределении симбиотически связанного азота между над- и подземными частями растений. Рассматриваются вопросы эффективности применения макро- и микроэлементов физиологически активных соединений, бактериальных препаратов в целях снижения отрицательного влияния неблагоприятных температурных воздействий на инокулированные бобовые растения, повышение их продуктивности и более полное использование экологически чистого источника азота.

Геология

С.К.Кузнецов. ЖИЛЬНЫЙ КВАРЦ ПРИПОЛЯРНОГО УРАЛА. СПб.: Наука, 1998. 203 с.

Кварц — один из главных и наиболее распространенных минералов гидротермальных жил. С кварцевыми жилами связаны такие полезные ископаемые, как золото, медь, вольфрам, молибден, цинк, свинец и многие другие.

Приполярный Урал — это крупнейший кварцевожильный регион, где широко ведется добыча горного хрусталя, гигантозернистого молочно-белого и прозрачного кварца, гранулированного кварца. Здесь разрабатывается несколько месторождений. Первые сведения о них были получены в ходе экспедиций Э.К.Гофмана (1844—1850) и Е.С.Федорова (1887—1889). Интерес в значительной степени был обусловлен потребностью промышленности в оптическом сырье.

В книге дана характеристика основных типов жильного кварца. Рассмотрены строение индивидов и агрегатов, состав и содержание, физические свойства. Проведена оценка структурных элементов-примесей с использованием методов спектроскопии.

М.М.Константинов, В.Е.Натащенко, А.И.Калинин, С.Ф.Стружков. ЗОЛОТОСЕРЕБРЯНОЕ МЕСТОРОЖДЕНИЕ «ДУКАТ». М.: Недра, 1998. 203 с.

Открытие месторождения «Дукат» подтверждает правило диалектики: случайность — форма проявления закономерности.

В начале 60-х годов резко возрос интерес к рудоносности вулканогенных формаций, и в частности континентальных вулканоплутонических поясов в частности. Благодаря инициативе и исследованиям Г.П.Воларовича, Н.А.Шило, А.А.Сидорова и многих других геологов был выделен ряд перспективных объектов, усилилось финан-

сирование поисковых работ на золотосеребряное оруденение в вулcano-плутонических поясах Востока России, что и привело в конечном счете к выявлению ряда крупных месторождений.

Месторождение «Дукат» было открыто в 1967 г. в результате геолого-съемочных работ масштаба 1:50000 при опробовании коренных выходов и развалов, показавших высокое содержание золота и серебра.

Авторы детально описывают морфологию и строение рудных тел месторождения «Дукат», минералого-геохимические признаки, вещественный состав руд, историю формирования структуры вулканизма и оруденения.

Геокриология

А.В.Брушков. ЗАСОЛЕННЫЕ МЕРЗЛЫЕ ПОРОДЫ АРКТИЧЕСКОГО ПОБЕРЕЖЬЯ, ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ И СВОЙСТВА. М.: МГУ, 1998. 332с.

В современной инженерной геологии и геокриологии существует ряд проблем, связанных с особыми грунтами, слабо изученными ранее из-за ограниченного распространения или находящихся вне зоны освоения. Среди таких грунтов выделяются засоленные мерзлые дисперсные породы. Они имеют характерные инженерно-геологические свойства, отличаются низкой несущей способностью и неустойчивостью к техногенным воздействиям. Их происхождение связано в Арктике в основном с влиянием моря, хотя есть и другие источники засоления.

В течение 1988—1997 гг. Амдерминской научно-исследовательской мерзлотной станцией, МГУ, Фундамент-проектом и другими организациями под руководством

ВНИИГаза выполнялась научно-техническая программа РАО «Газпром» — «Разработка природоохранных мероприятий, экологически безвредных технологий и оборудования для освоения газовых и газоконденсатных месторождений полуострова Ямал», в которой принимал участие автор. Одной из задач этой программы было исследование распространения и свойств засоленных мерзлых грунтов. Результаты легли в основу книги.

Этнография

Г.Н.Симаков. СОКОЛИНАЯ ОХОТА И КУЛЬТ ХИЩНЫХ ПТИЦ В СРЕДНЕЙ АЗИИ. СПб.: Петербургское востоковедение, 1998. 320 с.

«Отдавать и продавать сокола нельзя ни в коем случае, ибо он равен душе его хозяина и его жизни на земле». Автор напоминает об этом мудром крылатом изречении, рассказывая о хане Тохтамыше, который погиб, когда его соколами завладел Тамерлан.

Вся история человечества — это прямое или косвенное сосуществование с миром животных, в том числе хищных птиц. Их приручение тесно связано с дохристианскими, домусульманскими и буддийскими представлениями, именными иногда шаманизмом.

Книга посвящена малоизученной в этнографии теме охоты с ловчими птицами у народов Средней Азии и Казахстана. Автор впервые в отечественной и мировой науке рассматривает соколиную охоту в связи с древним культом хищных птиц, что позволяет дать объяснение многим социальным и хозяйственным особенностям этого вида охоты с точки

зрения древних религиозно-магических представлений и высказать предположение о происхождении отдельных элементов соколиной охоты и промысла в целом.

Особое место занимает анализ специфического, древнего, некогда тайного, языка соколиников этих регионов, в частности — подробное рассмотрение народной классификации ловчих птиц у казахов и киргизов. В основу книги положены полевые материалы автора, собранные во время экспедиционных поездок в течение 20 лет.

История науки

Е.И.Клабуновский, Ю.И.Соловьев. АЛЕКСЕЙ АЛЕКСАНДРОВИЧ БАЛАНДИН. М.: Наука, 1998. 184 с.

Книга посвящена выдающемуся русскому ученому-химiku, человеку, жизнь которого была наполнена радостью научных успехов и тяжкими днями, проведенными в тюрьмах и лагерях.

Алексей Александрович Баландин (1898—1967) вошел в историю науки как автор мультиплетной теории гетерогенного катализа, позволившей связать каталитическую активность вещества с его атомно-молекулярными характеристиками.

Книга поделена на две части: автобиографическую («Жизненный путь») и научную («Мультиплетная теория гетерогенного катализа»). Авторы использовали богатый фактический материал — опубликованный и архивный.

Некоторые подстрочные примечания, а также публикация документов из архивов Федеральной службы контрразведки России подготовлены дочерью ученого, Ниной Алексеевной Баландиной.

Эхо будущего, звучащее из прошлого

Невероятная судьба Льва Термена

В.П.Борисов,

кандидат технических наук

Институт истории естествознания и техники им.С.И.Вавилова РАН
Москва

ИМЯ Льва Сергеевича Термена многие москвичи впервые услышали летом 1997 г. во время празднования 850-летия Москвы. Приглашенный чародей Жан Мишель Жар, сотворивший вблизи Московского университета фантасмагорию музыки и света, объявил, что исполняет свои произведения на электронном музыкальном инструменте, изобретенном Терменом. Спасибо заведему маэстро. Может быть, теперь отечественные любители современной музыки смогут узнать «голос Термена» в саундтреке к диснеевскому фильму «Алиса в стране чудес», диске Лед Зеппелин «Любовь Лотты», композиции группы Бич Бойз «Хорошие вибрации».

Изобретение, сделанное русским инженером почти восемьдесят лет назад, находит все новые воплощения в мире современной электронной музыки. Именно это имел в виду американский журналист, говоря об инструменте Термена как об «эхе будущего, звучащем из прошлого». «Отец музыкального синтезатора» Роберт Муг назвал Термена гением. Но, видно, такова уж особенность жизни российских гениев, что вокруг них творится особенно много злодейства.

УНИВЕРСИТЕТЫ ФИЗИКО-ЛИРИКА

Лев Сергеевич родился 15 (27) августа 1896 г. в

Санкт-Петербурге в обеспеченной дворянской семье. Разносторонние способности проявил уже в детском возрасте. С одинаковым увлечением овладевал игрой на виолончели и занимался опытами по физике. По окончании гимназии он был принят в Петербургскую консерваторию по классу виолончели. Однако Термену этого было мало, через год он поступает еще и на факультеты физики и астрономии Петербургского университета.

Получить второе высшее образование помешала мировая война. Его призывают в армию. Виолончелист-физик проходит обучение в Военной электротехнической школе. После Октябрьской революции Термен вновь рекрутирован: как военный радиоспециалист он должен был пополнить ряды Красной Армии. Служба проходила на Детскосельской радиостанции под Петроградом и в военной радиолaborатории в Москве.

В начале 1920 г. гражданская война подошла к концу, Термен получил возможность сменить военную одежду на гражданскую и вернуться в Петроград.

ИЗОБРЕТАТЕЛЬСТВО В РАМКАХ ЭЛЕКТРИФИКАЦИИ ВСЕЙ СТРАНЫ

Местом работы демобилизованного радиоспециалиста стал физико-технический отдел «папаш» А.Ф.Иоффе в Рентгенологи-

ческом институте. Уже вскоре после прихода Термена этот отдел был преобразован в самостоятельный институт (знаменитый Физтех).

Первой инженерной разработкой молодого специалиста стало создание устройства охранной сигнализации электроемкостного типа. Устройство было простым и эффективным: злоумышленник, приближавшийся к охраняемому объекту, оказывался в электрическом поле, создаваемом обкладкой конденсатора. Изменение емкости вызывало отклонение частоты колебательного контура, в результате чего на центральном пульте срабатывал звуковой генератор, издававший сигнал, похожий на свист.

Мысль тем временем развивалась дальше. В том же 1920 г. Термен сделал свой первый электронный музыкальный инструмент, названный им этерофоном. Главной частью инструмента являлись два высокочастотных колебательных контура, настроенных на общую частоту. Обкладка конденсатора одного из контуров имела наружный выход в виде антенны. Движение руки вблизи антенны создавало гетеродинный эффект, преобразуемый усилителем в звук. Высота звука менялась при приближении или удалении руки от антенны. Невиданным до тех пор образом — как бы из воздуха («эфира») — возникала мелодия. Музыканту не требова-

лись струны или клавиши: рука Термена парила в пространстве. Движением другой руки Термен усиливал или уменьшал громкость звука.

В феврале 1921 г. он продемонстрировал свой инструмент на собрании Петроградского отделения Российского общества радиоинженеров. В октябре того же года выступил перед участниками VIII Всероссийского электротехнического съезда. Физико-технический институт запатентовал музыкальный инструмент Термена в Германии, Великобритании, Франции, США (первая заявка датирована 23 июня 1921 г.). В 1922 г. Термен представил свой инструмент вместе с устройствами охранной сигнализации Председателю Совнаркома В.И. Ленину. Получив после этого специальный мандат на поездки по всей стране, изобретатель провел около 180 лекций-концертов в разных городах России.

Начиная с 1922 г. Термен занимался также исследованиями в области телевидения. В этот период он завершал свое техническое образование, посещая лекции в Петроградском политехническом институте. В качестве дипломной работы им был представлен в 1926 г. опытный образец действующей телевизионной установки, использующей систему 64-строчной механической развертки. Телевизионное изображение воспроизводилось на экране со сторонами около 0.5х0.5 м.

Первым интерес к телевизору Термена проявило командование Красной Армии. По заказу военного ведомства была изготовлена усовершенствованная установка оптического-механического «дальновидения». Приемную телевизионную камеру установили над входом в Управление



Л.С.Термен в музее Михаила Глинки в Москве, 1987 г.

РККА на Арбатской площади. Нарком К.Е.Ворошилов продемонстрировал красным командирам в приемной рядом со своим кабинетом удивительную возможность видеть подходящих к зданию людей, не выглядывая в окно.

Хотя работа над телевизионной системой — лишь эпизод в биографии Термена, созданная им установка стала вехой в истории развития отечественного телевидения.

И все же в середине двадцатых годов «терменвокс» (голос Термена), как стали называть его музыкальный инструмент, получил большой общественный резонанс. Страна, осуществлявшая электрификацию и индустриализацию, нуждалась в расширении связей с

промышленно развитыми странами. Термена начинают включать в состав делегаций, выезжавших за рубеж с целью показа достижений культуры и науки страны большевиков.

ЗАРУБЕЖНЫЙ ТРИУМФ

В 1927 г. Термен был командирован Наркомпросом в Германию, Англию и Францию. Выступления художавого, аристократической внешности русского и исполнение им музыкальных произведений на терменвоксе проходили с большим успехом. Концерты в «Гранд-Опера» вызвали такой интерес, что театр из-за аншлага впервые в своей истории организовал продажу стоячих билетов в ложи.



Дом в центре Нью-Йорка, где находилась фирма-студия Термена в 1928—1938 гг.

В конце года Лев Сергеевич выезжает в США. В январе 1928 г. состоялся его первый концерт в Нью-Йорке, на котором присутствовали композитор Сергей Рахманинов, дирижер Артуро Тосканини, скрипач Йозеф Сигети. Выступление проходило в зале отеля «Плаза», Термен исполнил в переложении для своего инструмента произведения Оффенбаха, Скрябина, Шуберта. С аналогичной программой музыкант

выступил спустя несколько дней в большом зале «Метрополитен-Опера». Посланец России получил громкое паблисити — об этом говорилось на элитном приеме, устроенном в тот же вечер в доме К.Вандербильта, о том же свидетельствовали и последующие публикации в газетах и журналах. Такой успех нужно было закрепить. Термен получает разрешение советских властей основать в Нью-Йорке фирму-студию «Teletouch». Задачей фирмы являлось дальнейшее развитие музыкальных инструментов и их коммерческое производство в США.

Термен работает с большим творческим подъемом. К 1930 г. им были созданы три типа терменов для сольного и ансамблевого исполнения, охватывающие различные звуковые регистры. Разрабатывает клавишный монофонический инструмент на четыре октавы, затем — электронную виолончель большой звуковой мощности. Заказчиком виолончели был Леопольд Стоковский, отметивший, что только при наличии этого инструмента он получил возможность гармоничного исполнения вместе с ФилADELPHIЙским оркестром «Прелюдии № 10» Клода Дебюсси.

Изобретательскую работу Термен совмещал с музыкально-исполнительской. С успехом прошли его концерты в Чикаго, Детройте, Филадельфии, Кливленде, Бостоне и других городах Америки. Его студию в Нью-Йорке посещали М.Равель, Дж.Гершвин, Ч.Чаплин, А.Эйнштейн, А.Зилоти, Л.Стоковский и другие знаменитости.

Компания RCA (Radio Corporation of America) в 1929 г. купила у изобретателя лицензию на право производства «терменов» (американское название инструментов) в США. Об успехах в бизнесе свидетельствует факт, что профсоюз музыкантов-«терменистов» в США насчитывал в 1936 г. около 700 человек.

Выдающимся мастером игры на инструменте Термена становится Клара Рейзенберг — подающая большие надежды скрипачка, которая в юном возрасте эмигрировала в США из России. Голодные годы в послереволюционном Петрограде сказались на музыкальной карьере Клары — ее правая рука стала недостаточно сильной для профессиональ-

ной скрипачки. Переход от скрипки к терменвоксу позволил уйти от этой проблемы, и в скором времени Клара Рокмор (такой стала ее фамилия после замужества) получила признание как непревзойденный виртуоз игры на электронном инструменте. Брак Клары, по-видимому, был в определенной степени связан с мыслями о будущей карьере. Ее муж Роберт Рокмор был известен в мире музыкального шоу-бизнеса. Нашему читателю интересно будет узнать, что Р.Рокмор стал, в частности, импресарио певца Робсона, неоднократно приезжавшего в СССР.

Брак Клары заметно огорчил Термена, находившегося продолжительное время в пылких романтических отношениях с ней. Тем не менее его изобретательский талант это не ослабило. В 1931 г. Термен в сотрудничестве с композитором Г.Кауэллом создал ритмикон — инструмент, воспроизводящий звучания разных частот при взаимодействии вращающихся колес со световыми лучами. Одновременно Лев Сергеевич разрабатывает терпситон — «музыкальную платформу», звуки которой генерировались при движениях находившихся на ней танцоров. Эта идея Термена — чтобы танец рождал музыку, а не наоборот — была наиболее фантастической. Для ее реализации изобретатель начинает работать с группой танцоров Афро-Американской балетной компании. Однако добиться от них необходимой музыкальной точности Термену не удалось. Синтез танца и музыки с помощью терпситона остался в планах на будущее.

Вместе с тем работа с танцорами Афро-Американской балетной группы внесла перемены в личную жизнь Термена. Очаровательная



С Кларой Рокмор, 1991 г.

балерина-мулатка Лавиния Вильямс стала его женой.

Отношение американского общества к смешанным бракам на протяжении истории этой страны было разным. После брака с Лавинией Термен очень быстро понял, что двери многих домов нью-йоркской элиты для него закрыты.

С КОРАБЛЯ НА... ТЮРЕМНЫЕ НАРЫ

Точку в американском периоде жизни поставило его возвращение в СССР в 1938 г. Отъезд, организованный в лучших традициях детективного жанра, явился полной неожиданностью для Термена. Чтобы объяснить происшествие, необходимо приоткрыть еще одну завесу. Дело в том, что, находясь в Америке, он постоянно контактировал с агентами НКВД.

Для этого ведомства ему приходилось добывать нужную информацию, рассказывать о своих контактах с известными людьми. Вполне вероятным поэтому выглядит предположение, что после сокращения круга знакомств Термен как источник информации потерял в зна-

чительной степени ценность для НКВД. По версии его американского биографа С.Мартина, российский музыкант имел неосторожность обратиться за финансовой помощью в представительство Германии в Нью-Йорке, и именно это вызвало гневную реакцию Москвы.

В дом Термена на 54-й улице Нью-Йорка явились «наши люди», которые препроводили музыканта на советский корабль, стоявший в устье Гудзона. Как вспоминал потом Лев Сергеевич, ему было сказано, что он срочно понадобился «для уточнения некоторых формальных вопросов». Может быть, кому-то это покажется невероятным, но чекистам не составило большого труда вывезти из центра Нью-Йорка известного человека без его согласия и без соблюдения необходимых правил паспортного и таможенного контроля.

Уже на корабле Термену объяснили, что он возвращается в СССР. В первую очередь Лев Сергеевич поинтересовался, сможет ли присоединиться к нему молодая жена. Его заверили, что она будет отправлена в СССР следующим рейсом. К счастью для Лавинии, это обещание никто не собирав-



*Виртуоз игры на терменвоксе
— Лидия Кавина, 1995 г.*

ся выполнять. Исчезновение русского мужа так и осталось для темнокожей балерины большой загадкой.

В СССР Термена ожидал следственный изолятор. Следователь советовал музыканту добровольно признаться в том, что он участвовал в заговоре с целью убийства Кирова. Доводы Термена, что он не мог заниматься этим, находясь в Америке, оказались недостаточно убедительными. Решением суда Термен был приговорен к восьми годам. Фактически лишение свободы растяну-

лось на двадцать лет. Самым тяжелым был первый год заключения, который пришлось отбывать на печально известной Колыме. Выжил, хотя руки музыканта не сразу приспособились тащить тяжелые тачки с мерзлым грунтом. Потом руководство ГУЛАГа вспомнило о техническом образовании «заговорщика». Он был переведен для работы в «шарагах» Омска, затем Москвы, где занимался оборудованием для радиоуправления беспилотными самолетами, а также радиобуями для использования в военно-морских операциях.

Пути зэковские неисповедимы. В конце войны

Термен получает задание на разработку устройств наружного прослушивания разговоров, ведущихся в зданиях. Поставленную задачу изобретатель решил, используя последние достижения радиотехники. Сотрудники иностранных посольств в Москве в то время не догадывались, что для подслушивания разговоров в помещении специалистам достаточно принимать рассеянное радиоизлучение, отраженное от оконного стекла. За разработку аппаратуры под кодовым названием «Буря» Термен был удостоен в 1947 г. Сталинской премии 1-й степени.

Высоким техническим совершенством отличались созданные в тот период «жучки» для подслушивания. В начале 50-х годов сотрудники американского посольства в Москве обнаружили внутри деревянного резного герба США, висящего в кабинете посла, миниатюрный металлический цилиндр. «Жучок» озадачил западных специалистов, поскольку не имел ни элементов питания, ни электрических цепей. Принцип действия удалось раскрыть лишь британской службе М-15, которая по достоинству оценила изобретательность неведомого русского.

Такой специфической техникой Термену пришлось заниматься почти 10 лет. Его не осудит тот, кто побывал в ситуации, когда выбор — вопрос выживания.

ВОЗВРАЩЕНИЕ В МИР МУЗЫКИ

Полную реабилитацию Термен получил в 1958 г. Всемогущее ведомство отблагодарило его на прощанье квартирой в доме на Калужской заставе (ныне площадь Гагарина) в Москве. Росли дочери-близнецы от брака с

сотрудницей все того же ведомства. Быт входил в обычное русло.

Но для Термена жизнь была — в творчестве. Сколько лет он мечтал об удивительном мире ламп, схем, проводов, рождавшем послушные руке маэстро звуки! Он дождался возвращения в забытый мир, но этот мир уже не ждал его. Выступления на парижских и нью-йоркских сценах ушли в небытие; кадровики видели перед собой всего лишь человека пенсионного возраста с подозрительной анкетой.

Наконец, в 1964 г. Термен получил возможность временной работы в лаборатории акустики и звукозаписи Московской консерватории. Изобретателю отвели угол для экспериментов, помощников ему не полагалось, о добывании материалов и комплектующих изданий Лев Сергеевич должен был тоже заботиться сам. Несмотря на это, ему удалось восстановить многие из разработанных когда-то электронных музыкальных инструментов. Надеяться на помощь в изготовлении стандартного шасси или корпуса не приходилось. При сборке инструмента типа «Ритмикон» все блоки и платы он привернул болтами к обструганной доске.

Но вскоре наступил драматический финал. О том, что знаменитый когда-то Термен жив, рано или поздно должны были узнать представители западных информационных изданий. Первым случайно, оказался корреспондент газеты «Нью-Йорк Таймс». В одном из номеров за 1967 г. появилась его заметка, гневившая, что загадочно исчезнувший в 1938 г. изобретатель электронной музыки не умер, а после многих злоключений живет и работает в Москве.

Реакция на это сообще-



С. Мартин и Л.С. Термен, 1991 г.

ние не заставила себя ждать. «Мнение» об излишней разговорчивости сотрудника было доведено до руководства и партийной организации Московской консерватории. Термена уволили, его инструменты были выброшены, некоторые для верности даже разбиты топором.

Спасибо академику Рэму Викторовичу Хохлову, он помог после всего этого устроиться на работу в мастерскую физического факультета МГУ. Чтобы сохранить Термену возможность получать пенсию, его оформили на должность рабочего. По существу большую часть времени он занимался тем, что мог бы делать рабочий достаточной квалификации, поскольку, как и в Московской консерватории, трудиться приходилось без помощников.

Времена, однако, менялись. Электронные инструменты все более активно вторгались в мир музыки. Старейший маэстро начал передавать искусство игры на терменвоксе ученикам. Самой способной оказалась внучатая племянница Лида Кавина, которую Термен

начал обучать с девятилетнего возраста. К двадцати годам Лидия Кавина стала виртуозом игры на электронном инструменте. Ее искусство восхищает теперь зрителей в концертных залах Европы и Америки, как когда-то восхищали выступления Льва Термена и Клары Рокмор.

На склоне лет и сам изобретатель электронной музыки снова получил возможность предстать перед зарубежной публикой. В 1989 г. он посетил Буржский музыкальный фестиваль во Франции. Спустя два года 95-летний Термен совершил ностальгическое путешествие в США — страну, где ему пришлось пережить триумфальное признание, романтическую увлеченность и крушение многих иллюзий.

В фильме, снятом Стивенем Мартином во время этой поездки, запоминаются кадры, когда престарелый маэстро немного растерянно идет по Манхэттену, с трудом узнавая места, где прошли десять лет его жизни. Центральное место в фильме занимает встреча Льва Термена с Кларой Рокмор. Женщины есть женщины: 80-летняя Клара долго не соглашалась на эту встречу, не желая предстать перед

обожаемым маэстро в незнакомом для него облике.

Поездка в Америку была не последним путешествием за границу Термена. В 1993 г. он побывал в Нидерландах на фестивале «Шёнберг—Кандинский». «Я потому такой живучий, — любил говорить Лев Сергеевич, — что моя фамилия наоборот читается «не мрет»».

Термен умер 4 ноября 1993 г. в 97-летнем возрасте и похоронен на Ново-Кунцевском кладбище в Москве.

Так совпало, что кончина изобретателя случилась через день после показа по британскому телевидению фильма режиссера С.Мартинна «Электронная Одиссея Льва Термена». Ушедшему

из жизни маэстро не пришлось увидеть ни этот фильм, ни посвященную ему передачу по российскому телевидению.

Термен прожил долгую жизнь, но до настоящего признания не дожил совсем немного. Что поделать, так-ва, видно, участь многих великих людей.

Над номером работали
Ответственный секретарь
Ю.К.ДЖИКАЕВ

Научные редакторы
О.О.АСТАХОВА
Л.П.БЕЛЯНОВА
Е.Е.БУШУЕВА
М.Ю.ЗУБРЕВА
Г.В.КОРОТКЕВИЧ
К.Л.СОРОКИНА
Н.В.УЛЬЯНОВА
Н.В.УСПЕНСКАЯ
О.И.ШУТОВА

Литературный редактор
М.Я.ФИЛЬШТЕЙН

Художественный редактор
Т.К.ТАКТАШОВА

Заведующая редакцией
И.Ф.АЛЕКСАНДРОВА

Младший редактор
Г.С.ДОРОХОВА

Компьютерный набор
Е.Е.ЖУКОВА

Перевод
П.А.ХОМЯКОВ

Корректоры
В. А. ЕРМОЛАЕВА
Л.М. ФЕДОРОВА

В художественном оформлении
номера принимала участие
О. Г. ЧЕКИНА

Издательство «Наука» РАН

Адрес редакции:
117810, Москва, ГСП-1
Мароновский пер., 26
Тел.: 238-24-56, 238-25-77
Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 08.02.99
Бумага типографская № 1
Офсетная печать
Усл. печ. л. 10,32
Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.
Уч.-изд. л. 15,1
Заказ 2276

Отпечатано в типографии
«Наука», 121099, Москва,
Шубинский пер., 6

ПРИРОДА

3⁹⁹

ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ (Индивидуальная база данных)



"Can a person be blamed who is born with crabby genes?"

Практическая ценность тестирования "генов предрасположенности", ответственных за возникновение ряда тяжелых заболеваний, ни у кого не вызывает сомнений. Более того, сегодня уже серьезно обсуждается вопрос о разработке своеобразного генетического паспорта, который позволит любому заинтересованному человеку получить подробную информацию об уникальных особенностях своего генома.

Баранов В.С., Асеев М.В., Баранова Е.В. «ГЕНЫ ПРЕДРАСПОЛОЖЕННОСТИ» И ГЕНЕТИЧЕСКИЙ ПАСПОРТ

