

# ПРИРОДА

2000 11



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), 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), член-корреспондент РАН **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.РУБИНИН** (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. Большая райская птица (*Paradisaea apoda*).  
Рисунок Д.Гульда.

См. в номере: **Москалев Л.И.** *О художниках, натуралистах и капитанах.*

НА ЧЕТВЕРТОЙ СТРАНИЦЕ ОБЛОЖКИ. Река Мста в месте впадения в нее Понеретки.  
См. в номере: **Коршунов В.В.**, **Котов Ф.С.**, **Полежаев А.В.** *Подземная река Русской  
равнины.*

Фото В.В.Коршунова



**В НОМЕРЕ:****3** Алексеев М.Н., Друщиц В.А.

**Полезные ископаемые шельфов России**  
Завершается работа над атласом, в котором впервые будет представлена полная картина размещения месторождений нефти, газа, гидратов, угля и минералов, образующих россыпи, на обширных пространствах шельфа нашей страны.

**12** Гиннатуллин Р.А.**Вторая «профессия» АТФ**

АТФ традиционно считается обязательным компонентом внутриклеточных реакций. Однако это соединение, выделившись из клетки, принимает активное участие во многих физиологических процессах.

**Калейдоскоп****17**

По нехоженным тропам Африки (17). — Астероид — чемпион вращения (31). — Оптический телескоп «Субару» — новые открытия (31). — Где и как родился Уран и Нептун? (31). — Проект «Шампольон» возобновлен (32). — «Горячее пятно» под Ярлун Цзангбо (32). — Радиоактивность Монблана (42). — Розеттский камень открывает новые тайны (42). — Землетрясения связаны между собой (64). — Реабилитация филистинян (65). — Таймырский мамонт (65). — Резкое потепление в конце ледникового периода (66).

**18** Воронов Д.А.**Старая гипотеза «перевернутости» хордовых подтверждается**

Благодаря современным данным молекулярной биологии, сравнительной анатомии и эмбриологии подтвердилась гипотеза «перевернутости» хордовых, выдвинутая ЭЖоффруа Сент-Илером еще в начале прошлого века.

**Лекторий****23** Дьячков П.Н.**Материалы для компьютеров XXI века**

В грядущем веке электроника должна перейти на компоненты молекулярного размера. И сегодня первые кандидаты на роль таких устройств — углеродные нанотрубки.

**33** Белов С.В., Бурмистров А.А.**Трещины в гранитах — зло или благо?**

Повышенная трещиноватость делает непригодными для использования облицовочные граниты очень красивых рисунков. В то же время именно в крупных трещинах гранитов концентрируются руды ценных металлов.

**Научные сообщения****41** Вибе Д.З.**Кризис марсианской программы НАСА****43** Жилин Д.М., Перминова И.В.**Ртуть в педосамах: превращения и токсичность**

Химические загрязнители природной среды, соединения ртути в частности, вступают в многочисленные реакции и меняют свою токсичность. Пригодны ли ПДК для оценки экологической опасности этих веществ без учета подобных превращений?

**Заметки и наблюдения****51** Коршунов В.В., Котов Ф.С.,  
Полещук А.В.**Подземная река Русской равнины****57** Куркин М.И.**А.С.Боровик-Романов в моей жизни****Наследие****67****К 100-ЛЕТИЮ  
Н.В.ТИМОФЕЕВА-РЕСОВСКОГО****Неосуществленный проект**

(68)

**Тридцать лет спустя. Гийстер В.К.**

(71)

**Комментарий. Иванов В.И.**

(74)

**75****«Дорогой друг... Дорогой Миз...»**

Из писем Л.И.Мандельштама Р.фон Мизесу

**Новости науки****84**

«Индевор» картографирует Землю (84). — Каталог экзопланет пополняется. Вибе Д.З. (84). — Существование «темной» материи подтверждено (85). — Бруксгейвский экспериментальный реактор остановлен (85). — Запах врага и запах добычи впитываются «с молоком матери». Семенов Д.В. (86). — Перепись гризлы (87). — Колебания недр Земли и ее атмосферы (87). — Опал в диатомовых илах Южного океана (87). — Новый айсберг-гигант начал дрейф (88). — Толщина арктических льдов сократилась (88). — Ярмукцы были развитым племенем (88).

**Рецензии****89** Москалев Л.И.**О художниках, натуралистах  
и капитанах****Новые книги****93****Резонанс****95****«Рефлекс свободы»**

(публикация Ю.Н.Вавилова, М.Е.Раменской)

**CONTENTS:**

**3 Alekseev M.N. and Drushchits V.A.**

**Mineral Resources of Russia's Shelves**

*Finishing touches are being put to an atlas that for the first time gives the full picture of how oil, gas, gas hydrates, coal, and placer minerals are distributed over the vast shelves around our country.*

**12 Giniatullin R.A.**

**ATF's second profession**

*ATF has traditionally been regarded as an essential component of intracellular reactions. However, after coming out of its cell, this compound is actively involved in many physiological processes.*

**17 Kaleidoscope**

On Africa's untrodden paths (17). — Asteroid — the Rotation Champion (31). — Subaru Optical Telescope: New Discoveries (31). — Where and How Were Uranus and Neptune Born? (31). — The Champollion Project Resumed (32). — A Hotspot beneath Yarlung Zangbo (32). — Mont Blanc Radioactivity (42). — The Rosetta Stone Revealing New Mysteries (42). — Earthquakes Are Interconnected (64). — Rehabilitation of Philistines (65). — Taimyr Mammoth (65). — Abrupt Warming at the End of the Glaciation Period (66).

**18 Voronov D.A.**

**The Old Hypothesis of Overturned Chordates Confirmed**

*Recent data of molecular biology, comparative anatomy, and embryology have confirmed the hypothesis of overturned chordates proposed by E.Geoffroy Saint-Hilaire as long ago as the beginning of the last century.*

**Lectures**

**23 D'yachkov P.N.**

**Materials for 21st Century Computers**

*In the future century, electronics should change over to molecular-size components. At present, the first candidates for such devices are carbon nanotubes.*

**33 Belov S.V. and Burmistrov A.A.**

**Fractures in Granites: Good or Evil?**

*When highly fractured, granites with very spectacular patterns are unusable. At the same time, it is the large fractures of granites that contain high concentrations of valuable metals.*

**Scientific Communications**

**41 Wiebe D.S.**

**NASA's Mars Program in a Crisis**

**43 Zhilin D.M. and Perminova I.V.**

**Mercury in Bodies of Water: Transformations and Toxicity**

*Chemical contaminants of the environment, in particular mercury compounds, are involved in numerous reactions and change their toxicity. Are maximum allowable concentrations suitable for assessing the environmental hazard due to these substances without regard for such transformations?*

**Notes and Observations**

**51 Korshunov V.V., Kotov F.S., and Poleshchuk A.V.**

**An Underground River in the Russian Plain**

**57 Kurkin M.I.**

**A.S. Borevsk-Romanov in My Life**

**Legacy**

**67**

**ON THE 100TH BIRTHDAY OF N.V.TIMOFEEV-RESOVSKY**  
**An Unfulfilled Project (68)**  
**Thirty Years After. Ginter E.K. (71)**  
**Comment. Ivanov V.I. (74)**

**75**

**«Dear Friend... Dear Mis...»**  
 From L.I. Mandelstam's Letters to R. von Mises

**Science news**

**84**

The *Endeavour* Mapping the Earth (84). — The Catalog of Exoplanets Grows. Wiebe D.S. (84). — The Existence of Dark Matter Confirmed (85). — The Brookhaven Experimental Reactor Stopped (85). — The Smell of the Enemy and the Smell of the Prey Are Imbided with the Mother's Milk. Semenov D.V. (86). — Grizzly Census (87). — Vibrations of the Earth's Interior and Atmosphere (87). — Opal in Diatom Oozes of the Southern Ocean (87). — A New Giant Iceberg Has Started Drifting (88). — The Thickness of Arctic Ice Has Decreased (88). — The Yarmuktians Were not So Backward (88).

**Book reviews**

**89 Moskalev L.I.**

**About Painters, Naturalists, and Captains**

**New Books**

**93**

**Response**

**95**

**«Freedom Reflex»**  
 (Yu.N. Vavilov and M.E.Ramenskaya's Publication)

# Полезные ископаемые шельфов России

М.Н.Алексеев, В.А.Друщиц

**О**бширные пространства шельфа России, охватывающие более 6 млн км<sup>2</sup>, — объект исключительного значения с точки зрения изучения, освоения и экономического использования. Именно поэтому во второй половине XX в. здесь развернулись масштабные исследования на море и суше. С помощью различных геофизических методов и бурения донных отложений на шельфах были открыты крупные месторождения углеводородов и образующих россыпи минералов.

В последнее десятилетие из-за экономических причин морские экспедиционные работы были в значительной мере свернуты и в настоящее время носят лишь эпизодический характер. Однако исследования шельфов продолжаются. Более того, в рамках Научного совета по проблемам Мирового океана РАН и его рабочей группы «Шельф» обобщается существующий на сегодня материал и заканчивается работа над атласом-монографией «Геология и полезные ископаемые шельфов России». До недавнего времени в нашей стране, где большая часть картографического ма-



*Михаил Николаевич Алексеев, доктор геолого-минералогических наук, главный научный сотрудник Геологического института РАН, председатель рабочей группы «Шельф» Научного совета РАН по проблемам Мирового океана, главный редактор атласов «Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое» и «Геология и полезные ископаемые шельфов России». Область научных интересов — стратиграфия четвертичных отложений.*



*Валентина Александровна Друщиц, кандидат географических наук, старший научный сотрудник того же института, ученый секретарь рабочей группы «Шельф», заместитель главного редактора упомянутых атласов. Занимается стратиграфией и геоморфологией шельфа.*

териала по шельфам на протяжении многих десятилетий была засекречена, выход в свет подобного издания был невозможен. Между тем его значение для практики и образования трудно переоценить.

Этот атлас вряд ли удалось бы составить, не будь ранее подготовленного нашей рабочей группой вместе с коллегами из Великобритании атласа палеогеографических карт «Шельфы Евразии в мезозое и кайнозое», в основном

© М.Н.Алексеев, В.А.Друщиц

в масштабе 1: 5 000 000, с единой хроностратиграфической основой и легендой<sup>1</sup>.

Изучение геологического строения и эволюции шельфов Евразии в мезозое и кайнозое дало возможность реконструировать картину развития континентальных окраин материка начиная с хронологического уровня 230 млн лет (поздний триас). На палеогеографических картах, составленных для различных стратиграфических срезом, показаны контуры шельфовых зон, положение древних береговых линий, некоторые важнейшие элементы тектоники и геодинамики, отложения, сформированные в морской и континентальной обстановках. В целом формирование мезозойских и палеогеновых шельфовых зон, изменение площади внутриконтинентальных и окраинных морей, а также конфигурации материков происходило главным образом при активном воздействии тектонических процессов, включая и горизонтальные перемещения крупных блоков земной коры. На фоне этих широкомасштабных событий регрессивные и трансгрессивные явления (отступления и наступления моря), связанные с климатическими причинами, в мезозое и кайнозое выражены слабо. В неогене, и особенно в четвертичном периоде, на общем фоне активных геодинамических процессов достаточно хорошо заметны гляциоэвстатические изменения уровня морей и океанов,

сопровождавшиеся накоплением отложений различного генезиса, а также формированием берегового и подводного рельефа.

На эту информацию о древней обстановке накладывается картина распределения месторождений полезных ископаемых на шельфах России в новом атласе «Геология и полезные ископаемые шельфов России». Рамки журнальной статьи не позволяют дать полное представление об этой работе. Мы попытаемся рассказать об основных ее аспектах, воспользовавшись обзорной картой полезных ископаемых прибрежных районов шельфа России в качестве основной иллюстрации.

## Углеводороды

Проблемы изучения и освоения ресурсов углеводородов на шельфах России после распада СССР в 1991 г. постепенно приобретают все более острый характер. Сократилось число высокодебитных скважин, увеличилась стоимость добычи углеводородов и их транспортировки. Все это определяет необходимость освоения новых перспективных источников. В мощных осадочных комплексах шельфовых морей России заключены нефтяные, газовые и газоконденсатные месторождения, имеющие исключительно важное экономическое значение. По имеющимся оценкам, их запасы (в пересчете на нефтяной эквивалент) составляют 100 млрд т. Наиболее крупные месторождения располагаются в западном арктическом секторе. Это Штокмановское в Баренцевом морье, Ленинградское и Русановское — в Карском.

Анализ геологических и геофизических данных свидетельствует о высокой перспективности осадочных бас-

сейнов шельфового региона на востоке России. Значительны ресурсы дальневосточных морей. В российском секторе шельфов Азовского, Черного, Каспийского и Балтийского морей вместе с прибрежными районами содержится немногим более 1% от общего нефтегазового потенциала России.

Наиболее масштабные ресурсы углеводородов связаны с арктическими шельфовыми регионами, площадью более 3 млн км<sup>2</sup> и мощностью осадочного чехла до 10–15 км. К 1997 г. здесь были открыты 15 месторождений. Почти все они на западе — в Баренцево-Карской шельфовой области. При этом на шельфе Баренцева моря нефть, газ и газоконденсат связаны с мощными толщами средней и верхней юры, а месторождения углеводородов Печорского моря приурочены к пермским и триасовым отложениям. В генетическом отношении последняя группа месторождений связана с осадочными комплексами, продолжающими Русскую платформу<sup>2</sup>.

Нефтегазоносность восточного сектора изучена существенно слабее. Геологическое строение этой обширной зоны к востоку от Таймырско-Североземельской складчатой области известно только по данным исследований на прибрежной и островной суше, а также материалам геофизических исследований, которые в последние 10–15 лет охватили практически весь шельф — до его внешнего края. Было выявлено несколько прогибов, с которыми связаны наиболее мощные (до 10–15 км) осадочные комплексы мезозойских и палеогеновых отложений. Это Новосибирский прогиб и прогиб Вилькицкого, расположенные

<sup>1</sup> Двухтомный атлас был издан в 1991 г. в Великобритании с сопроводительным текстом на русском и английском языках. Окончательная редакция выполнена авторами этой статьи вместе с английским геологом Н.Лейлом. На картах отражены наиболее значительные геологические и палеоокеанологические события в 20 крупных регионах, охватывающих окраины Евразии и ее внутриконтинентальные моря. Палеогеологические аспекты деления шельфа на типы изложены в статье: Пущаровский Ю. М., Алексеев М. Н. // ДАН. 1993. Т.330. №4. С.488–491.

<sup>2</sup> Иванова А. М., Супруненко О. И., Ушаков В. И. Минерально-сырьевой потенциал шельфовых областей России. СПб, 1998.

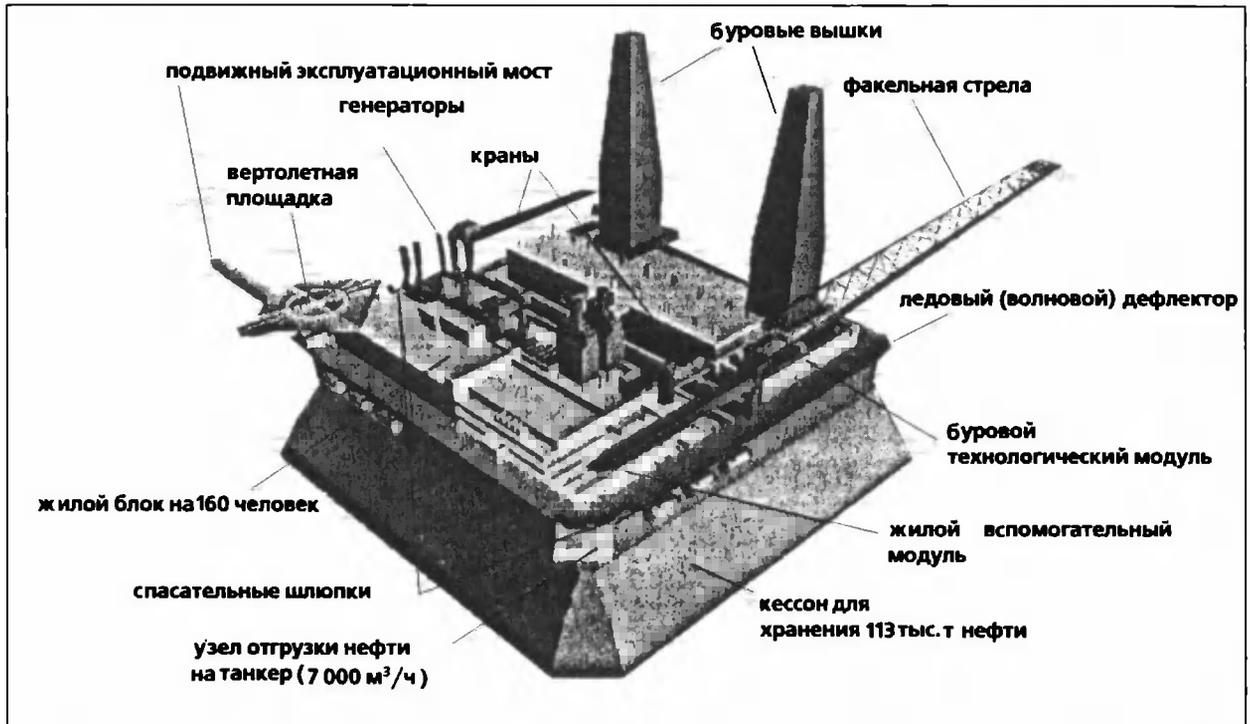


Схема морской стационарной ледовой платформы «Приразломная». С помощью таких установок будут добывать нефть на мелководье в юго-восточной части Баренцева моря.

к северу от Новосибирского архипелага, а также Усть-Ленский. Именно эти структуры — потенциально нефтегазоносны.

В целом комплексные исследования тектоники, стратиграфии, строения седиментационных бассейнов выполнены для всей Арктической области. Они показали, что верхнеюрские нефтегазоносные комплексы достаточно хорошо прослеживаются от Баренцевоморского региона в Западной Сибири, в восточном секторе Российской Арктики и на Северной Аляске. Таким образом, можно провести межрегиональную корреляцию уже известных и, вероятно, перспективных для поисков нефти и газа арктических прибрежных районов и сопредельных шельфов.

Дальневосточные моря России — Берингово, Охотское и Японское — располагаются в пределах северо-западной части Тихоокеанского

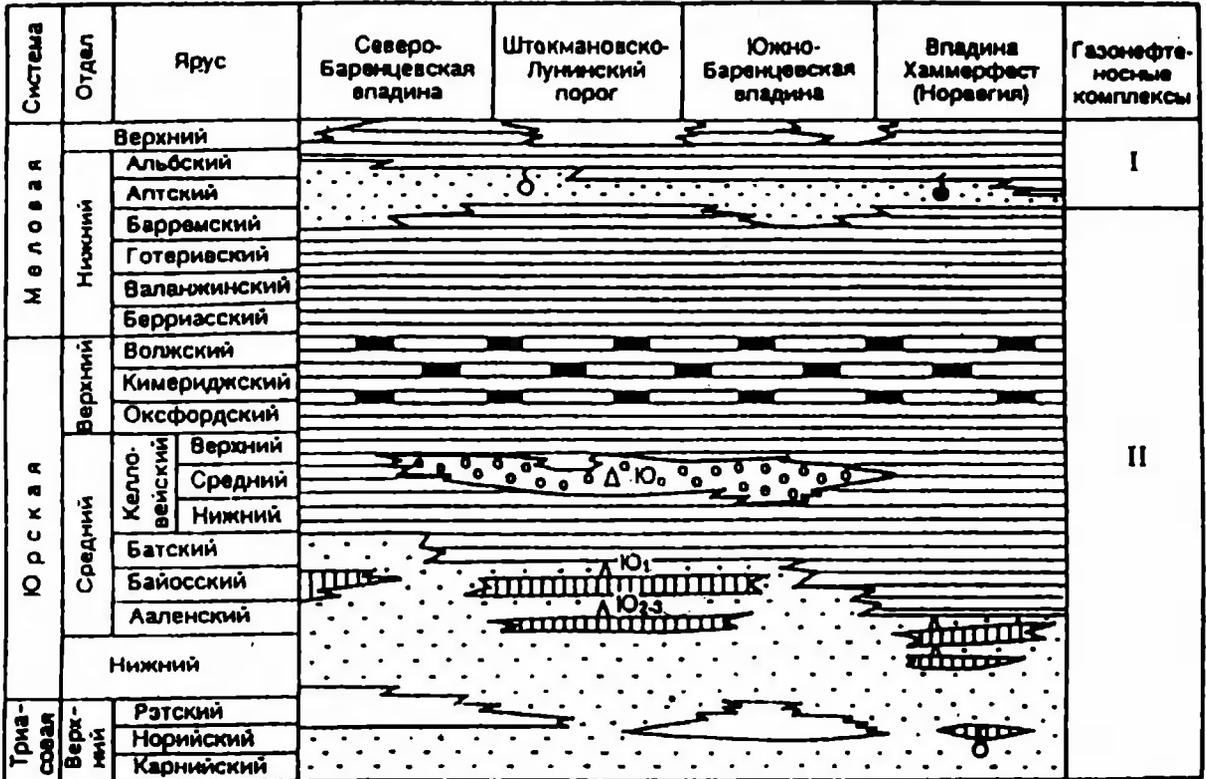
тектонического пояса. Здесь активные геологические процессы и магматизм привели к существенной переработке мезозойских осадочных и вулканических комплексов. Сформировалась система осадочных бассейнов кайнозойского и позднекайнозойского возраста. С ними связан основной нефтегазовый потенциал Дальневосточной шельфовой области России. С началом интенсивного прогибания и седиментации связаны и главные очаги нефтегазообразования. В Беринговоморской провинции нефтегазовые ловушки могут быть приурочены к баровым пескам олигоцен-раннемиоценового возраста. Широко распространены крупные дизъюнктивные нарушения и антиклинальные складки, а, возможно, связанные с ними ловушки углеводородов имеют подчиненное значение.

В Охотоморском регионе месторождения нефти и газа

связаны с локальными антиклинальными складками, как правило, сильно нарушенной системой разломов. Типичный пример — группа месторождений углеводородов на о.Сахалин и его шельфе. Для большинства месторождений характерно блоковое строение, которое способствует перераспределению углеводородов по вертикали и иногда ведет к уничтожению месторождений. Нефть и газ связаны с песками, песчаниками и глинами олигоцен-миоценового возраста. Проблемы нефтегазоносности российского шельфа Японского моря — предмет изучения ближайшего будущего.

## Газогидраты

Один из перспективных энергетических ресурсов Арктического шельфа — газогидраты, в основном метана. В этой области их происхож-



Основные нефтегазовые комплексы Баренцевоморского шельфа (Иванова А.М. и др., 1998).

дение связано с миграцией газа в той или иной мере насыщенных водой породах и их переходом в кристаллическое состояние в условиях высокого давления и низких температур многолетнемерзлых пород<sup>4</sup>. Наиболее полно формирование газогидратов исследовано в России, в районе га-

зового месторождения Мессоякха, на севере Западно-Сибирской низменности. На современных полярных шельфах эти образования возникают в результате длительного субаэрального развития в условиях низких температур и отсутствия влаги в позднем кайнозое. Первоначальные представления о высоком потенциале газоотдачи гидратов сменились более скромными оценками. Тем не менее инте-

рес к их огромным ресурсам продолжает нарастать<sup>4</sup>. Наряду с геологической разведкой уже разрабатываются конкретные способы извлечения

<sup>4</sup> Трофимук А.А., Черский Н.В., Царев В.П. Газогидраты — новые источники углеводородов // Природа. 1979. №1. С.18—27.

<sup>4</sup> Соловьев В.А. Этапы развития криолитозоны Арктического шельфа // Криогетермия и гидраты природного газа в недрах Сев. Ледовитого океана. Л., 1987. С.126—130; Соловьев В.А., Гинсбург Г.Д. Газогидратоносность недр Сев. Ледовитого океана // Там же. С.131—138; Buthman D. // Crater tectonics' role in exploration. Offshore. 1998. V.58. №7. P.108—112.

метана из газогидратных залежей, среди которых нагрев резервуара до температур распада гидратов; уменьшение давления в резервуаре ниже равновесного для гидратов; инъекция ингибиторов (метанола или гликоля) в резервуар, уменьшающая стабильность гидратов.

Изыскиваются также новые методы добычи газа из гидратов электромагнитной стимуляцией; гидравлическим способом.

Существенную роль в формировании газогидратов играла многолетняя мерзлота. В области современного шельфа она появилась в секторе Восточной Арктики 2.8–2.6 млн лет назад, на рубеже среднего и позднего плиоцена, после резкого понижения температуры. Особенно сильно породы промерзли на обширных осушенных пространствах, появившихся при отступании береговой линии. Эта область, включающая моря Лаптевых, Восточно-Сибирское и Чукотское (вместе с американским сектором), в условиях изоляции от Тихого и Атлантического океанов стала полем развития различных криогенных процессов. Глубина промерзания в различных частях этой области различна. По данным В.А.Соловьева, возможная максимальная мощность реликтовой подводной мерзлой зоны колеблется в различных условиях от нескольких десятков до нескольких сотен метров. При этом глубина промерзания зависит от длительности криогенеза, характера осадочных пород, особенностей рельефа и тектонического развития. Естественно, особую роль играет и положение газогидратов (они образуют линзы, пласты, рассеяны между зернами вмещающих пород или заполняют трещины и т.п.). Все это для шельфов Арктики пока выяснено недостаточно, как и положение месторождений под

долинами рек, подводное продолжение которых регистрируется при картировании рельефа дна современных арктических морей. Очевидна формирующая и стабилизирующая роль зоны вечной мерзлоты как своеобразного экрана в образовании газогидратов. Однако имеет место и эмиссия газа, когда благодаря тектоническим, сейсмическим или термическим нарушениям газогидрат переходит из кристаллического состояния в газообразное.

Так, в апреле 1983 г. в районе о.Беннетта, произошел выброс газа и мелких частиц пород, зафиксированный на космических снимках. Подобные явления повторялись в этой области и позже. Газогидраты в условиях Арктического шельфа в разрезе донных отложений могут представлять собой цементирующее вещество и играть роль ловушки для скоплений свободного газа. Исследователи Геологической службы США изучили нефтяное месторождение Прадхое Бей и Купарук Ривер на Арктическом шельфе Аляски<sup>5</sup>. Оказалось, что в интервале глубин от 250 до 700 м в мерзлой зоне располагается до девяти газогидратоносных серий, состоящих в основном из кристаллов метана, а также пропана, изопропана и др. При этом основание мерзлой толщи, содержащей газ, находится на глубине 450 м от поверхности дна моря. Ниже, на глубине около 750 м, установлено скопление свободного газа. Можно предположить, что такое же строение имеют месторождения углеводородов (включая газогидраты) в акваториях Восточно-Сибирского моря, на западе Чукотского, а также

в морях Лаптевых и Карском. В целом, по данным Г.Д.Гинсбурга и В.А.Соловьева, потенциально газогидратоносные акватории занимают около 10% площади Мирового океана, а скопления гидратов — до 10% этой площади. Возможный потенциал крупных скоплений гидратов — десятки миллиардов кубометров газа.

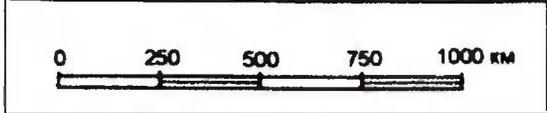
## Уголь

Недра обширных шельфовых областей Арктики и Дальнего Востока заключают значительные резервы бурых и каменных углей. Они обнаружены на островах, побережьях и в акваториальной части окраинных морей. Самые древние угли связаны с пермскими толщами, но наиболее перспективны меловые. В арктическом секторе изучены угольные месторождения, включающие несколько пластов рабочей мощности (более 0.6 м).

Месторождения бурого и каменного угля известны на архипелаге Шпицберген, о-вах Земли Франца-Иосифа, на Новой Земле, на о.Октябрьской Революции, на Новосибирских о-вах, о.Беннетта, о.Айон и некоторых других. Многочисленные угленосные бассейны и содержащие угли разрезы положены на карту в различных районах арктического побережья, в районе устья р.Лены, близ пос.Тикси. Буроугольное месторождение Сого в прошлом разрабатывалось, его уголь использовался как топливо на судах и в прибрежных поселках.

В восточном секторе Арктической области угленосны меловые, палеогеновые и неогеновые отложения. Промышленный интерес представляет, например, месторождение Деревянные Горы на о.Новая Сибирь в Восточно-Сибирском море. Здесь суммарная мощ-

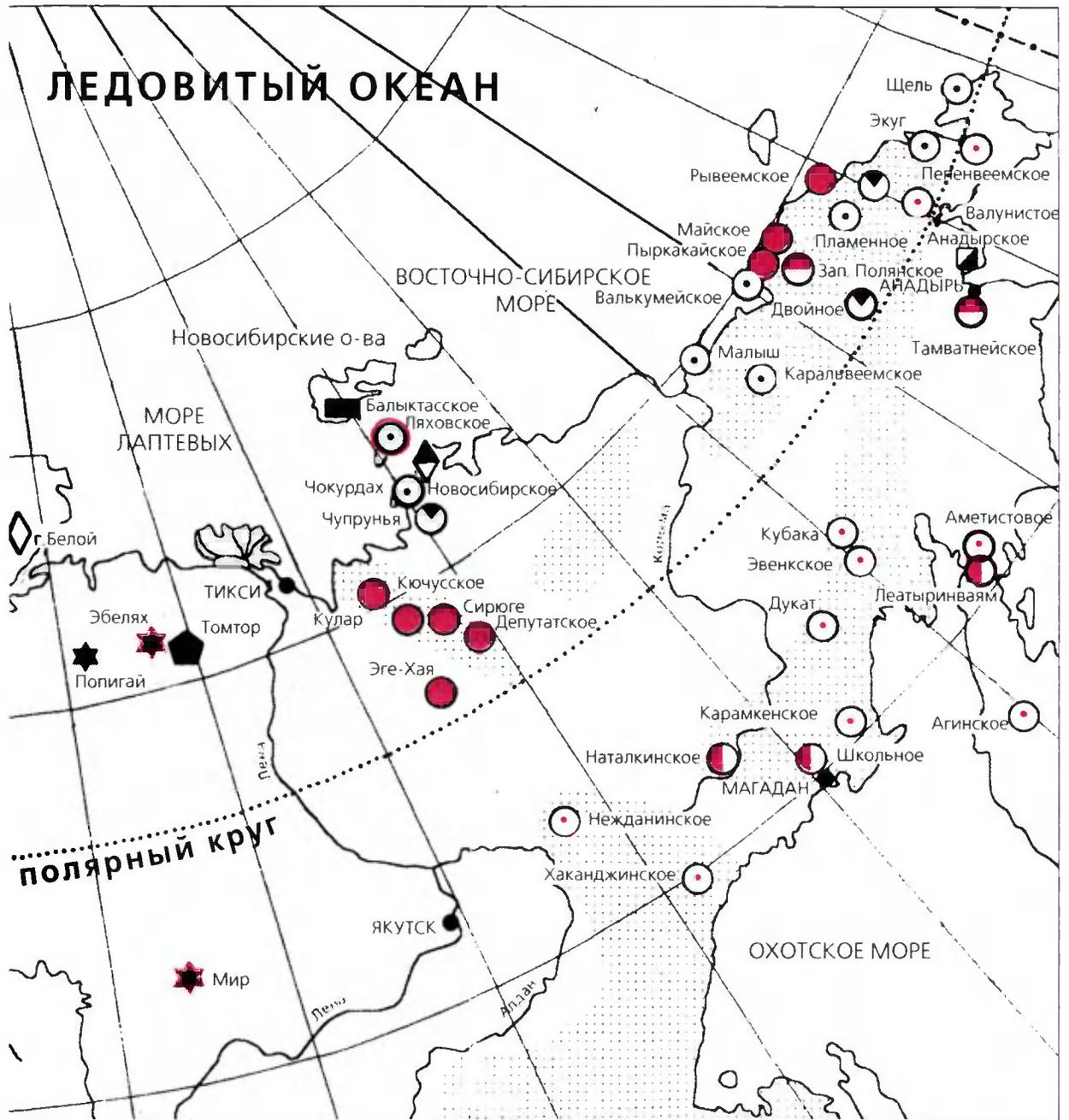
<sup>5</sup> Collett T.S., Kuuskraa V.A. // Oil and Gas Journal. 1998. V.96. №19. P.90–95; Donofrio R.R. // Ibid. P.69–83; Mickey M.B., Nikitenko B., Shurygin B. // Ibid. V.96. №50. P.84–87.



- Fe   ● Mn   ● Cr   ● Cu   ● Ni, Cu, Pt   ◆ МПГ\*   ● Pb, Zn   ● Sn   ● Sn, W   ● Au   ● Au, Pt
- ▣ U, V   ● Au, Ag   ● Hg   ● TR   ★ алмаз   ◆ флюорит   ◆ графит   ◆ мамонтовая кость
- ▣ исландский шпат   ▲ апатит   ▲ фосфорит   ▼ Pt, апатит   ▲ нефть   ▲ нефть и газ
- ▲ газоконденсат   ■ каменный уголь   ▣ бурый уголь   ▤ районы рассыпного золота
- Ni, МПГ, Cu, Co, Au, Ag, Se, Te   ★ флогопит, TR, МПГ, Au   ● TR, апатит, Fe

\* МПГ - минералы платиновой группы

Размещение крупных и уникальных (знаки обведены цветом) месторождений в приморских областях России. (Схема составлена по карте, опубликованной в книге: Грамберг И.С., Додин Д.А., Лаверов Н.П. и др. Арктика в третьем тысячелетии. СПб., 2000.)



ность угольных пластов составляет около 40 м, а отдельных — 4–5 м, буроугольные пласты наблюдались на поверхности площадью 30–35 км<sup>2</sup>.

Ряд месторождений бурого угля известен в прибрежных разрезах дальневосточных морей России. В Чукотско-Беринговоморском регионе они связаны с терригенными эоценовыми отложениями (Те-

леграфическая впадина, Беринговский прогиб). К югу от этого района месторождения приурочены к седиментационным бассейнам, в основном кайнозойского возраста, в Западно-Сахалинском бассейне и на севере восточной части Сахалина — к разрезам эоцена и миоцена. Буроугольные месторождения этого возраста находятся и на западе Камчатки. В пределах прибрежных

районов Японского моря эксплуатируются несколько угольных разрезов вблизи Владивостока и пос. Краскино. Угленакопление связано с бассейнами седиментации, сформированными в меловом периоде и палеогене.

Наивысшим угленосным потенциалом (прогнозные ресурсы — около 60 млрд т) обладает Берингово-Тихоокеанский бассейн, пример-



Распределение месторождений разного характера в шельфовых областях России и континентальных регионах. Месторождения: крупные и уникальные (цвет), крупные (к), средние (с), мелкие (м).

но половина ресурсов приходится на Анадырский р-н. В Охотоморско-Япономорском бассейне, включая о.Сахалин, суммарные прогнозные ресурсы угля впятеро меньше, но сумма запасов (3.5 млрд т) очень велика, 6.2 и 6.8 млрд т содержат арктические бассейны — Карско-Западно-Сибирский и Лаптевский.

В шельфовых областях многочисленны скопления торфа, приуроченные к озерно-болотным отложениям преимущественно позднплейстоцен-голоценового возраста.

## Россыпные месторождения

Построение палеогеографических карт по временным срезам позволило выявить закономерности образования россыпей на шельфе, установить периодичность их формирования и возможность переработки. В шельфовых областях Арктики и Дальнего Востока выделено 18 россыпных зон с 42 районами (из них 21 содержит россыпные узлы, которые отнесены к категории установленных).

По преобладающей специализации россыпных месторождений и их связи с коренными источниками россыпных минералов, выделяются Западно-Арктическая область, где сосредоточены титан, железо, цирконий и другие редкие земли, алмазы, янтарь; Центрально-Арктическая (восточная часть Карского бассейна и моря Лаптевых) — золото, алмазы; Восточно-Арктическая — золото, олово; Дальневосточная — золото, платина, минералы титана, хрома, железа, циркония.

Масштабы россыпных месторождений в восточных районах Арктики, где проявились древние зоден—олигоцен—миоцен—раннеплейстоценовые этапы их образования, существенно превышают размеры россыпей более молодых эпох (поздний плиоцен—плейстоцен—голоцен). Металлоносный потенциал раннекайнозойских эпох обусловлен не только их длительностью, но и благоприятными природными условиями, характеризующимися умеренно теплым и достаточно влажным климатом, предшествующим выравниванию рельефа, а затем образованию коры и кон-

трастным тектоническим движениям. Существенную роль играли поздненеогеновые и четвертичные движения отдельных блоков в пределах современного Восточно-Арктического шельфа. Россыпи раннекайнозойских эпох в позднекайнозойское время в условиях полярного осадкообразования законсервировались внутри толщи многолетнемерзлых пород, что обеспечило их сохранность от разрушения и переотложения. Древние россыпи, вскрытые активной эрозией и термоабразией на отдельных участках, стали дополнительными источниками «питания» для более молодых.

На шельфах и в прибрежных зонах Дальнего Востока результативность процессов образования россыпей в плейстоцене и голоцене обусловлена благоприятным сочетанием климатических, седиментологических и гидродинамических факторов. Особенно важны они для «черных» минералов (ильменита, титаномагнетита, рутила, циркона), россыпи которых содержат огромные объемы рудного вещества.

Перспективы россыпной алмазности Арктического и Дальневосточного шельфов связаны с коренными источниками двух типов. Первый — кимберлитовые тела в жестких массивах (кратонах). Такова алмазность Кольско—Беломорско—Тиманской зоны на периферии Беломорско—Баренцевской кимберлитовой провинции и, возможно, Южно-Лаптевской россыпной зоны. Полагают, что кимберлитовые тела будут обнаружены в низовье р.Анабара, дельте Лены и внутри гипотетического Лаптевского массива на акватории. Второй тип источников алмазов — некимберлитовый. Он связан с молодыми вулканотектоническими структурами Тихоокеанского пояса и приуроченными к ним щелочно-ба-

зит-ультрабазитовыми телами. Не исключено, что на Восточной Чукотке могут существовать источники алмазов как первого, так и второго типа.

Единственная известная пока россыпь платины находится на побережье о.Феклистова (группа Шантарских о-вов в Охотском море) с содержанием платины от 50 до 500 мг/м<sup>3</sup>. Совместно с платиной встречается минерал хромит. По периферии Дальневосточного шельфа и на островах зафиксировано свыше 30 мелких интрузий базит-ультрабазитов; как минимум половина их может быть источником россыпей платины и хромита.

\* \* \*

Обработаны материалы о строении, составе, условиях образования и размещения железомарганцевых конкреционных руд в донных осадках Балтийского, Белого, Черного и некоторых других морей.

С плейстоценовыми отложениями на севере Сибири, и особенно в пределах Арктической области на побережье и островах Северного Ледовитого океана, связаны многочисленные остатки млекопитающих. На основании их изучения в последние годы создана биостратиграфическая шкала и выполнена палеоэкологическая реконструкция для позднего кайнозоя Российской Арктики. Костные остатки из мерзлых толщ используются как материал для различных поделок. Особую ценность представляют хорошо сохранившиеся в мерзлоте бивни мамонтов. В начале XX в. мамонтова кость считалась важнейшим полезным ископаемым России. Бивни мамонтов добывались на многих участках побережья и островах Северного Ледовитого океана. Начиная с конца XVIII в. в г.Якутске существовал центр сбыта кости, где ежегодно (до первой мировой вой-

### Характер месторождений полезных ископаемых в шельфовых областях России (% от общего числа открытых)\*

Вид сырья	Регионы	Масштаб месторождений			
		уникальные	крупные	средние	мелкие
Нефть, газ	Арктика	25	48	14	13
Конденсат	Дальний Восток	—	9	12	79
Россыпи золота	Арктика	2	7	41	50
	Дальний Восток	—	—	9	91
Россыпи олова	Арктика	—	13	34	53
	Дальний Восток	—	—	—	—

\* По данным Ивановой И.М. и др., 1998.

ны) продавалось от 10 до 30 т сырья. В середине нашего столетия ежегодная добыча бивней не превышала одной тонны. Международный запрет на торговлю слоновой костью и новые сферы применения сырья (например, электроника) возродили поиски и добычу мамонтовых бивней; рыночная цена 1 кг ископаемой кости высшего сорта составляет до 120—140 долл. США.

Нам представляется весьма важным выяснение роли выноса огромного осадочного материала в окраинные моря Арктики. Речь идет о конусах выноса и подводных дельтах великих сибирских рек: Лены, Енисея, Оби, а для Дальнего Востока — Амура. Можно утверждать, что процессы выноса обломочного материала и взвеси проходили, вероятно, с перерывами в течение длительного времени (для Лены, например, — по крайней мере с позднего мела). Вынесенный материал аккумулировался в бассейнах седиментации, где шло образование ловушек для нефти и газа, в позднем кайнозое — залежей газогидратов. На огромных пространствах Арктического шельфа таким образом создавались условия для развития очагов нефтегазообразования, а затем и месторождений нефти и газа, в том числе ряда уникальных и крупных.

Итак, для минерально-сырьевого потенциала шельфо-

вых областей России характерно сочетание различных видов горючих полезных ископаемых, а также россыпных — с разной минерагенической специализацией. Существенная часть ресурсов находится на дне акваторий. Имеется целый ряд уникальных и крупных месторождений (см. таблицу).

Представленный здесь материал — лишь часть работы, которую удалось проделать за последние годы. Большую помощь авторам оказали видные российские геологи Ю.М.Пущаровский, И.С.Грамберг, А.Н.Дмитриевский, а также Фонд поддержки и развития нефтегазовой науки.

На время подготовки статьи к печати (июнь 2000 г.) готовы авторские макеты всех 75 карт атласа, из них 30 уже выполнены в электронном виде. В августе 2000 г. часть карт атласа была представлена на 31-й сессии Международного геологического конгресса в Рио-де-Жанейро и получила одобрение научной общественности. Планируется выпустить издание в 2002 г. Надеемся, что изменение структуры Министерства науки и технологий, в основном финансировавшего нашу работу (ныне к его названию прибавилось слово «промышленность», стоящее на первом месте), не повлияет отрицательно на эти планы. ■

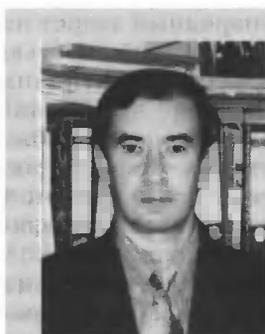
# Вторая «профессия» АТФ



Р.А. Гиниатуллин

**А**денозинтрифосфорная кислота, или сокращенно АТФ, относящаяся к пуриновым соединениям, хорошо известна как основной поставщик энергии для клеточной активности. Живые клетки должны производить это соединение непрерывно. Ведь энергия, запасенная в высокоэнергетических связях молекулы АТФ, необходима для громадного числа внутриклеточных процессов, таких как движение клетки или ее частей (жгутиков, ресничек), для секреции сигнальных молекул (гормонов и нейромедиаторов), сокращения мышц, деления клетки и многого другого. Чем больше задач у клетки, чем выше в ней обмен веществ, тем интенсивнее синтез АТФ. Образуется она в основном в митохондриях. Вот почему их столь много в постоянно работающем сердце. Внутриклеточная концентрация АТФ весьма высока — до нескольких миллимолей, а ее недостаток немедленно вызывает гибель организма. Яркий пример тому — действие одного из самых сильных ядов, цианистого калия, который блокирует синтез АТФ в митохондриях.

© Р.А. Гиниатуллин



*Рашид Асхатович Гиниатуллин, доктор медицинских наук, профессор кафедры физиологии Казанского государственного медицинского университета. Основные научные интересы — общая физиология нервной системы.*

Все сказанное касается АТФ, находящейся внутри клетки. Однако недавно выяснилось, что клетки во время активности выбрасывают АТФ в межклеточное пространство. Этот факт не заслуживал бы особого внимания (мало ли веществ попадает в окружающую клетку среду?), если бы многие клетки организма не проявляли высокую чувствительность именно к внеклеточной АТФ. О том, что делает выделяющаяся из клетки АТФ, и пойдет речь в данной статье.

## АТФ выделяется из клетки

Известно, что больше всего АТФ (до 150 мМ) содержится в гранулах желез внутренней секреции и пузырьках нервных окончаний. В среде, окружающей клетку, во время секреции вместе с локальным всплеском концентрации гормона (или нейромедиатора) повышается концентрация внеклеточной АТФ. Так, в 1996 г. в лаборатории Е.Силинского обнаружили, что

нейроны скелетной мышцы, помимо нейромедиатора ацетилхолина, выделяют АТФ. Они использовали весьма оригинальный способ<sup>1</sup>. К окончанию нервной клетки подвели две стеклянные микропипетки, кончики которых покрывали биомембранами. Одна из них содержала белки-рецепторы, генерирующие ионный ток при контакте с ацетилхолином, а другая — рецепторы, реагирующие только на АТФ. При прохождении нервного импульса срабатывали оба биодетектора. Значит, из нервной клетки выделялся и ацетилхолин, и АТФ. Позднее выяснили, что АТФ также выходит из хромаффинных клеток надпочечников, клеток крови, сердечной и скелетной мышц<sup>2</sup>.

Еще в 70-х годах профессор Лондонского университета Дж.Бернсток неоднократно высказывал предположение о том, что АТФ может переносить информацию от одной клетки к другой. Но тогда эта идея вызвала глубокий скепсис и была похоронена. Лишь в конце 80-х годов обнаружили, что при действии экзогенной АТФ на гладкие мышцы или нейроны возникает ионный ток — движение ионов из внеклеточного пространства

в клетку, приводящее к ее возбуждению. А несколькими годами позже установили, что огромное число клеток из разных тканей содержат рецепторы для внеклеточной АТФ<sup>3</sup>.

### Рецепторы для внеклеточной АТФ

Пожалуй, сейчас трудно найти клетку, в которой нет рецепторов для внеклеточной АТФ, причем разнообразие их чрезвычайно велико — оно превышает все подтипы рецепторов для хорошо известных «классических» гормонов и нейромедиаторов. Это говорит о том, что АТФ может вызывать самые разные специфические сигналы, в зависимости от того, с каким рецептором она свяжется. Рецепторы АТФ, представляющие собой большие белковые молекулы и обозначаемые как P2-рецепторы, делятся на два семейства: ионотропные (P2X) и метаботропные (P2Y), которые включают многочисленные подсемейства. В структуре P2X есть «посадочная площадка» для АТФ и ионный канал — миниатюрное отверстие для протекающих через мембрану ионов. P2Y часто вообще не имеют отношения к ионным

каналам. Они через универсальный внутриклеточный белок-посредник инициируют образование мелких активных молекул — вторичных посредников, меняющих клеточный обмен. В этой цепочке в большинстве случаев первый фермент — фосфолипаза C, которая расщепляет фосфолипиды клеточной мембраны до активных производных, а второй — протеинкиназа C, фосфорилирующая белки-мишени. Интересно, что для активации рецепторов обоих типов достаточно концентрации внеклеточной АТФ, в 1000 раз меньшей той, которая имеется внутри клетки.

В настоящее время P2-рецепторы клонированы и экспрессированы в различных клеточных системах; известна их структура, отличающаяся от аналогичных по функции рецепторов для классических нейромедиаторов. Из-за необычности P2-рецепторов для них принят специальный термин — пуриноцептор (а не пуринорецептор).

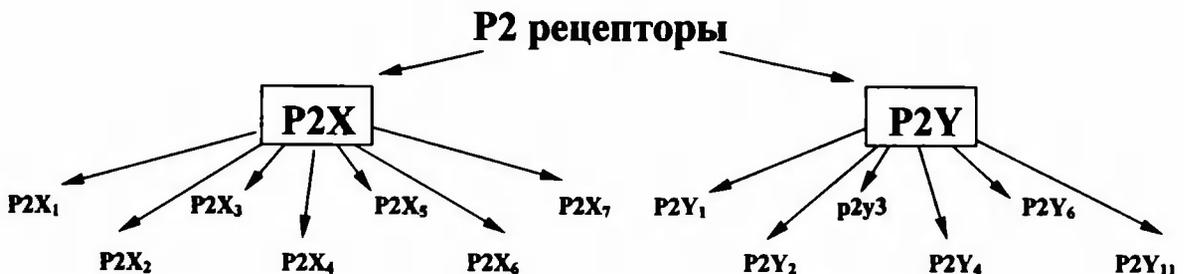
### Физиологическая роль внеклеточной АТФ

До сих пор речь шла о влиянии экзогенной АТФ на ткани или клетки, изолированные из организма. А может ли эндогенная АТФ играть физиологи-

<sup>1</sup> Silinsky E.M., Redman R.S. // J. Physiol. 1996. V.492. P.815–822.

<sup>2</sup> Ralevic V., Burnstock G. // Pharmacol. Rev. 1998. V.48. P.113–167.

<sup>3</sup> Collo G., North A.N., Kawashima E. et al. // J. Neurosci. 1996. V.16. P.2495–2507.



Классификация P2-рецепторов внеклеточной АТФ. P2X — ионотропные, P2Y — метаботропные. Все рецепторы клонированы, кроме p2y3.

ческую роль в живом организме? Хотя такие исследования только разворачиваются, уже имеются наблюдения, утвердительно отвечающие на этот вопрос, а также много смелых предположений, требующих тщательной проверки.

Для изучения физиологической роли вещества, действующего через рецепторы клеточной мембраны, экспериментатору необходимы специфические блокаторы этих рецепторов. В этом случае часто используются природные вещества. Например, быстрому прогрессу в определении физиологической роли ацетилхолина во многом способствовал пептид бунгаротоксин из яда гремучей змеи (с его помощью животное обездвиживает свои жертвы). Он оказался высокоспецифическим блокатором ацетилхолиновых рецепторов.

Мы, в содружестве с лабораторией нейрофизиологии из Международной Высшей научной школы (Триест, Италия), обнаружили, что один из природных пептидов — субстанция P — блокирует пуриноцепторы из клеток феохромоцитомы (опухоли надпочечников, выделяющей гормон стресса адреналин в ответ на внеклеточную АТФ)<sup>4</sup>. Это, кстати, позволяет предполагать, что субстанция P, присутствующая в надпочечниках, служит антистрессорным агентом. Однако у субстанции P слишком много других «профессий» в организме<sup>5</sup>, чтобы рекомендовать ее как фармакологический инструмент для блокировки рецепторов АТФ.

При отсутствии природных блокаторов можно обратиться к поиску их синтетических аналогов. Такие работы сейчас

идут весьма интенсивно. Так, недавно показано, что предложенная пиридоксальфосфат-6-азофенил-2',4'-дисульфоновая кислота (PPADS) блокирует ионотропные (P2X) рецепторы АТФ<sup>6</sup>.

Для изучения функциональной роли АТФ в различных тканях используют уже существующий арсенал средств. Один из наиболее интересных в этом отношении объектов, несомненно, мозг. Появление АТФ в качестве нового нейромедиатора заставило пересмотреть ряд классических постулатов о деятельности центральной нервной системы. Что же сегодня известно о физиологической роли АТФ в работе этого мало познанного пока объекта? В 1992 г. в журнале «Nature» появилась публикация английских физиологов, которые на основании различных экспериментальных приемов доказали, что в одном из участков мозга, а именно в «уздечке», возбуждение с нейрона на нейрон передает АТФ<sup>7</sup>. Иначе говоря, АТФ можно отнести к разряду веществ-посредников, таких как глутаминовая кислота, ацетилхолин, дофамин, серотонин. Совсем недавно показано, что в спинном мозге из одного и того же нейрона вместе с  $\gamma$ -аминомасляной кислотой (ГАМК) выделяется и АТФ, причем АТФ при этом служит возбуждающим, а ГАМК — тормозным агентом<sup>8</sup>.

Роль АТФ как передатчика возбуждения общепризнана также и на периферических объектах — семявыносящем протоке и мочевом пузыре. Выделяемая из нервных окончаний АТФ заставляет сокращаться гладкомышечные клет-

ки этих образований<sup>9</sup>. Наиболее интригующие данные о физиологической функции экзогенной АТФ получены при изучении механизма возникновения боли — одной из наиболее злободневных медицинских проблем, таящей в себе много белых пятен. Выяснилось, что нервные окончания, отвечающие за формирование болевого сигнала, необычайно чувствительны к низким концентрациям АТФ: в них появляются электрические сигналы, несущие информацию в мозг по так называемой «ноцицептивной» системе<sup>10</sup>. Считают, что именно с участием АТФ возникает знакомая многим мучительная зубная боль. Тут уместно вспомнить, что внутриклеточная концентрация АТФ весьма высока и повреждение ткани неизбежно сопровождается выходом ее из клеток и активацией чувствительных окончаний<sup>11</sup>. В ноцицептивную систему, кроме чувствительных нейронов, входят нейроны спинного мозга, ствола мозга и коры больших полушарий. АТФ, видимо, участвует в передаче возбуждения в ЦНС и по другим участкам этой системы. Весьма перспективная область для поиска обезболивающих препаратов нового ненаркотического действия!

<sup>4</sup> Lundberg J.M. // Pharmacol. Rev. 1996. V.48. P.113—167.

<sup>5</sup> Chen C.C., Akopian A.N., Sivilotti L. et al. // Nature. 1995. V.377. P.428—431.

<sup>6</sup> Хабибуллина Н.К., Гиниатуллин Р.А. // Рос. физиол. журн. 1997. Т.83. С.77—84; Гиниатуллин Р.А., Хабибуллина Н.К., Аффзалов Р.А. // Бюл. эксперим. биол. мед. 1998. Т.126. С.256—258.

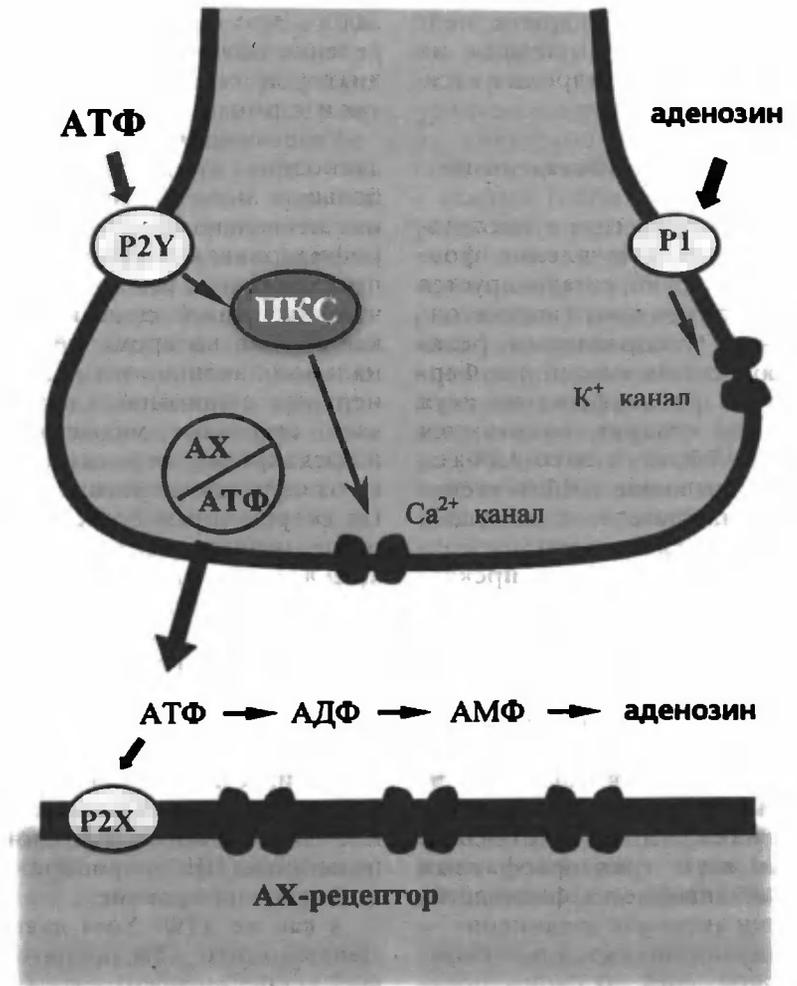
<sup>7</sup> Ralevic V., Burnstock G. // Pharmacol. Rev. 1998. V.48. P.113—167.

<sup>8</sup> Edwards F.A., Gibb A.J., Colquhoun D. // Nature. 1992. V.359. P.144—146.

<sup>9</sup> Salter M.V., Koninck Y. // Nature Neurosci. 1999. V.2. P.199—201.

В скелетной мышце, на которой столь эффектно установлено выделение АТФ совместно с ацетилхолином, действие АТФ весьма противоречиво. Логично было бы предположить, что она, подобно ацетилхолину, возбуждает мышцу через ионотропные рецепторы. Действительно, такие рецепторы обнаружены в эмбриональной мышце<sup>12</sup>. Возможно, они имеют отношение к дифференцировке мышц, так как, по современным представлениям, АТФ относится к митогенам. Но в экспериментах на зрелой мышце мы не нашли признаков ионного тока через мышечную мембрану, т.е. наличия ионотропных рецепторов<sup>13</sup>. Более того, P2X отсутствовали и в денервированной (до двух месяцев после перерезки двигательного нерва) мышце. К такому сроку денервации зрелый тип рецепторов ацетилхолина на мышечной мембране успел смениться эмбриональным, еще раз подтверждая тот факт, что денервация возвращает мышцу к эмбриональному состоянию. Однако по каким-то причинам эта закономерность не коснулась пуриноцепторов.

Таким образом, есть все основания считать АТФ внеклеточным посредником, передающим сигнал с одной клетки на другую во многих тканях организма. Причем сигнал этот возбуждающий, работающий по принципу прямой положительной связи. В результате возбуждения нейрона возникает чувство боли, активируются эмбриональные скелетные мышцы, сокращаются гладкие мышцы внутренних органов.



*Схема нервно-мышечного синапса. Внеклеточные АТФ и аденозин взаимодействуют с рецепторами (P2Y и P1 соответственно), расположенными на мембране нейрона. В свою очередь P2Y через протеинкиназу С (ПКС) связан с кальциевым каналом, а P1 — с калиевым. АТФ, выделившись из нервного окончания (совместно с ацетилхолином, АХ) в синаптическую щель, гидролизуется и активирует P2X-рецепторы, находящиеся на мембране мышечной ткани.*

<sup>12</sup> Fu W. - M. // J. Physiol. 1994. V.477. №3. P.449-457.

<sup>13</sup> Гиниатуллин Р.А., Соколова Е.М. // Рос. физиол. журн. 1998. Т.84. С.1132-1138.

## Гидролиз АТФ во внеклеточной среде

Как и многие другие нейромедиаторы, вышедшая из клетки АТФ гидролизует, образуя аденозин:



Весь процесс, т.е. последовательное отщепление фосфатных групп, катализируется эктоферментами (внеклеточными), ускоряющими реакцию в сотни, тысячи раз. Ферменты, работающие на двух первых стадиях, называются экто-АТФаза и экто-АДФаза, а превращение АМФ в аденозин завершается с помощью экто-5'-нуклеотидазы.

Обычно гидролиз прекращает физиологическое действие медиатора. Например, холин — продукт гидролиза ацетилхолина — примерно в 1000 раз менее активен, чем его предшественник. Но в случае АТФ природа вновь отклонилась от общего принципа. Дело в том, что после отщепления всех трех фосфатных групп появляется физиологически активное соединение — аденозин, по своей роли конкурирующий со своим предшественником. В большинстве тканей организма для аденозина найдены специфические рецепторы. Их обозначают как P1-рецепторы, или P1-пуриноцепторы, а разновидности — A1, A2a, A2b, A3. В отличие от рецепторов АТФ все P1-рецепторы метаботропные, т.е. работают по тому же принципу, что и P2Y-рецепторы АТФ.

## АТФ или аденозин?

Исторически сложилось так, что аденозин попал в поле зрения физиологов до смелых утверждений профессора Бернстока о важной роли внеклеточной АТФ. Еще в 1972 г. установили, что в скелетной

мышце аденозин ингибирует выход ацетилхолина из нервных окончаний<sup>14</sup>. Позже оказалось, что он блокирует выделение почти всех нейромедиаторов, как возбуждающих, так и тормозных.

Угнетающему действию аденозина придется очень большое значение. В последние несколько лет среди нейрофизиологов широко распространилось мнение о том, что эндогенный аденозин, накапливаясь во время нейрональной активности около нервных окончаний, сдерживает секрецию медиаторов и предохраняет нервные клетки от избыточной активности. По современным представлениям, именно нейтрализующее действие аденозина лежит в основе тонизирующего эффекта кофе и чая, поскольку содержащийся в них алкалоид кофеин служит высокоспецифическим антагонистом P1-рецепторов. Говоря иными словами, выпивая чашку кофе, мы частично устраняем влияние эндогенного аденозина на нейроны ЦНС и приобретаем бодрое настроение.

А как же АТФ? Хотя давно замечено, что АТФ препятствует секреции некоторых медиаторов<sup>15</sup>, его считали лишь предшественником или «поставщиком» аденозина. До начала наших исследований роль ингибитора секреции медиаторов прочно утвердилась за аденозином<sup>16</sup>. Дело в том, что в экспериментах Дж.Рибейро (Португалия) использовали синтетический аналог АТФ —  $\alpha, \beta$ -метилена-АДФ, который блокировал превращение АТФ в аденозин (т.е. фермент экто-5'-нуклеотидазу). Поскольку это вещество, препятствующее образованию аденозина, устраняло

угнетающее действие АТФ, заключили, что на выброс медиатора влияет не сама АТФ, а аденозин.

Одним из слабых мест такого построения было то, что  $\alpha, \beta$ -метилена-АДФ взаимодействует с P2-рецептором. С учетом этого обстоятельства и при расширении арсенала фармакологических средств мы использовали другой ингибитор экто-5'-нуклеотидазы — растительный белок конканавалин А, не имеющий сродства к P2-рецепторам. В отличие от  $\alpha, \beta$ -метилена-АДФ это соединение совершенно не меняло способность АТФ угнетать секрецию ацетилхолина<sup>17</sup>. Далее мы целенаправленно вводили блокаторы, ингибирующие функцию некоторых подтипов P2-рецепторов. При этом эффект АТФ пропадал, тогда как действие аденозина полностью сохранялось. Наоборот, блокаторы P1-рецепторов (для аденозина) устраняли влияние аденозина, но не АТФ. Более того, когда аденозин тормозил выход ацетилхолина до максимально возможной величины, введение АТФ усиливало действие этого пурина. Полученные результаты говорят о том, что для АТФ и аденозина не только рецепторы нервных окончаний, но и внутриклеточные системы, реализующие эти эффекты, разные.

Влияние АТФ на секрецию ацетилхолина пропадало, если подавлялась активность внутриклеточного фермента протеинкиназы С. Этот фермент обеспечивает перенос фосфатной группы с молекулы внутриклеточной АТФ на белок кальциевого канала, в результате чего и реализуется угнетающий эффект АТФ на секрецию ацетилхолина. Такие наблюдения свидетельст-

<sup>14</sup> Ginsborg B.L., Hirst G.D.S. // J. Physiol. 1972. V.224. P.611—628.

<sup>15</sup> Ribeiro J.A., Walker J. // Brit. J. Pharmacol. 1975. V.54. P.213—218.

<sup>16</sup> Ribeiro J.A., Sebastiao A.M. // J. Physiol. 1987. V.384. P.571—585.

<sup>17</sup> Giniatullin R.A., Sokolova E.M. // Br. J. Pharmacol. 1998. V.124. P.839—844.

вовали о вовлеченности метаболитных рецепторов АТФ (P2Y). С другой стороны, удалось установить, что аденозин тормозит выброс медиатора благодаря активации ионных каналов нервного окончания, проницаемых для калия.

Итак, наши данные показали, что АТФ прямо действует на секрецию через P2-рецепторы, отличные от P1-рецепторов для аденозина. Вполне возможно, что выделенная из нервного окончания эндогенная АТФ еще до полного гидролиза блокирует выброс нейромедиатора по принципу отрицательной обратной связи. В результате такого действия уменьшается выход медиатора из нервного окончания и ослабевает возбуждение мышечного волокна. Очевидно, что такой механизм саморегуляции тем выраженнее, чем более активна мышца. Наши данные не отвергают пресинаптического действия аденозина. Поэтому на вопрос: «АТФ или аденозин?» — мы можем ответить, что важны оба соединения. Однако, по нашим данным, роль быстрого инги-

битора секреции при передаче физиологических серий импульсов между возбудимыми клетками выполняет АТФ. При длительной работе к этому эффекту может присоединиться аденозин, что приведет к развитию хорошо известного феномена утомления. Действие этих двух пуринов реализуется не только через разные рецепторы на клеточной мембране, но и через различные системы внутриклеточных посредников. Знание природы этих ингибиторных механизмов может вооружить медиков средствами для целенаправленного влияния на секрецию нейромедиаторов.

Таким образом, АТФ, которую ранее рассматривали в основном как необходимый компонент внутриклеточных биохимических реакций, в последние годы бурно завоевывает новые сферы. Без учета физиологической роли внеклеточной АТФ трудно сейчас представить механизмы таких процессов, как восприятие болевых раздражителей, межклеточная передача возбуждения в центральной и перифе-

рической нервной системе, нейропротекторное действие эндогенных веществ, регуляция кровообращения и многое другое. Мы затронули лишь часть физиологических процессов, в которые вовлечена внеклеточная АТФ. Этот список активно расширяется с каждым годом. Так, недавно установили, что АТФ всего за несколько десятков секунд может вызвать гибель некоторых клеток крови, что вызывает цитотоксическое действие на опухолевые клетки и регулирует функцию слухового анализатора. Несомненно, что это лишь малая часть открытий, связанных с удивительной молекулой. Детальное изучение механизмов действия АТФ на клеточном и молекулярном уровне позволит в дальнейшем через пуринергические механизмы целенаправленно влиять на многие жизненно важные процессы.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проекты 99-04-99300, 99-04-48298. ■**

### По нехоженным тропам Африки

Многие считают, что на Земле не осталось мест, где бы не ступала нога человека. Однако еще ни разу в наши дни он не проникал, например, в глубину девственного тропического леса некоторых районов Центрально-Африканской Республики (ЦАР). Правда, лет 10 назад в этих безлюдных местах побывал биолог из Нью-Йоркского общества охраны дикой природы М.Фэй (М. Fay). Пробираясь однажды под низким пологом деревьев по залитой водой выбоине, он заметил черные пятнышки, оказавшиеся рассыпанными в грязи косточками давно окультуренной масляной пальмы.

Методом радиоуглеродного датирования было установлено, что в этом районе посадки масляной пальмы процветали тысячу с лишним лет назад — пример-

но в те времена, когда, судя по данным лингвистики, предки нынешних племен, говорящих на языках группы банту, пересекали территорию южнее Сахары. Когда эти племена ушли, их бывшие плантации стали зарастать лесами. Такое открытие подтверждает необходимость изучать заброшенные уголки планеты не только с самолета и даже не сидя за рулем автомашины высокой проходимости, а именно пешком.

В 1999 г. Фэй решил пройти почти весь полудотарысячекилометровый коридор от юго-восточного края ЦАР до побережья Габона (Science, 1999. V.285. №5429. P.825). Эту область вот-вот наводнят толпы лесорубов и земледельцев. В августе Фэй в сопровождении носильщиков и проводников, которые и сами знают эти места лишь приблизительно, вышел в дальний поход. Биолог намеревался в течение всего года вести перепись животных и рас-

тений, искать следы исчезнувших цивилизаций. Он надеется убедить власти трех стран, по чьим территориям проходит его путь, в необходимости создать, пока не поздно, экологические заповедники или национальные парки.

Перед выходом в путь Фэй совершил облет территории на маленьком самолете, заснял ключевые пункты и установил их координаты с помощью спутниковой системы «GPS». Только после этого пеший караван покинул полуобжитой район леса Нгото на юге ЦАР и двинулся со скоростью не более 7 км/сут.

Биологи, ботаники, зоологи, специалисты по охране природы с нетерпением ожидают результатов экспедиции, которую материально поддерживает Национальное географическое общество США, сопроводившее ее высокопрофессиональными фотограмами.

Камейковская

# Старая гипотеза «перевернутости» хордовых подтверждается

Д.А.Воронов

**В** 1822 г. французский зоолог Этьен Жоффруа Сент-Илер (1772–1844) опубликовал статью, в которой утверждал, что позвоночные и членистоногие животные, при всех различиях между ними, устроены по одному плану<sup>1</sup>. Однако у позвоночных центральная нервная система расположена на спинной стороне, сердце — на брюшной, а у членистоногих наоборот. Жоффруа Сент-Илер легко избавился от противоречия, нарисовав перевернутого кверху брюхом омара. Так возникла гипотеза, согласно которой позвоночные животные — это перевернутые в процессе эволюции беспозвоночные.

К столь странной на первый взгляд гипотезе Жоффруа Сент-Илер пришел потому, что уже с начала научной работы был уверен в единстве строения животных. Вероятно, на его мировоззрении сказалось то, что до занятий зоологией он изучал физику — науку, уже тогда успешно объяснявшую разнообразие природных явления с помощью небольшого числа единых



*Дмитрий Анатольевич Воронов, кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории биоинформатики Института проблем передачи информации РАН. Область научных интересов — экспериментальная эмбриология, клеточные механизмы развития.*

принципов. В 1796 г. в одной из своих первых работ Жоффруа Сент-Илер писал: «...природа замкнулась в определенных рамках и создала все живые существа по единому плану, одинаковому в принципе, но который она варьировала на тысячу ладов во всех его деталях»<sup>2</sup>. Любопытно, что столь общее утверждение было высказано в статье, посвященной частному вопросу систематики полуобезьян.

В более поздних работах (1806 и 1807) Жоффруа Сент-Илер доказал общность строения рыб, рептилий, птиц и млекопитающих, позволившее объединить их в один тип позвоночных животных. Изучая главным образом скелет, он сумел сопоставить даже столь непохожих друг на друга животных, как рыбы и млекопитающие. Именно он обнаружил, что три слуховые косточки в черепе млекопитающих — это видоизмененные жаберные дуги рыб.

Такое соответствие называется гомологией. Какие-либо структуры гомологичны, если они произошли от одной

<sup>1</sup> Жоффруа Сент-Илер Э. О позвонке у насекомых // Избр. тр. / Ред. И.Е.Амлинский. М., 1970. С.375–390.

<sup>2</sup> Жоффруа Сент-Илер Э. О естественных отношениях Маки (*Makis lemur* L.) и описание нового вида млекопитающих, сделанное гражданином Жоффруа, профессором зоологии при Музее естественной истории // Там же. С.11.



Перевернутый омар (Жоффруа Сент-Илер Э., 1822).

и той же структуры общего предка сравниваемых животных, даже если в настоящее время они выполняют разные функции. Например, рука человека гомологична крылу птицы, так как у них общее происхождение, и между их частями можно установить соответствие. Структуры же разного происхождения, выполняющие одинаковые функции, называют аналогичными. Пример аналогичных структур — крыло птицы и крыло мухи.

Если при исследовании позвоночных животных идея единства строения оказалась чрезвычайно плодотворной, то найти и доказать общность в организации позвоночных и беспозвоночных было довольно трудно. Выдвинув гипотезу «перевернутости» позвоночных, уже саму по себе спорную, Жоффруа Сент-Илер стал искать гомологичные органы у беспозвоночных. Однако на этом пути его ждала неудача, так как он нередко отождествлял явно несопоставимые структуры. Например, Жоффруа Сент-Илер полагал, что наружный скелет членистоногих гомологичен позвоночнику, с той лишь разницей, что членистоногие живут внутри этого «позвочника», как улитка — внутри раковины. Позднее было показано, что скелеты членистоногих и позвоночных не гомологичны, так как они развиваются из разных зародышевых листков: у членистоногих — от наружного (эктодермы), а у позво-

ночных — от среднего (мезодермы).

В 1830 г. знаменитый французский зоолог и палеонтолог Жорж Кювье (1769—1832) в известной публичной дискуссии подверг взгляды Жоффруа Сент-Илера сокрушительной критике<sup>3</sup>. Сам Кювье полагал, что, существует четыре типа животных — позвоночные, моллюски, членистые и лучистые, каждый из которых характеризуется особым планом строения, не позволяющим их сравнивать. Несмотря на это, гипотеза «перевернутости» позвоночных не была забыта, и у нее время от времени появлялись сторонники, среди которых особенно известен немецкий зоолог Антон Дорн (1840—1909), основатель Неаполитанской морской зоологической станции. Дорн связывал происхождение позвоночных с перевернутыми кольчатыми червями<sup>4</sup>. Однако в целом гипотеза была непопулярной и, как правило, даже не упоминалась в учебниках.

### Примеры «перевернутых» животных

Распространенная причина неприятия гипотезы «пере-

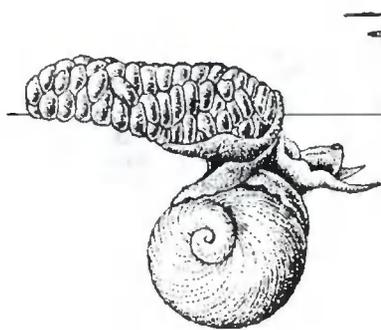
вернутости» позвоночных — ее кажущаяся бессмысленность «с точки зрения животного». Так, авторы известного учебника по анатомии позвоночных А.Ромер и Т.Парсонс пишут, что с гипотезой «перевернутости» трудно согласиться, «так как даже червяк различает верх и низ»<sup>5</sup>. Однако авторы, похоже, «забыли» что перевернутость встречается часто, причем среди самых разных животных.

Из беспозвоночных всю жизнь проводят кверху брюшной стороной обитающие в толще воды жаброногие раки (*Anostraca*). Для плавания поворачиваются на спину клопы семейства гладышей (*Notonectidae*), щитни (*Notostraca*, подотряд листоногих раков) и мечехвосты (*Xiphosura*, класс хелицероных). Много перевернутых животных в сообществе морских и пресноводных организмов, обитающих снизу поверхностной пленки воды (гипонейстон). К ним относятся разнообразные ресничные черви (*Turbellaria*), брюхоногие моллюски (*Gastropoda*) и др. Ветвистоусые ракообразные из рода *Scapholeberis* прикрепляются к поверхностной пленке за счет несмачиваемых щетинок, расположенных на брюшной стороне раковины, а брюхоногие моллюски из рода *Janthina* всю жизнь проводят у поверхности открыто-

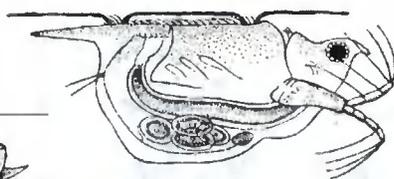
<sup>3</sup> См.: Амлинский И. Е. Начальный этап сравнительно-морфологического обоснования единства животного мира // Там же. С.539—642.

<sup>4</sup> Дорн А. Происхождение позвоночных животных и принцип смены функций. М.:Л., 1937.

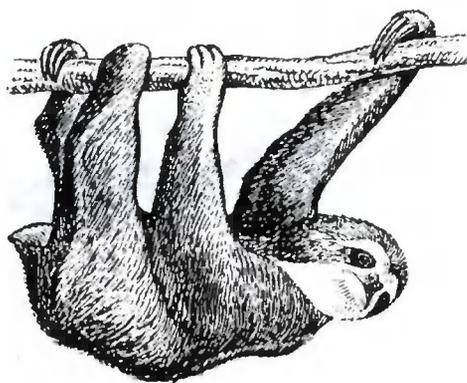
<sup>5</sup> Ромер А., Парсонс Т. Анатомия позвоночных. М., 1992. Т.1. С.43.



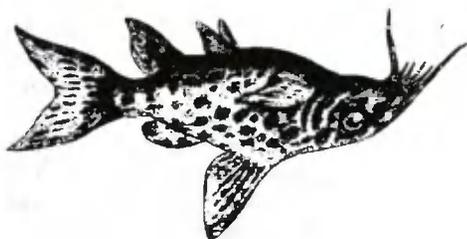
улитка *Janthina*



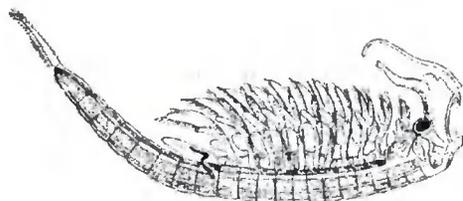
ветвистоусый рак  
*Scapholeberis*



ленивец



перистоусый сомик  
*Synodontis nigriventris*



жаброногий рак

*Примеры перевернутых животных.*

го океана, прикрепившись снизу к поплавку, который они сами строят из воздушных пузырьков.

Кверху брюхом зарываются в грунт ланцетники (*Branchiostoma*, или *Amphioxus*). Эти животные принадлежат к подтипу бесчерепных современного типа хордовых, к которому еще относятся подтипы оболочников и позвоночных. Поэтому далее мы будем говорить не о типе позвоночных, как было принято во времена Жоффруа Сент-Илера, а о типе хордовых, как принято теперь.

Любители плавать на спине есть и среди рыб, например представители семейства перистоусых сомов (*Mochocidae*). Полагают, что им пришлось перевернуться, чтобы питаться у поверхности (остальные сомы кормятся на дне водоемов), так как рот у сомов расположен с брюшной стороны. Например, обитающий в бассейне ре-

ки Конго чернобрюхий перистоусый сомик (*Synodontis nigriventris*) хватает падающих в воду насекомых или объедает обрастания с плавающих на поверхности листьев. У этого сомика, чтобы быть незаметным с воздуха и из глубины, даже окраска «перевернута»: в отличие от других рыб, его спина светлее, чем брюхо.

«Перевернутые» животные есть даже среди млекопитающих. Ленивцы (*Bradypodidae*) почти всю жизнь висят на ветвях деревьев спиной вниз. Сообразно положению тела, шерсть у ленивцев растет не от спины к брюху, как у других млекопитающих, а наоборот, так, чтобы стекала дождевая вода.

Если гипотеза «перевернутости» позвоночных верна, то ленивцев и перистоусых сомов следует считать вернувшимися в нормальное для далеких предков положение! Добавим к этому, что бывают

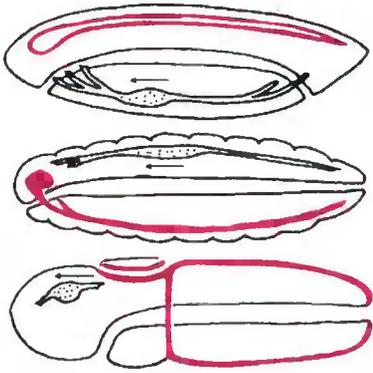
и другие нестандартные положения животных — достаточно вспомнить лежащую на боку камбалу или вертикальную позу человека.

**Данные сравнительной анатомии и эмбриологии**

Непопулярность гипотезы «перевернутости» хордовых может объясняться еще и недостатком сравнительно-анатомических доводов в ее пользу, что проявилось еще во время дискуссии Жоффруа Сент-Илера и Кьюве.

Жоффруа Сент-Илер отмечал обратное, по сравнению с беспозвоночными, расположение нервной системы и сердца у хордовых. Но расположение нервной системы — критерий недостаточно убедительный: у беспозвоночных может быть несколько

СИПТ Милл.



Сопоставление схем организации животных разных типов (сверху вниз): хордовых (ланцетника), членистоногих и полухордовых. Передний конец тела всюду обращен влево, спинная сторона — кверху. Центральная нервная система выделена цветом, направление кровотока показано стрелкой рядом с сердцем.

продольных нервных стволов, причем не только на брюшной стороне, но также по бокам и вдоль спины. Например, у представителей класса кишечнодышащих из типа полухордовых (ближайших родственников хордовых) два продольных нервных ствола: брюшной и спинной, причем спинной ствол у них частично свернут в трубку, точно так же, как у хордовых. Следовательно, можно предположить, что у предка хордовых было два нервных ствола, как у современных полухордовых, но затем брюшной ствол редуцировался и остался только спинной. И в этом случае гипотеза «перевернутости» не нужна.

Расположение сердца — признак более надежный. Заметим, что направление кровотока у кольчатых червей, членистоногих, полухордовых и хордовых (если последних перевернуть) совпадает. Однако многие беспозвоночные ли-

шены кровеносной системы, поэтому считается, что разное расположение сердца (снизу у хордовых и сверху у беспозвоночных) связано с независимым возникновением у них кровеносной системы.

Среди других анатомических признаков, подтверждающих «перевернутость» хордовых, отметим лишь расположение печени: над средней кишкой у беспозвоночных и под — у хордовых<sup>6</sup>.

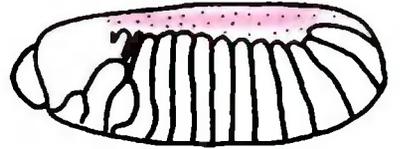
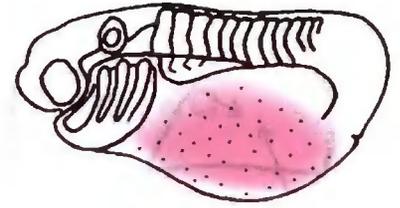
Кроме того, гипотеза «перевернутости» хордовых подтверждается в результате сравнения богатых желтком зародышей наземных членистоногих и таких позвоночных, как рыбы, земноводные, рептилии и птицы. У членистоногих желток всегда располагается на спинной стороне зародыша, а у позвоночных — всегда на брюшной<sup>7</sup>. Строение таких зародышей становится сопоставимым, только если признать гомологию спинной стороны позвоночных брюшной стороне беспозвоночных.

## Молекулярная биология развития

В последние годы убедительные доказательства гипотезы «перевернутости» хордовых получены молекулярными биологами<sup>8</sup>. У зародышей позвоночных (лягушки и рыбы) на стадии гаструлы на спинной стороне синтезируется белок CHD (chordin), а на

<sup>6</sup> Подробнее см.: Малахов В.В. Новый взгляд на происхождение хордовых // Природа. 1982. №5. С.12—19; Малахов В.В., Попеляев И.С., Галкин С.В. // Биология моря. 1996. Т.22. №6. С.339—345; Иванова-Казас О.М. // Там же. 1997. Т.23. №4. С.247—254; Она же. // Онтогенез. 1998. Т.29. №5. С.373—385; Nubler-Jung K., Arendt D.J. // Zool. Syst. Evol. Research. 1999. V. 37. P. 93—100.

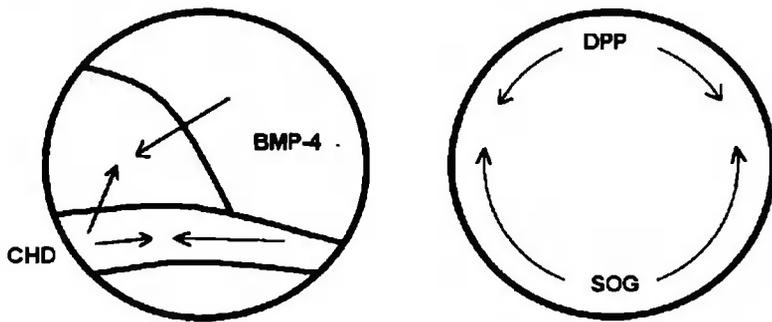
<sup>7</sup> Иванова-Казас О.М. Эволюционная эмбриология животных. СПб., 1995. <sup>8</sup> Arendt D., Nubler-Jung K. // Nature. 1994. V.371. P.26; Robertis E. M. de, Sasai Y. // Ibid. 1996. V.380. P.37—40; Ferguson E.L. // Curr. Opin. Genet. Devel. 1996. V.6. P.424—431.



Расположение желтка (показано цветом) у зародышей лягушки (вверху) и дрозофила. Передний конец тела обращен влево, спинная сторона — вверх.

брюшной — белок BMP-4 (bone morphogenetic protein-4). У насекомых (дрозофила) на стадии гаструлы на спинной стороне синтезируется белок DPP (decapentaplegic), а на брюшной — белок SOG (short gastrulation).

Формирование структур и органов спинной и брюшной сторон тела у позвоночных и насекомых определяется соотношением концентраций упомянутых белков. Так, у зародыша лягушки в норме белок CHD синтезируется на спинной стороне, но если в опыте повысить его концентрацию на брюшной с помощью инъекции, необходимой для его синтеза матричной РНК, то на этом месте в дальнейшем разовьются структуры спинной стороны. Наоборот, искусственное повышение концентрации белка BMP-4 на спинной стороне зародыша вызывает развитие там структур брюшной стороны. Аналогичные результаты были полу-



Диффузия (направление показано стрелками) белков, определяющих в начале гаструляции формирование спинной и брюшной сторон у зародышей позвоночных и насекомых: лягушки (слева) и дрозофилы. У зародыша лягушки спинная сторона определяется повышенной концентрацией белка CHD в области так называемого организатора (спинной губы бластополюса), а брюшная — BMP-4 на противоположной организатору стороне зародыша. У зародыша дрозофилы спинная сторона определяется повышенной концентрацией белка DPP и брюшная — SOG. Так как в парах CHD/SOG и BMP-4/DPP белки гомологичны, можно сделать вывод, что спинная сторона лягушки соответствует брюшной стороне дрозофилы и, наоборот, брюшная сторона лягушки соответствует спинной стороне дрозофилы. Эти гомологии подтверждают гипотезу «перевернутости» хордовых.

чены и на дрозофиле: формирование структур спинной стороны связано с повышенной концентрацией белка DPP, а брюшной — SOG.

Выяснилось также, что в белках CHD и SOG оказались одинаковыми 28% аминокислотных последовательностей, а из 100 аминокислот C-концевых частей молекул белков BMP-4 и DPP, отвечающих за их функционирование, совпадают 76%. Даже 28%-ая гомология сравниваемых белков свидетельствует о несомненном общем происхождении, от одного и того же белкового предка. Таким образом, «спинной» CHD позвоночных гомологичен «брюшному» SOG дрозофилы, а «брюшной» BMP-4 позвоночных гомологичен «спинному» DPP дрозофилы. Но ведь эти гомологии — не что иное, как подтверждение гипотезы «перевернутости» хордовых!

Удивительна эволюционная консервативность функции рассматриваемых белков, которая проявляется в том, что белки лягушки CHD и BMP-4 функционально активны в зародыше дрозофилы, а белки дрозофилы SOG и DPP — в зародыше лягушки. Экспериментально показано, что «брюшной» белок лягушки BMP-4 вызывает у зародыша дрозофилы формирование структур спинной стороны, а «спинной» белок лягушки CHD приводит к формированию зародышем дрозофилы структур брюшной стороны. Наоборот, белки дрозофилы — «брюшной» SOG и «спинной» DPP — соответственно вызывают формирование зародышем лягушки структур спинной и брюшной сторон. А ведь, согласно современным оценкам, с момента расхождения эволюционных линий, ведущих к насеко-

мым и хордовым, прошло более полумиллиарда лет! Такая консервативность белков делает гипотезу «перевернутости» хордовых еще более правдоподобной.

Существуют и другие, дополнительные свидетельства в пользу гипотезы, полученные в результате сопоставления некоторых генов, из которых мы упомянем лишь о двух<sup>9</sup>. Развитие продольного нервного ствола связано с активностью вдоль его средней линии гомологичного для разных животных (насекомых, позвоночных, круглых червей) гена *netrin*: соответственно этому ген активен на брюшной стороне у насекомых и на спинной — у позвоночных. Таким образом, брюшной нервной ствол беспозвоночных гомологичен спинному стволу позвоночных. Развитие сердца у дрозофилы определяется синтезом белков TINMAN и DMEF2, а у позвоночных — гомологичных им белков. Следовательно, расположенное на спинной стороне сердце насекомых и на брюшной стороне сердце позвоночных также оказываются гомологичными.

Итак, благодаря современным данным молекулярной биологии, сравнительной анатомии и эмбриологии подтвердилась гипотеза «перевернутости» хордовых, выдвигнутая Жоффруа Сент-Илером еще в начале прошлого века.

Автор благодарит В.В.Алешину, Е.Д.Краснову, И.А.Милютину, Г.А.Павлову, А.Б.Цетлина и А.В.Чесунову за обсуждение статьи.

**Работа выполнена при поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект № 98-04-48836. ■**

<sup>9</sup> Robertis E.M.de, Sasai Y. // Ibidem.

# Углеродные нанотрубки

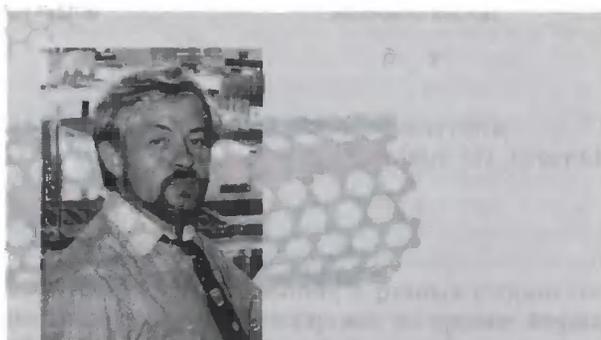
## Материалы для компьютеров XXI века

П.Н.Дьячков

Углеродные нанотрубки — своеобразные цилиндрические молекулы диаметром примерно от половины нанометра и длиной до нескольких микрометров. Эти полимерные системы впервые обнаружили менее 10 лет назад<sup>1</sup> как побочные продукты синтеза фуллерена  $C_{60}$ . Тем не менее уже сейчас на основе углеродных нанотрубок создаются электронные устройства нанометрового (молекулярного) размера. Ожидается, что в обозримом будущем они заменят элементы аналогичного назначения в электронных схемах различных приборов, в том числе современных компьютеров. В результате будет достигнут теоретический предел плотности записи информации (порядка одного бита на молекулу) и вычислительные машины обретут практически неограниченную память и быстродействие, лимитируемое только временем прохождения сигнала через прибор.

### Свернутый графитовый слой

Не содержащая дефектов одностенная углеродная нанотрубка представляет собой свернутую в виде цилиндра ленту с упаковкой атомов по типу графита (рис.1). Чтобы представить пространственное расположение атомов в нанотрубке, отложим на графитовом слое вектор  $C = (na_1, ma_2)$ , где  $a_1$  и  $a_2$  — базисные векторы, а  $n$  и  $m$  — целые числа. Через точки начала и конца этого вектора проведем перпендикулярно ему две прямые —  $L$  и  $L'$  и вырежем из слоя бесконечную ленту вдоль этих линий. Свернем ленту в цилиндр так, чтобы прямые  $L$  и  $L'$  совместились. У нашего цилиндра  $L$  будет образующей, а длина окружности равна модулю векто-



*Павел Николаевич Дьячков, доктор химических наук, ведущий научный сотрудник Института общей и неорганической химии им.Н.С.Курнакова РАН. Работает в области квантовой химии и материаловедения. Автор четырех монографий, включая «Heteroligand molecules: structure, stability, transformations» (совместно с А.А.Левиным. London, 2000).*

ра  $C$ . Так мы получим нанотрубку  $(n, m)$ . В общем случае нанотрубки обладают винтовой осью симметрии (тогда говорят, что они хиральны). Нехиральными оказываются нанотрубки  $(n, 0)$  и  $(n, n)$ , в которых углеродные шестиугольники ориентированы параллельно и перпендикулярно оси цилиндра соответственно.

<sup>1</sup> Iijima S. // Nature. 1991. V.354. P.56–58.

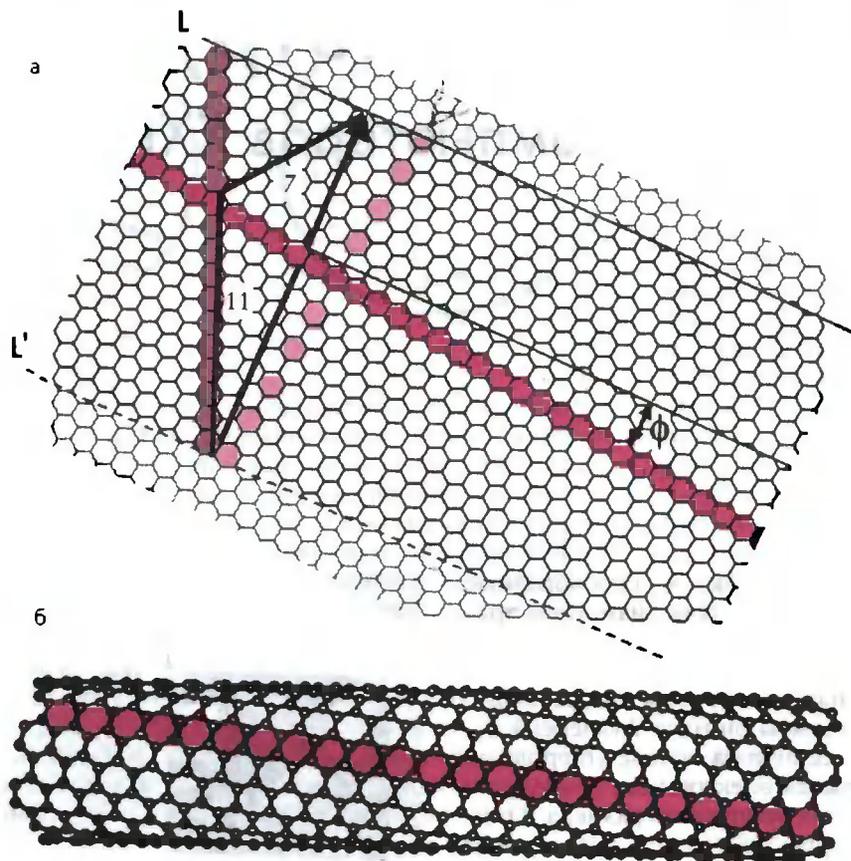


Рис.1. Построение модели нанотрубки: а) графитовый слой и лента (11, 7); б) нанотрубка (11, 7). Кроме индексов (n, m), геометрию нанотрубки можно охарактеризовать длиной окружности цилиндра C и углом хиральности  $\Phi$ . Если вектор C совпадает с вертикальной или наклонной «разрезанной» линией шестиугольников, получают нехиральные трубки (n, 0) и (n, n).

## Металлы и полупроводники

Для создания электронных устройств и их объединения в сложные приборы требуются полупроводники и материалы с высокой электропроводностью. Нанотрубки с разными значениями индексов (n, m) — это полимеры разного строения, а потому они должны обладать разными электрическими свойствами. Зависимости электрических свойств нанотрубок от геометрических параметров были предсказаны на основе квантово-химических расчетов их зонной структуры<sup>2</sup>. Было отмечено, что все атомы углерода в нанотрубках имеют тройную координацию, а значит, нанотрубки — сопряженные ароматические системы, в которых три из четырех валентных электронов каждого углерода образуют локализованные  $\sigma$ -связи, а четвертый участвует в образовании

делокализованной  $\pi$ -системы (как, например, в бензоле). Эти  $\pi$ -электроны слабо связаны со своими атомами, поэтому именно они могут участвовать в переносе заряда в системе. Высокая (металлическая) проводимость должна появиться, если занятые  $\pi$ -состояния не отделены от вакантных  $\pi^*$ -состояний (рис.2). В противном случае нанотрубка — полупроводник. Расчеты показали, что металлическим типом зонной структуры обладают те, для которых разность  $n - m$  кратна трем, — т.е. треть нанотрубок. Остальные нанотрубки должны быть полупроводниками с шириной запрещенной зоны от нескольких десятых до примерно двух эВ, возрастающей с уменьшением диаметра нанотрубки. Потребовалось целых шесть лет, чтобы квантово-химический прогноз подтвердился экспериментально<sup>3</sup>. Наконец, методами сканирующей туннельной микроскопии для ин-

<sup>2</sup> Saito R., Fujita M., Dresselhaus G. et al. // Phys. Rev. B. 1992. V.46. P.1804—1811.

<sup>3</sup> Wildöber J.W.G., Venema L.C., Rinzler A.G. et al. // Nature. 1998. V.391. P.59—62.

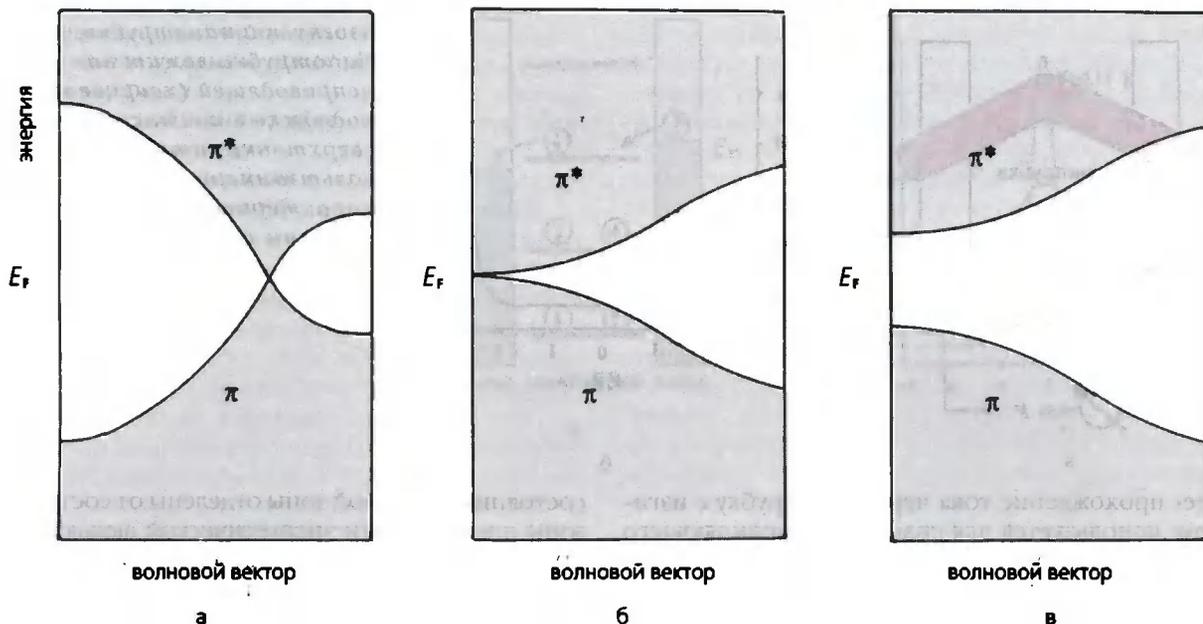


Рис.2. Электронная структура нехиральных трубок: а) все трубки  $(n, n)$  металлические; трубки  $(n, 0)$  металлические, если  $n$  кратно трем (б), иначе они полупроводниковые (в). Уровень Ферми  $E_F$  разделяет занятые и вакантные состояния.

двидуальных нанотрубок — фактически для объектов молекулярного размера — удалось определить атомную структуру (геометрию — по топографическим изображениям) и электропроводность<sup>4</sup> (по зависимости тока  $I$  через нанотрубку от напряжения смещения  $V$ ).

### Диод

Цилиндрические неизогнутые нанотрубки образуются из повторяющихся углеродных шестиугольников. Если углеродный шестиугольник заменить, например, на пятиугольник, семиугольник или на два таких дефекта, как показано на рис.3, нанотрубка изогнется. С разных сторон относительно изгиба ориентация углеродных шестиугольников оказывается различной. Но с изменением ориентации шестиугольников по отношению к оси нанотрубки меняется ее электронный спектр, положение уровня Ферми, ширина оптической щели и т.п. В частности, для приведенного на рис.3 случая, слева относительно изгиба нанотрубка должна быть металлической, а справа — полупроводниковой. Таким образом, эта изогнутая нанотрубка должна представлять собой молекулярный гетеропереход металл—полупроводник. Если рассматривать данные куски

нанотрубки изолированно, с разных сторон относительно изгиба электроны на уровне Ферми обладают разной энергией. В единой системе выигрыш в энергии приводит к перетеканию заряда и образованию потенциального барьера. Электрический ток в таком переходе течет только в том случае, если электроны перемещаются из области нанотрубки с большей энергией Ферми в область с меньшей. Иначе говоря, ток может течь только в одном направлении. «Односторон-

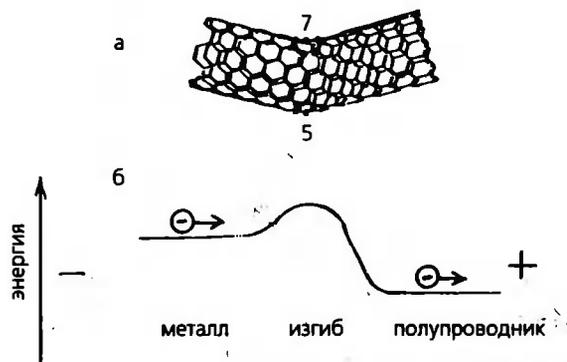


Рис.3. Влияние дефекта семиугольник—пятиугольник на геометрию нанотрубки (а) и энергию подвижных электронов (б).

<sup>4</sup> Электросопротивление единичных углеродных нанотрубок // Природа. 1997. №1. С.107—108.

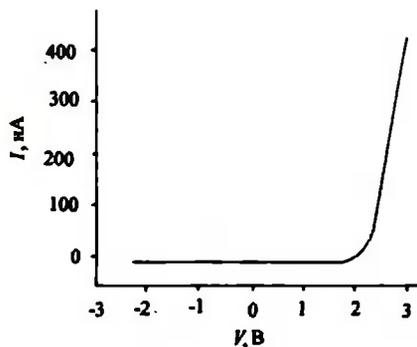


Рис.4. Выпрямляющий диод на изогнутой нанотрубке. Нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводами (а); вольт-амперная характеристика для такой системы (б).

нее» прохождение тока через нанотрубку с изгибом<sup>5</sup> используется для создания выпрямляющего диода — одного из основных элементов электронных схем (рис.4).

### Полевой транзистор

На основе полупроводниковой или металлической нанотрубки удалось сделать полевые транзисторы, работающие при комнатной (в первом случае) и сверхнизкой (во втором) температуре. Полевые транзисторы (триоды) — электронные устройства, на перенос заряда через которые оказывает сильное влияние внешнее (управляющее) электрическое поле, что используется в усилителях электрического сигнала, переключателях и т.п.

В транзисторе на полупроводниковой нанотрубке<sup>6</sup> электрическое поле управляет концентрацией носителей в зонах делокализованных состояний (рис.5). В полупроводниковой нанотрубке

состояния валентной зоны отделены от состояний проводимости энергетической щелью — запрещенной зоной. Из-за наличия этой щели при обычных условиях концентрация носителей в зонах мала и нанотрубка обладает высоким сопротивлением. При подаче на третий электрод (затвор) электрического потенциала  $U$  в области нанотрубки возникает электрическое поле и изгиб энергетических зон изменяется. При этом концентрация дырок в валентной зоне (и соответственно электропроводность) возрастает по экспоненциальному закону со смещением края зоны относительно уровня Ферми. При потенциале затвора около  $-6$  В концентрация дырок достигает максимального значения, сопротивление — минимального, а нанотрубка становится металлической.

При создании полевого транзистора на металлической нанотрубке<sup>7</sup> используются эффекты туннельного переноса электронов через нанотрубку по отдельным молекулярным орбиталиам. Из-за конечной длины нанотрубки ее электронный спектр, строго говоря, не непрерывен, как показано на рис.2, а дискретен, с расстоянием между отдельными уровнями  $\sim 1$  мэВ при длине нанотрубки  $\sim 1$  мкм (рис.6). Такой характер расщепления уров-

<sup>5</sup> Yao Z., Henk P., Leon B. et al. // Nature. 1999. V.402. P.273–276.

<sup>6</sup> Tans S.J., Verschueren A.R.M., Dekker C. // Ibid. 1998. V.393. P.47–52; см. также: Транзистор на основе углеродной нанотрубки // Природа. 1999. №2. С.104–105.

<sup>7</sup> Tans S.J., Devoret M.H., Dai H. // Ibid. 1997. V.386. P.474–477.

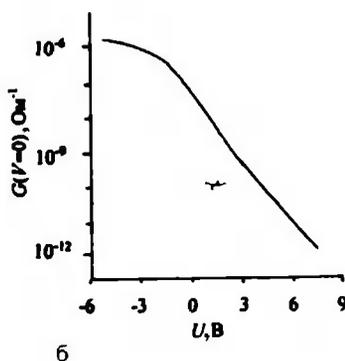
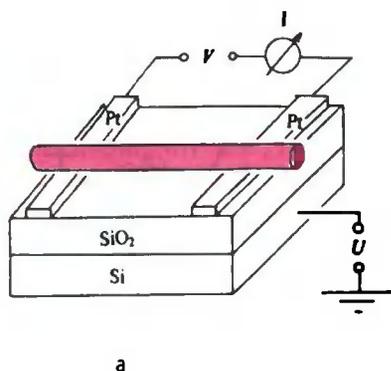
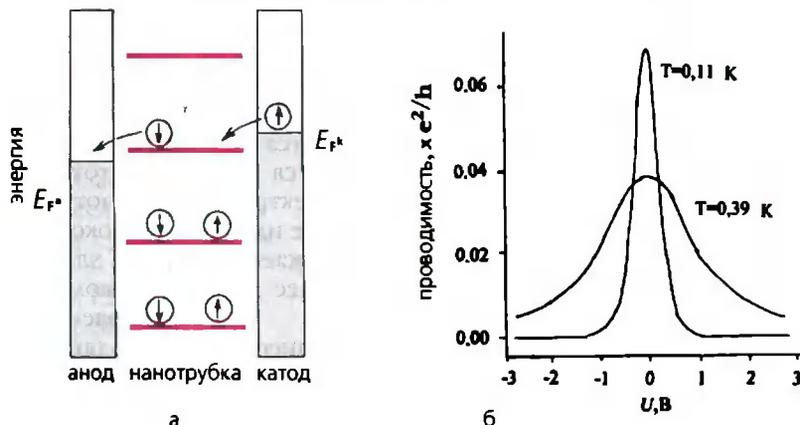


Рис.5. Полевой транзистор на полупроводниковой нанотрубке. Нанотрубка лежит на непроводящей (кварцевой) подложке в контакте с двумя сверхтонкими проводами, в качестве третьего электрода (затвора) используется кремниевый слой (а); зависимость проводимости в цепи от потенциала затвора (б).

Рис.6. Схема переноса электронов с участием одного дискретного уровня в полевом транзисторе на металлической нанотрубке (а) и зависимость проводимости в цепи от потенциала затвора (б).



Лекторский

ней, конечно, не сказывается на электропроводности нанотрубки, например, при комнатной температуре (0.025 эВ), но полностью определяет ее электрические свойства при температуре ниже 1 К. Проводимость металлической нанотрубки в таких условиях обусловлена тем, что электроны перескакивают (туннелируют) с верхнего заполненного уровня катода на проводящий дискретный уровень нанотрубки, а затем с нанотрубки на нижний незаполненный уровень анода. В пределах нанотрубки туннелирование электрона происходит очень легко (практически без рассеяния и без потерь энергии) за счет  $\pi$ -электронных состояний, делокализованных на всю длину нанотрубки. Высокая металлическая проводимость в электрической цепи возможна в случае, если так же легко осуществляется перенос электронов между нанотрубкой и электродами. В эксперименте это достигается возможно более точной подгонкой уровней Ферми электродов к энергии проводящего уровня нанотрубки. Включение внешнего электрического поля при подаче электрического потенциала на третий электрод смещает электронный уровень нанотрубки, и ее сопротивление возрастает.

ского поля вблизи заряженной нанотрубки искривляются и в окрестности острия нанотрубки напряженность поля становится огромной, причем тем больше, чем тоньше нанотрубка. Такое локальное поле может вырывать электроны из нанотрубки. Под действием внешнего поля летящие электроны формируются в пучок. Этот эффект, на-

### Дисплей

Дисплей — это первое, что мы видим, когда подходим к компьютеру. Оказалось, что углеродные нанотрубки могут быть полезны также и для создания дисплеев нового поколения<sup>8</sup>.

Рассмотрим углеродную нанотрубку, закрепленную на катоде и ориентированную в направлении анода (рис.7). Если на электроды подать напряжение соответствующей полярности, нанотрубка заряжается отрицательно, линии электриче-

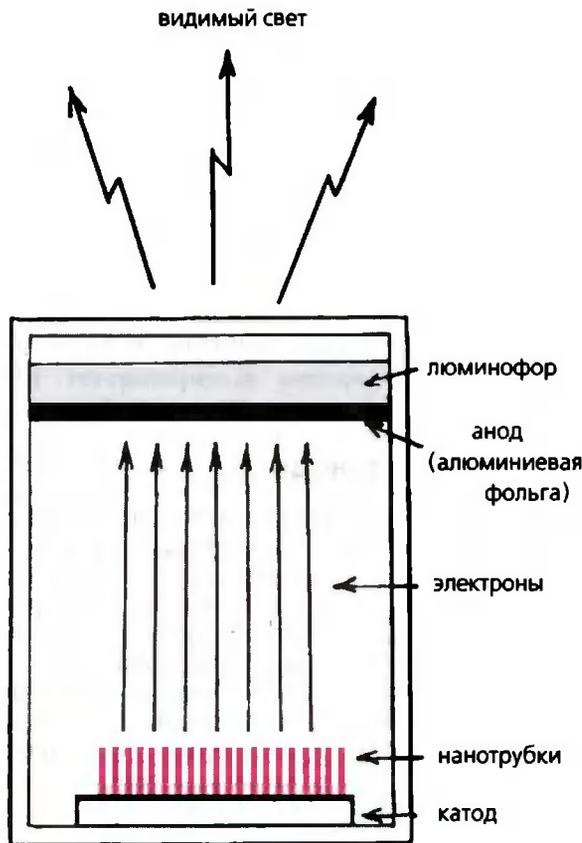


Рис.7. Схема дисплея, в котором используется автоэлектронная эмиссия из нанотрубок.

<sup>8</sup>Saito Y., Uemura S., Hamaguchi K. // Jpn. J. Appl. Phys. 1998. V.37. L346—350.

зываемый автоэлектронной эмиссией, кроме дисплеев, используется для создания выпрямителей<sup>9</sup>.

В обоих случаях берут два плоских электрода, один из которых покрывают слоем из углеродных нанотрубок, ориентированных перпендикулярно ко второму. Если на электроды подается такое напряжение, что нанотрубка заряжается отрицательно, из нанотрубки на второй электрод излучается пучок электронов: ток в системе идет. При другой полярности нанотрубка заряжается положительно, электронная эмиссия из нее невозможна и ток в системе не идет.

Чтобы с помощью автоэлектронной эмиссии получить изображение, на аноде закрепляют люминофор. Электронный удар возбуждает молекулы люминофора, которые затем переходят в основное состояние, излучая фотоны. Например, при использовании в качестве люминофора сульфида цинка с добавками меди и алюминия наблюдается зеленое свечение, а при добавлении серебра — синее. Красный цвет получают с помощью легированного европием оксида иттрия.

## Электрохимический резонанс

Преобразование электрических колебаний в механические требуется для создания различных устройств, например электроакустических головок. Для возбуждения колебаний нанотрубки под действием электрического поля<sup>10</sup> ее закрепляют на одном из двух электродов, на этот раз под углом ко второму электроду. При подаче на электроды электрического напряжения трубка заряжается и за счет электростатического притяжения отклоняется ко второму электроду. Если на электроды подать переменное напряжение, частота которого совпадает с частотой собственных колебаний нанотрубки, зависящих от ее толщины и длины, возникнут механические колебания нанотрубки.

## Квантовые провода

Теоретические и экспериментальные исследования электрических и магнитных свойств нанотрубок обнаружили ряд эффектов, которые указывают на квантовую природу переноса заряда в этих молекулярных проводах и могут быть использованы в электронных устройствах.

Проводимость обычного провода обратно пропорциональна его длине и прямо пропорциональна поперечному сечению, а в случае нанотрубки она не зависит ни от ее длины, ни от ее толщины и равна кванту проводимости  $2e^2/h$

<sup>9</sup> Heer W. A. de, Chatelain A., Ugarte D. // Science. 1995. V.270. P.1179—1180.

<sup>10</sup> Poncharal P., Wang Z.L., Ugarte D. et al. // Ibid. 1999. V.283. P.1513—1516.

( $12,9 \text{ k}\Omega^{-1}$ ) — предельному значению проводимости, которое отвечает свободному переносу делокализованных электронов по всей длине проводника. При обычной температуре наблюдаемое значение плотности тока ( $10^7 \text{ A}\cdot\text{cm}^{-2}$ ) на два порядка превосходит достигнутую сейчас плотность тока в сверхпроводниках<sup>11</sup>.

Нанотрубка, которая находится при температурах около 1 К в контакте с двумя сверхпроводящими электродами, сама становится сверхпроводником. Этот эффект связан с тем, что куперовские электронные пары, образующиеся в сверхпроводящих электродах, не распадаются при прохождении через нанотрубку<sup>12</sup>.

При низких температурах на металлических нанотрубках наблюдали ступенчатое возрастание тока (квантование проводимости) при увеличении напряжения смещения  $V$ , приложенного к нанотрубке: каждый скачок отвечает появлению очередного делокализованного уровня нанотрубки в промежутке между уровнями Ферми катода и анода (рис.6,а).

Нанотрубки обладают ярко выраженным магнитосопротивлением: электропроводность сильно зависит от индукции магнитного поля. Если приложить внешнее поле в направлении оси нанотрубки, наблюдаются заметные осцилляции электропроводности: колебательный характер зависимости последней от потока магнитной индукции  $\Phi$  через нанотрубку объясняется эффектом Ааронова—Бома (зависимостью фазы электронной волны от  $\Phi$ )<sup>13</sup>. В случае перпендикулярной ориентации поля наблюдается возрастание электропроводности, которое отражает модификацию энергетического спектра — образование уровня Ландау в точке пересечения валентной зоны и зоны проводимости, что дает рост плотности состояний на уровне Ферми.

## Химическая модификация

Возможности использования нанотрубок в молекулярной электронике неизмеримо возрастают при переходе от чисто углеродных к химически модифицированным нанотрубкам. Например, благодаря наличию цилиндрической полости внутри углеродных нанотрубок удастся внедрить различные элементы, включая тяжелые металлы<sup>14</sup>. Возможно добавление аддендов (например, атомов фтора) на внешнюю поверхность трубки. Кроме углеродных сейчас умеют полу-

<sup>11</sup> Frank S., Poncharal P., Wang Z.L. et al. // Ibid. 1998. V.280. P.1744—1746.

<sup>12</sup> Kasumov A.Yu., Deblock R., Kociak M. et al. // Ibid. 1999. V.284. P.1508—1511.

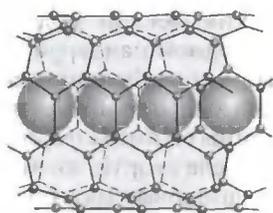
<sup>13</sup> Bachtold A., Strunk C., Salvetat J.P. // Nature. 1999. V.397. P.673—675.

<sup>14</sup> Loiseau A., Demoncey N., Stephan O. et al. // Science and Application of Nanotubes / Eds. D.Tomanek and R.J.Enbody. N.Y., 2000. P.1—16.

чать и бор-азотные нанотрубки. Во всех этих случаях должны получаться материалы с новыми и пока еще экспериментально не изученными свойствами. Подобно тому, как в начале 90-х годов перед квантовой химией стояла задача прогнозирования свойств чисто углеродных нанотрубок (с которой она блестяще справилась, вызвав бурный рост экспериментальных исследований), теперь требуются расчеты таких, существенно более сложных систем.

**Металлизированные нанотрубки.** Расчеты металлизированных нанотрубок потребовали разработки нового квантово-химического метода, названного нами методом линейаризованных присоединенных цилиндрических волн<sup>15</sup>. В этом методе принимается допущение, что система заключена в непроницаемый потенциальный барьер цилиндрической формы, причем в области атомов электронный потенциал сферически симметричен (практически совпадает с атомным), а в межатомном пространстве постоянен (рис.8). Тогда электронный спектр системы определяется свободным движением электронов в межатомном пространстве и рассеянием на атомных центрах.

Как показали расчеты<sup>16</sup>, внедрение переходных металлов в углеродные нанотрубки должно приводить к резкому возрастанию проводимости как полупроводниковых нанотрубок (за счет появления в запрещенной зоне электронных состояний металла), так и металлических (за счет повышения плотности состояний вблизи уровня Ферми). Все бор-азотные нанотрубки, в отличие от углеродных, независимо от их геометрии исходно должны быть широкозонными полупроводниками<sup>17</sup>. Внедрение же в них переходных металлов М с образованием структур типа представ-



должно приводить к формированию металлической зонной структуры в системе. Исходная однотипность электронных свойств бор-азотных нанотрубок может быть полезна в технологическом плане, так как облегчает изготовление нанопроводов с более воспроизводимыми характеристиками.

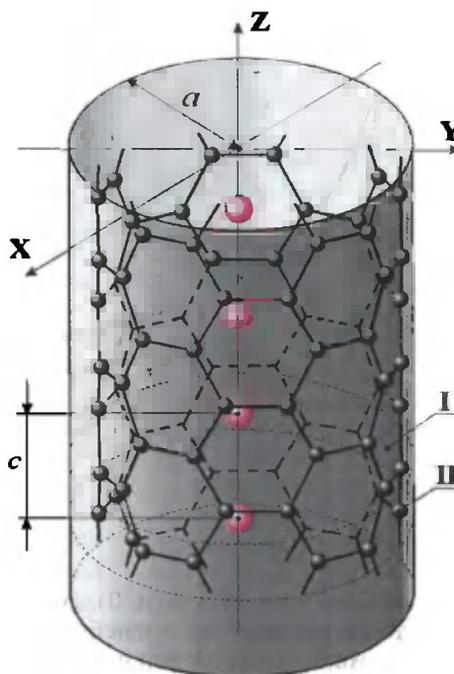


Рис.8. Легированная металлом (цветные шарики) углеродная нанотрубка внутри цилиндрического потенциального барьера. I – область постоянного межатомного потенциала, II – область атомного потенциала. (При расчетах атомные сферы считаются касающимися друг друга.)

ками. Если одну половину полупроводниковой нанотрубки заполнить металлом, а вторую оставить нетронутой, мы опять получим молекулярный гетеропереход металл–полупроводник. В случае бор-азотной нанотрубки это будет гетеропереход широкозонный полупроводник–металл, на основе которого можно конструировать нанодиоды и другие элементы, способные функционировать при высоких температурах.

**Нанотрубки с аддендами.** Гетеропереход может образоваться и при фторировании нанотрубок<sup>18</sup>. Учет стерических и  $\pi$ -электронных взаимодействий<sup>19</sup> при расчетах полной энергии фторированных нанотрубок показал, что присоединение атомов F с внешней стороны нанотрубки более выгодно, чем с внутренней. При этом атомы фтора должны присоединяться сначала к открытым концам нанотрубок, а затем выстраиваться вдоль образующей.

<sup>15</sup> Дьячков П.Н., Кепп О.М., Николаев А.В. // ДАН. 1999. Т.365. №2. С.105–110.

<sup>16</sup> D'yachkov P.N., Kerр O.M. // Science and Application of Nanotubes. P.77–82.

<sup>17</sup> Дьячков П.Н., Кирип Д.В. // ДАН. 1999. Т.369. №5. С.639–646; Опи же. // Там же. 2000. Т.373. №3. С.344–349.

<sup>18</sup> Кирип Д.В., Бреславская Н.Н., Дьячков П.Н. // Там же. 2000. Т.374. №1.

<sup>19</sup> D'yachkov P.N., Breslavskaya N.N. // J. Mol. Struct. (Theochem). 1997. V.397. P.199–211.

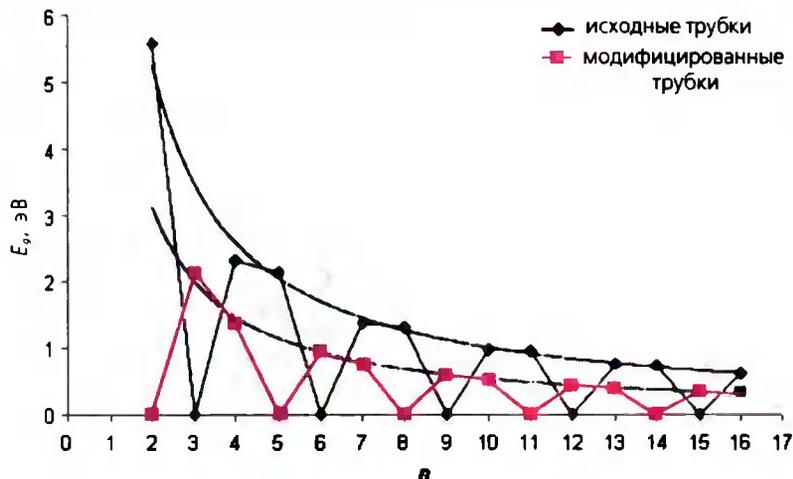
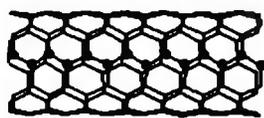
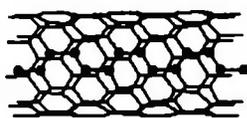


Рис.9. Зависимость ширины запрещенной зоны для исходных и модифицированных нанотрубок типа  $(n, 0)$  от параметра их диаметра  $n$ .

В нанотрубках  $F-(n, n)$  и  $F-(n, 0)$ , достаточно длинных, чтобы можно было пренебречь концевыми эффектами, последний тип присоединения будет основным:

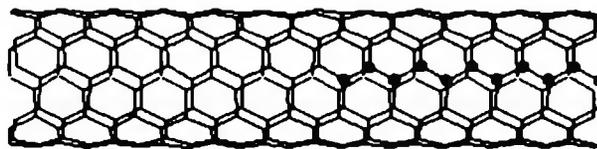


$F-(n, n)$



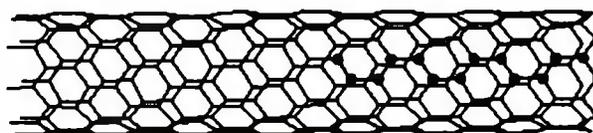
$F-(n, 0)$

При добавлении фтора на внешнюю поверхность трубки меняется сетка  $\pi$ -связей, а значит — электрические и другие физические свойства. Как следует из расчетов, все нанотрубки  $F-(n, n)$  — полуметаллы, у которых на краю зоны Бриллюэна щель отсутствует и, так как все нанотрубки  $(n, n)$  металлические, наполовину фторированные нанотрубки



будут представлять собой молекулярные гетеропереходы металл—полуметалл, независимо от их диаметра.

Согласно расчетам, щель запрещенной зоны у нанотрубок типа  $F-(n, 0)$  исчезает, если  $(n+1)$  кратно трем (рис.9). В остальных случаях модифицированные трубки — полупроводниковые. Так как в исходных, чисто углеродных нанотрубках  $(n, 0)$ , запрещенная зона отсутствует, если  $n$  кратно трем, то наполовину модифицированные нанотрубки  $(n, 0)$



будут, в зависимости от диаметра, образовывать гетеропереходы различных типов. Если  $(n - 1)$  кратно трем ( $n = 3l + 1, l = 1, 2, \dots$ ), это будет гетеропереход полупроводник—полупроводник, причем ширина запрещенной щели в модифицированной части трубки примерно в два раза меньше, чем в исходной (рис.9). При других значениях  $n$  образуется гетеропереход металл—полупроводник, но при  $n$ , кратном трем, металлическому концу соответствует немодифицированная часть нанотрубки, а при  $n = 3l + 2$  — модифицированная.

Итак, путем химической модификации различных участков одной нанотрубки будут создаваться сложные многофункциональные электронные устройства, подобные интегральным схемам современных компьютеров. Можно сказать, что здесь обрела вторую жизнь идея легирования полупроводниковых материалов, породившая современную электронику. Располагая столь перспективным объектом, как нанотрубки, мы имеем все основания на пороге XXI в. с оптимизмом смотреть в будущее технологии и ожидать новых качественных прорывов в этой сфере.

**Работа поддержана РФФИ (Проект 00-03-32968) и выполнена в рамках Государственной научно-технической программы «Актуальные проблемы физики конденсированных сред. Направление: фуллерены и атомные кластеры» (№ 98061). ■**

## Астероид — чемпион вращения

Согласно подсчетам специалистов, в Солнечной системе около 10 млн астероидов с диаметрами от 10 до 100 м и орбитами, пересекающими земную. А в поясе Койпера — до 1 млрд. Несмотря на это, открыто и изучено всего несколько десятков таких тел. Несколько лучше обстоит дело с более крупными астероидами. К настоящему времени автоматические межпланетные станции совершили четыре сближения с телами, имеющими размер от 14 до 58 км. Но и относительно них информация недостаточна. Известно, например, являются они сплошными глыбами или же рыхлыми скоплениями мелких обломков, связанных лишь силой тяготения. Тем важнее представляется исследование астероида 1998 KY26, предпринятое большой международной группой ученых (S.J.Ostro, D.L.Rabinovitz, P.Pravec et al. // Science. 1999. V.285. №5427. P.557; <http://cfa-www.harvard.edu/iau/services/mpac.html>).

Астероид 1998 KY26 был открыт астрономом Гарвардского университета Дж.В.Уильямсом (G.V.Williams) 1 июня 1998 г. — непосредственно перед тем, как тот прошел мимо Земли на расстоянии, всего лишь в 2.1 раза превышающем дистанцию между нашей планетой и Луной. Между 6 и 8 июня 1998 г. эту малую планету подвергли радиолокации с помощью радиотелескопа в Голдстоуне (Калифорния). Со 2 по 8 июня ее наблюдали фотометрическим методом на 0.65-метровом телескопе в Онджееве, 0.9-метровом — в Аризоне, 0.61-метровом — на горе Мауна-Кеа (Гавайи) и 0.6-метровом — в Обсерватории Тейбл-Маунтин (Калифорния).

Установлено, что этот астероид представляет собой слегка вытянутый сфероид диаметром около 30 м. Его состав аналогичен составу метеоритов из класса углистых хондритов. Уникальным же его делает большая скорость

вращения вокруг собственной оси: он совершает полный оборот всего за 10.7 мин. В среднем периоды обращения у всех открытых доныне астероидов составляют несколько часов, а считавшийся до сих пор рекордсменом астероид 1566 Икар совершает оборот за 136 мин. Высокая скорость вращения говорит о монолитном строении астероида 1998 KY26: будь он «составлен» из отдельных обломков, связанных лишь тяготением, он бы давно при такой скорости распался. Плотность вещества астероида не может быть ниже 3.4 г/см<sup>3</sup>.

Полагают, что астероиды с размерами, близкими 1998 KY26, живут не более 10–100 млн лет, после чего гибнут в столкновении с иным телом. Углистые хондриты считаются самыми хрупкими. Отсюда следует, что астероид — порождение не слишком давнего столкновения, при котором разрушилось более крупное тело.

## Оптический телескоп «Субару» — новые открытия

Японские ученые, недавно получившие в свое распоряжение 8.3-метровый оптический телескоп «Субару» («Плеяды»), расположенный на горе Мауна-Кеа (о.Гавайи, США), сообщают о первом успехе (Science. 1999. V.285. №5432. P.1349; <http://www.subaru.naoj.org>). Наблюдая звездную систему L 1551 IRS5, которая находится на расстоянии 450 световых лет от Земли, они зафиксировали мощные, диаметрально направленные струи вещества, исходящие от двух ее протозвезд, окутанных облаками космической пыли и газов.

Астрофизики полагают, что вблизи этого объекта материя по спирали стремится к центру системы, образуя попутно диски вокруг экватора каждой из протозвезд. Однако сила инерции столь велика, что со спиралей

срываются мощные струи и далеко уходят от своих источников в открытое пространство — на расстояние, в 1500 раз превышающее дистанцию между Солнцем и нашей планетой. Струи направлены в сторону Земли. Наблюдать их хотя бы частично удается лишь благодаря тому, что в пути они рассеиваются звездным ветром — потоком заряженных частиц, выбрасываемых звездами. Еще одна пара струй, уходящих в противоположную сторону, закрыта от земного наблюдателя скоплениями газа и пыли.

О существовании этих струй ранее можно было догадываться по данным Космического телескопа им.Хаббла, но «Субару» впервые дал возможность подтвердить это наземным способом. Анализ последней информации показывает, что температура вещества в струях достигает нескольких тысяч градусов. В состав их раскаленных газов входит значительное количество ионизированного железа. Открытие расширяет наши знания о процессах, сопровождающих рождение новых звезд.

## Где и как родились Уран и Нептун?

Эти вопросы уже десятилетия занимают астрономов-теоретиков: ведь, если не считать Плутона, шесть других планет обращаются вокруг Солнца на расстоянии не далее 10 а.е. (1 а.е. = 150 млн км), а Уран и Нептун находятся от него в 19 и 30 а.е. соответственно. Некоторые астрономы полагают, что образоваться в этой области они не могли, так как газ и облака космической пыли там всегда были слишком разреженными, чтобы породить планету.

Специалисты по небесной динамике Э.Томмс и М.Дункан (E.Thommes, M.Duncan) совместно с А.Левисоном (H.Levison) разработали математическую модель, которая подтверждает

и развивает гипотезу, согласно которой Уран и Нептун образовались значительно ближе к Солнцу (Science. 1999. V.286. №5447. P.2054). Они даже полагают, что в той области, где ныне находятся Юпитер и Сатурн (в 5–10 а.е. от Солнца), первоначально сложились не эти два, а четыре или пять протопланетных ядер, состоящих из смеси льда и каменных пород.

Считается, что девять планет Солнечной системы возникли из дискообразной туманности, состоявшей из космической пыли и газа. Сгустки первичного вещества, сталкиваясь, порождали все более крупные тела, превратившиеся постепенно в планеты. В течение миллионов лет внешние планеты захватывали газ и пыль из этой туманности, пока они не исчерпались или не были в значительной мере выброшены солнечным ветром. Построенная математическая модель не допускает возможность превращения ядер Урана и Нептуна в полноценные планеты в тех областях, где они располагаются сегодня, причем даже если бы им на это были отведены все 4,5 млрд лет существования нашей Солнечной системы.

Итак, все говорит о том, что эти небесные тела родились ближе к Солнцу, где туманность была значительно плотнее. Но тогда возникает вопрос: каким образом Уран и Нептун сместились прочь от Солнца на миллиарды километров, не нарушив при этом правильности своих круговых орбит и сохранив их в той же плоскости, что и у остальной части Солнечной системы?

По существующим представлениям, когда планетное ядро достигает критической массы (примерно в 15 раз превышающей массу Земли), его рост ускоряется благодаря силам тяготения. Модель Томмса и Дункана говорит, что первым этой стадии достиг Юпитер; это позволило ему захватить около 71% общей массы всех планет. Вторым к «промежу-

точному финишу» пришел Сатурн (21%). На долю «опоздавших» Урана и Нептуна осталось соответственно лишь 3 и 4%. Более массивные Юпитер и Сатурн в течение 100 тыс. лет постепенно «вытеснили» Уран и Нептун на слегка наклонные вытянутые орбиты, уводящие их на 30–40 а.е. от Солнца. Для «изгнанников» существовала угроза вообще вылететь за пределы Солнечной системы, но их остановили обломки, которые сохранились в остатках газо-пылевого диска, простирающегося далее 40 а.е. Процесс динамического трения в конце концов вернул Уран и Нептун на круговые орбиты в общей для всех планет плоскости — Юпитер и Сатурн были уже слишком далеко, чтобы им помешать.

24 раза «прокручивали» авторы свою модель в различных условиях и почти в половине случаев получали планетную систему, весьма сходную с нашей. В большинстве из них на расстоянии свыше 40 а.е. от Солнца сохранялся диск обломков, напоминающий известный пояс Койпера.

### Проект «Шампольон» возобновлен

Национальное агентство США по аэрокосмонавтике и космическим исследованиям приняло решение возобновить работы по проекту «Шампольон — New millenium»<sup>1</sup> (Spaceflight. 1999. V.41. №8. P.313), который осуществлялся в рамках программы «Deep Space-4» («Глубокий космос-4»), но был прерван из-за недостатка средств.

Проект подвергнут существенным сокращениям, снижающим расходы до 158 млн долл. США. Вместо того, чтобы запустить

<sup>1</sup> В паре с европейским проектом полета к комете «Розетта» проект «Шампольон» призван сыграть в исследованиях комет столь же значительную роль, какую сыграл в расшифровке иероглифического письма на Розеттском камне основатель египтологии Жан Франсуа Шампольон (1790–1832).

к одной из комет автоматическую межпланетную станцию, а с нее на это небесное тело спускать специальный исследовательский отсек, решено обойтись единственным аппаратом, который сам совершит такую посадку. Сначала предстоит в течение нескольких месяцев вести картографическую съемку ядра кометы, а затем в выбранном месте опустить аппарат, который выполнит бурение и несколько иных экспериментов.

### «Горячее пятно» под Ярлун Цзангбо

Под глубочайшим на Земле каньоном Ярлун Цзангбо<sup>1</sup> (юго-восточная часть Тибетского автономного района КНР) обнаружено «горячее пятно» — область повышенной температуры, низкого магнитного поля, отрицательной аномалии силы тяжести, средоточия частых землетрясений и сильных тектонических движений (China Science and Technology Newsletter. 1999. №185. P.2–3). Центр этого района находится в 50 км к западу от Мото — места, где в 1950 г. произошло сильное землетрясение ( $M = 8,6$  по шкале Рихтера). Пятно располагается между  $93^\circ$  и  $97^\circ$  в.д. и южнее  $30^\circ$  с.ш.

С «Великим каньоном Ярлун Цзангбо» связан успешно прошедший экспертизу в АН КНР проект создания под таким названием национальной природоохранной зоны (China Science and Technology Newsletter. 2000. №216. P.1–2). Ее общая площадь составит 9600 км<sup>2</sup> с числом жителей 14 900. Под защитой окажутся более 3000 видов растений и более 40 видов редких животных. Для постройки будущей ГЭС на р.Ярлун Цзангбо предложено открыть станцию наблюдения за напором воды в реке.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Ярлун Цзангбо — глубочайший каньон на Земле // Природа. 1999. №9. С.86.

# Трещины в гранитах – зло или благо?

С.В.Белов, А.А.Бурмистров

Наверное, нет такого человека, который не знаком с гранитом. С ним мы сталкиваемся почти ежедневно, спускаясь по ступеням в метро, облакачиваясь на парапеты набережных рек и мостов. Он радует глаз в нарядной облицовке зданий и дворцов, придает торжественность монументам, навевает грусть в памятниках, напоминая, что жизнь — мгновение по сравнению с вечностью этого камня. Выражение «крепок, как гранит» стало синонимом прочности. Однако, как это ни парадоксально, неотъемлемое свойство, присущее данной горной породе, — образовывать множество трещин. Гранитные массивы различной формы возникают обычно в результате застывания на глубине раскаленной магмы. Эрозия вмещающих пород и экзогенные процессы выводят их на поверхность земли, и, если взглянуть с самолета, взору предстанет удивительная картина: гранитный плутон, разбитый сетью многочисленных разноориентированных трещин — характерных рубцов, образующих так называемую отдельность. Что это за трещины, почему они возникают и какие силы



*Сергей Викторович Белов, доктор геолого-минералогических наук, заведующий сектором Всероссийского научно-исследовательского института минерального сырья им.Н.М.Федоровского Область научных интересов — системные взаимосвязи полей напряжений с магматизмом и формированием полезных ископаемых. Неоднократно публиковался в «Природе».*



*Алексей Алексеевич Бурмистров, кандидат геолого-минералогических наук, доцент геологического факультета Московского государственного университета им.М.В.Ломоносова. Специалист по структурно-петрофизическому анализу и тектонофизическому моделированию месторождений полезных ископаемых.*

регулярно раскалывают, казалось бы, необычайно прочные горные породы? Этот отнюдь не праздный вопрос вот уже много десятилетий занимает умы геологов. И вот почему.

Многие трещины представляют собой структуры, в кото-

рых залегают гидротермальные жилы и прожилки, содержащие руды вольфрама, молибдена, олова, бериллия, лития, висмута, золота, полиметаллов, флюорита и других полезных ископаемых. Такие трещины оказываются весьма по-



*Трещинная отдельность  
в гранитах.  
Сверху — общий,  
внизу — крупный планы.  
Центральный Казахстан.*

*Здесь и далее  
фото С.В.Белова*

лезными, определяя размещение и строение целой гаммы постмагматических рудных месторождений жильно-штокерного типа. Изучение рудовмещающих структур позволяет расшифровать внутреннее строение месторождений и дать обоснованный прогноз. Но при использовании гранитов в качестве облицовочного камня трещины (особенно многочисленные) совершенно нежелательны. Они мешают получать крупные монолиты, порой делаая непригодными очень красивые граниты. В то же время небольшое количест-

во трещин существенно облегчает отделение крупных блоков от основного массива и получение высококачественного сырья. Зная закономерности распределения главных систем трещин (пространственную ориентировку, количество на  $1\text{м}^2$ ), можно наиболее рационально расположить уступы добывающего карьера вдоль самой трещиноватой части, тем самым увеличив производительность<sup>1</sup>. В этом слу-

<sup>1</sup> Карасев Ю.Г., Бакка Н.Т. Природный камень. Добыча блочного и стенового сырья. СПб, 1997.

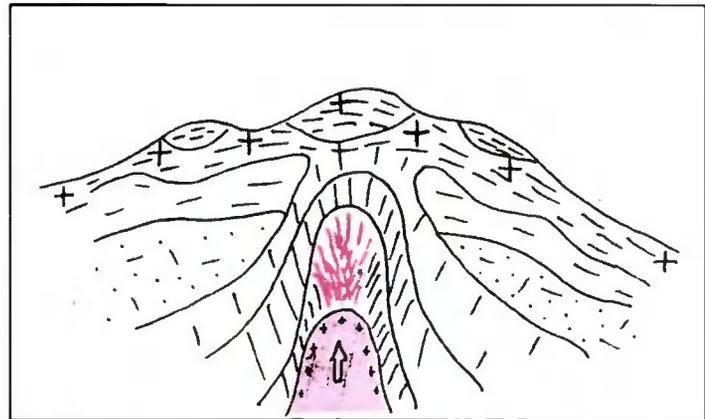
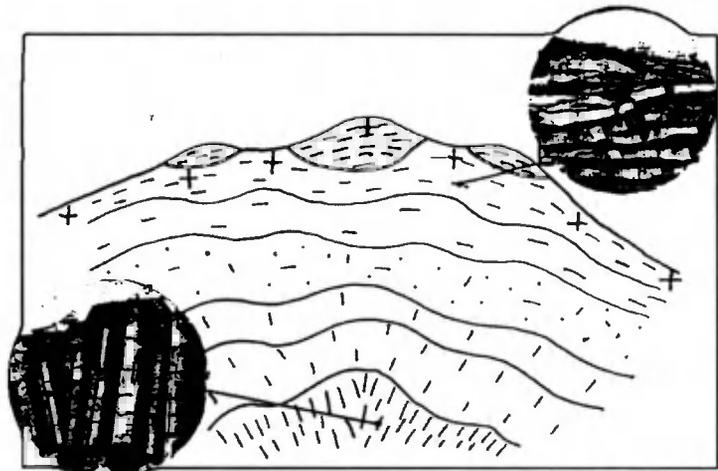
чае изучение закономерностей распределения трещин в гранитах — важнейшая задача геолога, на которой базируется оценка месторождений облицовочного камня.

## Немного истории

Впервые проблема образования трещинной отдельности в граните привлекла внимание геологов в начале 20-х годов. Немецкий профессор Г.Клоос установил, что в гранитных массивах присутствуют обычно две, часто взаимно перпендикулярные, системы крутонаклонных трещин и одна пологая, близгоризонтальная. Иногда они дополняются еще одной — диагональной. Клоос полагал, что все эти плоскости раскола связаны с односторонним давлением, действовавшим в земной коре во время и после затвердевания гранита. Изучение закономерностей их распределения дает сведения о природе и направлении действия сил в период становления гранитной интрузии. Работы Клооса (ставшие впоследствии классическими и вошедшие во все учебники) разбудили интерес геологов и стимулировали исследования в этом направлении, приведя к созданию целой научной школы. Так, Т.Дейл установил, что трещины, по которым раскалываются граниты, совпадают с линейным расположением газовойжидких пузырьков в кварцевых зернах, а направления наилучшего раскола параллельны пластинкам слюды и вкрапленным полевым шпатам. Эти работы легли в основу представлений об петроструктурной анизотропии и были успешно продолжены спустя полвека В.И.Старостиним и его учениками, когда появилась возможность применять ультразвук для изучения анизотропии горных пород.

Продолжавшиеся в до- и послевоенное время многочисленные исследования гранитов давали все больше материала, который заставил усомниться в справедливости представлений Клооса. В.А.Невский, посвятивший изучению трещинной тектоники рудных полей и месторождений многие годы, писал: «Трещины тектонические далеко не всегда являются ведущими, как это представлялось прежде»<sup>2</sup>. И так, факты как будто говорили о том, что образование трещин в гранитах связано преимущественно с внутренними причинами. Последние обусловлены процессами, возникающими в системе интрузив—кровля, или интрузив—надинтрузивная зона (ИНЗ), в связи с эндокинетическими напряжениями при остывании гранитного массива и его контракции, т.е. усадке и сокращении объема после кристаллизации.

Идея об автономности развития трещин в остывающей гранитной интрузии наиболее ярко отразилась в 70-е годы в исследованиях М.А.Осипова, Г.Н.Щербы, Т.М.Лаумулина. Однако выводы, удовлетворительно объясняя наблюдаемые факты, носили лишь качественный характер. Шагом вперед стали полученные И.В.Луцицким и В.Н.Бондаренко, позднее Г.С.Китом и О.В.Побережным, и дополненные В.С.Худяевым с соавторами оценки напряжений в окрестностях сферы, имитирующей интрузию. В начале 80-х годов В.Г.Золотаревым была создана теплофизическая модель кристаллизующегося плутона. Таким образом, на повестку дня встала задача комплексного анализа напряженно-деформированного состояния саморазвивающейся автономной системы ИНЗ



Граниты:



основной фазы

дополнительной

Трещины:



сколовые, интрузивного давления

сколовые, контракционные



отрывные, контракционные

наименее трещиноватая область плутона

*Крутопадающие и пологие контракционные трещины, развитые в гранитном куполе Караобинского интрузива (на врезках), и модель трещинообразования в гранитном плутоне однофазного (вверху) и двухфазного строения.*

и количественного расчета полей напряжений как в самих гранитах, так и в окружающем пространстве.

### Модель трещинообразования в гранитном плутоне

Несмотря на достаточно долгую историю и существенный прогресс в понимании существа явления, оставались все-таки неясными некоторые вопросы. Как распределены

в теле гранитов трещины контракции? Каково их поведение на глубине? Зависит ли (и как) их количество от формы кровли? Как влияют на трещиноватость поздние интрузивные фазы, часто внедряющиеся в тело плутона? Необходимость ответа на них помимо научного интереса диктовалась практическими потребностями геологоразведчиков и горняков, изучавших широкую гамму месторождений, связанных с гранитами. Так, неопределенность в отно-

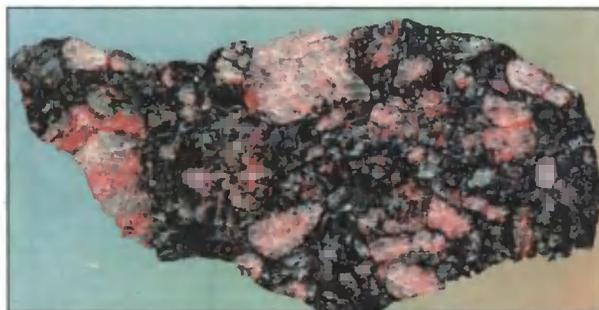
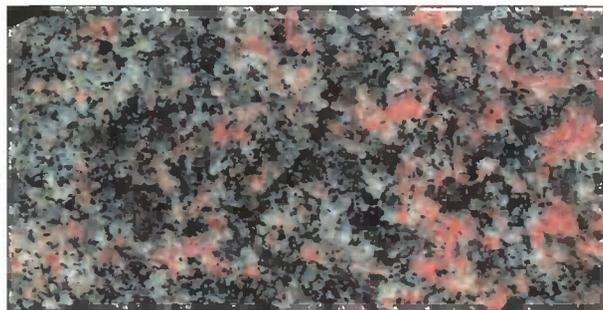
<sup>2</sup> Невский В. А. Трещинная тектоника рудных полей и месторождений. М., 1979.



*В камнерезном цехе гранитогнейсовых высококлассных облицовочных плит.*



*Полгие контракционные трещины в гранитном куполе. Казахстан.*



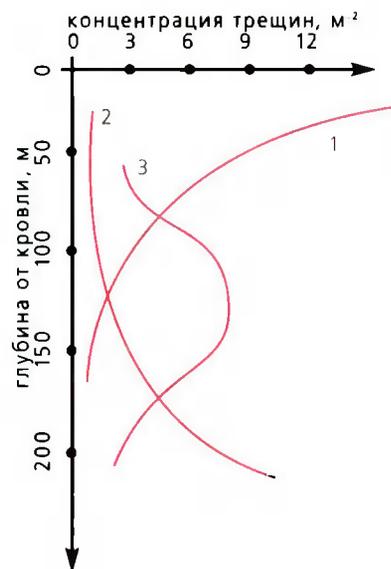
Облицовочные граниты месторождений Лакеваара (слева) и Бородинское. Карельский перешеек.

шении поставленных вопросов приводила к тому, что разработчики месторождений облицовочных гранитов априори считали трещины, равномерно распределенными по телу плутона. Это порой приводило к ошибкам при оценке и обработке месторождений. Лучше всего проблему можно было решить путем детального изучения эталонных объектов в совокупности с тектонофизическим моделированием. Для выбора эталона необходима не только хорошая обнаженность гранитов, но и возможность изучить массив на глубину, т.е. наличие нескольких шахтных горизонтов. При этом весьма желательно исследовать такие граниты, в которых оруденение залегает в многочисленных трещинах.

Данным условиям в полной мере отвечал расположенный в Центральном Казахстане Караобинский массив гранитов с молибден-олово-вольфрамовым оруденением. Интрузив хорошо обнажен и разработан несколькими шахтными горизонтами на глубину около 250 м. Изучение пологой крутопадающих контракционных трещин, развитых в его пределах, показало, что располагаются они в теле плутона вовсе не равномерно. Оказалось, что с глубиной количество пологих трещин резко убывает, при одновременном возрастании крутопадающих,

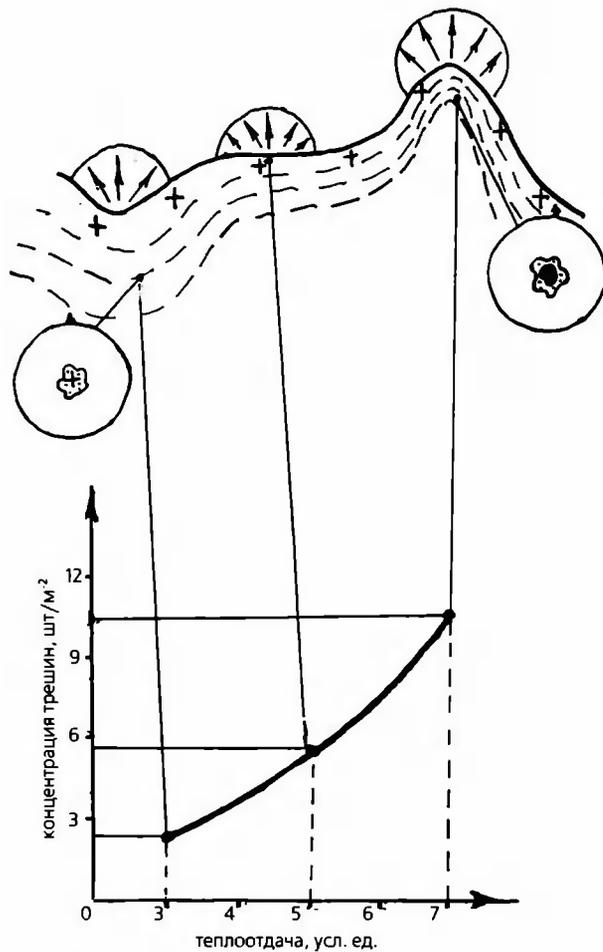
т.е. обстановка растяжения в верхних частях гранитного купола на глубине сменяется более стесненными условиями, где силы сжатия формируют крутопадающие трещины скола. Плотность пологих трещин, образующих плитчатую или матрацевидную отдельность, зависит от морфологии кровли: в куполовидных выступах гранитов количество таких трещин наиболее значительно, а в провисах кровли — минимально. Причина этого — разная скорость теплоотдачи участков. Оценить влияние магматического диапиризма поздних интрузивных фаз на общую трещиноватость плутона мы смогли путем тектонофизического моделирования того же эталонного Караобинского гранитного купола методом конечных элементов и на оптически активных материалах<sup>1</sup>. Использование поляризующегося желатина позволяет установить качественную картину распределения напряжений. Аппроксимация же горного массива с бесконечно большим числом элементов конечным их числом дает возможность с высокой точностью количественно рассчитать перераспределение напряжений. Такое моделирование позволило понять закономерности напряженно-деформи-

рованного состояния над внедряющимся куполом поздних «внутренних» гранитов. Оказалось, что трещины преимущественно возникают над апикальной (верхней) частью «внутренних» гранитов и в местах резких перегибов кровли. Таким образом, мы получили все исходные данные для создания общей модели трещиноватости как в однофазном, так и в многофазном гранит-



Распределение трещин разного типа по глубине: контракционных пологих отрывных (1); крутопадающих сколовых (2) и крутопадающих, связанных с интрузивным давлением «внутренних» гранитов (3).

<sup>1</sup> Белов С. В. // Геотектоника. 1993. №2. С.64–72.



гранит



трещины



диаграммы разноплотных трещин в участках кровли с различной теплоотдачей



секторы теплоотдачи

*Влияние морфологии кровлевой части гранитного массива на образование пологих контракционных трещин отрыва. Повышенная теплоотдача выпуклых кровель способствует возникновению трещин*

ном плутоне. И в обоих случаях срединная его часть была наименее трещиноватой.

Дальнейшее исследование показало, что характер трещиноватости в граните зависит от размеров и формы интрузивного тела. В небольших телах — дайках и штоках — трещины весьма развиты, в лакколитах и лополитах их гораздо меньше, а в крупных батолитах они наиболее редки. И глубина слаботрещиноватой зоны возрастает в том же ряду. Все это важно знать при выборе объектов, наиболее пригодных для разработки облицовочного гранита.

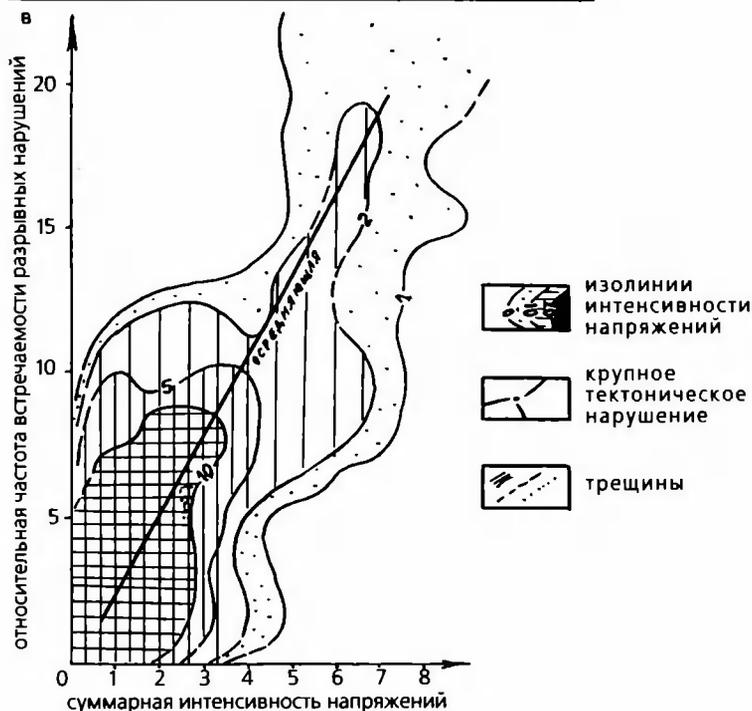
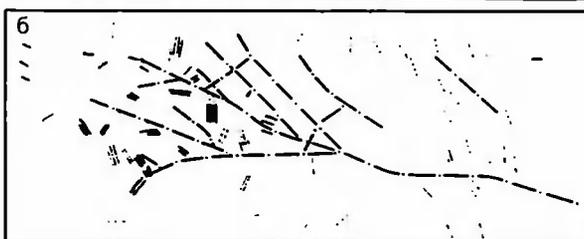
### Что еще влияет на трещиноватость?

«Блочность! Монолитность!» — эти слова постоянно на устах отработчиков облицовочного камня. Чем выше выход блоков и чем больше из них можно выпилить плит, тем успешнее функционирует горнодобывающее предприятие. Острота проблемы заставила компанию «Гранул» (одного из лидеров в сфере облицовочного сырья) совместно с Российским фондом фундаментальных исследований объявить конкурс для решения подобных задач. Выиграв этот грант, мы еще больше углубились в проблему, задавшись вопросом: какие факторы, помимо процессов, связанных с самоорганизацией формирующегося плутона, влияют на трещиноватость?

Фундаментальное свойство геологической среды, как показано работами школы академика М.А.Садовского, — ранговое распределение трещин по размерам и частоте встречаемости. Каждый гранитный плутон с момента образования находится в поле напряжений разных рангов: регионального, локального, частного и микроуровня. Локальный и частный уровни

трещинообразования, связанные с процессами внедрения и остывания массивов, а также с неодинаковой разрядкой термоупругих напряжений в разных участках кровли, необходимо было дополнить изучением как региональных факторов, так и микротрещиноватости. Только так можно создать целостную иерархическую картину исследуемого явления. Опять мы обратились к моделированию, но уже регионального напряженно-деформированного состояния в зоне крупного разлома. Тем самым были определены типовые области — концентраторы напряжений, т.е. участки окончания, пересечения и разветвления разломов, так называемые структуры «конского хвоста», где развивается дополнительная наложенная трещиноватость. Подобные структуры для разработчиков облицовочных гранитов — зло, а для специалистов, занятых поисками жильно-штокерковых месторождений металлов, напротив, — благо. Часто именно эти многочисленные трещины заполнены кварцево-рудным веществом, и именно там концентрируются месторождения<sup>4</sup>.

Полигоном для изучения микротрещиноватости мы выбрали массивы Карельского перешейка, издавна славившиеся прекрасными облицовочными гранитами. Основу исследований составил структурно-петрофизический анализ, разработанный в МГУ Старостиным. С помощью ультразвукового просвечивания ориентированных образцов по разным направлениям выявлялась скрытая микротрещиноватость. Она не видна невооруженным глазом, но весьма коварна: камень, порой совершенно неожиданно, начинает раскалываться при изготовлении плит. Кроме то-

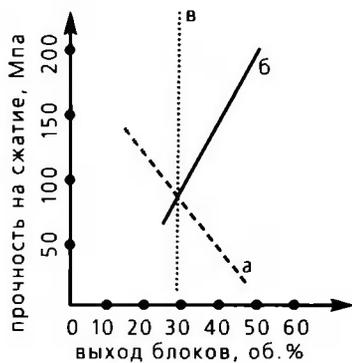


Результаты моделирования методом конечных элементов распределения напряжений (а) и возникающих разрывов типа «конского хвоста» (б). На рисунке (в) показана зависимость частоты встречаемости разрывов от суммарной интенсивности тектонических напряжений, по данным полевых наблюдений.

<sup>4</sup>Белов С.В., Бурмистров А.А.  
// Геотектоника. 1991. №10. С.71—87.



Изучение трещин в гранитных шахтах.



Обусловленный трещиноватостью выход блоков в зависимости от прочности породы для месторождений: мраморов (а), гранитов (б), диабазов (в).

го, зная ориентировку микротрещин, при распиливании блока можно выбрать плоскости наименьшего сопротивления, а тогда и работа идет быстрее, и алмазный инструмент меньше изнашивается. В общем получился классический пример прямой пользы науки для горного бизнеса.

Еще один фактор, влияющий на трещиноватость (и как следствие на блочность), — петрофизические свойства пород, т.е. соотношение их хрупкости и пластичности. Проведя статистический анализ, мы установили, что для разного облицовочного камня существует свой характер зависимости между прочностными свойствами и выходом блоков. Для хрупких гранитов и пластичных мраморов зависимость прямо противоположна. Диабазы же занимают промежуточное положение.

\* \* \*

Комплексные исследования, включавшие геологоструктурное изучение, восстановление древних напряжений, тектонофизическое мо-

делирование, натурные и лабораторные наблюдения, позволили достаточно всесторонне рассмотреть проблему трещинообразования в гранитах как в научно-теоретическом, так и в прикладном аспекте. С давних пор у нас весьма поощряется суждение о научных разработках по тому, что же они дали практике. В нашем случае здесь все в порядке. Применительно к месторождениям металлов, для которых трещины необходимы, итоги наших исследований легли в основу построенных, приведших к приросту прогнозных ресурсов на Урале и в Казахстане. А среди месторождений облицовочного камня на Карельском перешейке мы выделили те, в которых из-за низких напряжений нет многочисленных трещин, которые обычно губят красивые граниты.

Так трещины могут быть и злом, и благом. Все зависит от ситуации.

**Работа выполнена при частичной поддержке Российского фонда фундаментальных исследований. Проект 97-ф-18-37. ■**

# Кризис марсианской программы НАСА

Д.З.Вибе,  
кандидат физико-математических наук  
Институт астрономии РАН  
Москва

Год 1999-й в НАСА еще долго будет вызывать неприятные эмоции. Помимо многочисленных неполадок с ракетами-носителями он оказался отмечен крахом двух крупных марсианских проектов — аппаратов «Mars Climate Orbiter» и «Mars Polar Lander»<sup>1</sup>. Первый аппарат был запущен 11 декабря 1998 г., второй — 3 января 1999 г. Главной задачей «Mars Climate Orbiter» ставилось изучение свойств марсианской атмосферы и климата Красной планеты. Кроме того, он должен был служить ретранслятором для «Mars Polar Lander», которому 3 декабря 1999 г. предстояло совершить посадку в сотне километров от границы южной полярной шапки Марса и провести детальный анализ марсианского грунта. В состав «Polar Lander» были включены также два зонда-пенетратора, которым следовало отделиться от аппарата непосредственно перед его вхождением в атмосферу Марса, упасть на поверхность и углубиться на 1—2 м в толщу грунта.

Планы строились самые радужные. Но Марс в очередной раз подтвердил свою репутацию «бермудского треугольника» Солнечной системы. 23 сентября «Climate Orbiter» приблизился к Марсу. Предполагалось, что он про-

летит на высоте 140 км над поверхностью планеты, затормозится ее атмосферой и перейдет на вытянутую орбиту с высотой в апоцентре около 39 тыс. км. В 10 ч по Всемирному времени аппарат включил двигатель на торможение и через 5 мин скрылся за Марсом — с тем чтобы уже никогда более не выйти на связь.

Причина открылась уже через несколько дней, но поверили в нее далеко не сразу, настолько она оказалась банальной. Инженеры НАСА и компании «Локхид Мартин», изготовившей аппарат, попросту запутались в системах единиц: в «Локхид Мартин» параметры коррекций траектории «Climate Orbiter» рассчитывали в английских единицах (фунтах, футах), а специалисты НАСА полагали, что результаты расчетов передаются им в метрической системе. В результате аппарат оказался на ошибочной траектории, пролетел всего в 60 км от поверхности Марса и сгорел в его атмосфере.

Произошло это вскоре после того, как НАСА с большим трудом удалось избежать существенного сокращения бюджета, поэтому особую важность приобрел успех второй миссии — посадка «Mars Polar Lander». На протяжении двух с лишним месяцев, отделявших ее от гибели «Climate Orbiter», в НАСА подробно разбирали конструкцию второго аппарата, стараясь

учесть все мелочи и застраховаться от всех возможных неожиданностей. Но, увы, вторая часть этого этапа марсианской программы НАСА также закончилась неудачей.

«Mars Polar Lander» должен был осуществить посадку 3 декабря. Программа полета была составлена таким образом, что в самый ответственный момент связь с Землей отсутствовала: аппарат в последний раз сообщил о себе незадолго перед входом в атмосферу, а затем должен был выйти на контакт уже после посадки. Этого сигнала в НАСА ждали не один день, но «Lander» молчал. Лишь один раз антенны дальней космической связи зафиксировали со стороны Марса слабый искусственный сигнал, но при последующем анализе выяснилось, что «Lander» тут скорее всего ни при чем: вероятно, источником сигнала был один из искусственных спутников Земли.

Когда стало ясно, что надежды на установление связи нет, в НАСА создали комиссию по расследованию причин этих крупных неудач. В конце марта были обнародованы ее выводы. По поводу «Climate Orbiter» сомнений практически нет: он пал жертвой путаницы единиц (злые языки говорили об этом запуске как о «самом дорогостоящем способе узнать число сантиметров в дюйме»). А вот с «Mars Polar Lander» ситуация довольно загадочная. Комиссия

<sup>1</sup> Отчеты комиссии НАСА см.: <http://www.nasa.gov/newsinfo/marsreports.html>

действительно обнаружила в его конструкции несколько существенных недостатков, один из которых вполне мог оказаться фатальным. Сигналом на выключение двигателей мягкой посадки должна была послужить вибрация при касании аппарата о грунт. Но датчики вибрации, не в меру чувствительные, могли принять за признак касания вздрагивание аппарата в момент раздвижения посадочных опор, и тогда не исключено, что двигатели выключились преждевременно, на высоте около 40 м, и аппарат врезался в марсианскую поверхность на скорости около 20 м/с. Это могло произойти, однако, лишь в случае, если аппарат вошел в атмосферу. Но сигнала не поступило и от зондов-пенетраторов, которые должны были отделиться от «Mars Polar Lander» еще до входа в атмосферу. К несчастью, никакой телеметрической информации об этой фазе полета аппарат не передавал, что признано комиссией

одним из основных недостатков проекта.

Впрочем, важны не только конкретные причины аварии. Комиссию интересовала сама организация работ в НАСА, приведшая к таким печальным результатам. Главной мишенью для критики стала концепция «быстрее—лучше—дешевле», предложенная в 1992 г. теперешним руководителем НАСА Д.Голдином. В ее основе — замена дорогостоящих комплексных экспедиций, на подготовку которых уходят десятилетия, небольшими, относительно дешевыми аппаратами, предназначенными для решения конкретных научных задач. По мнению комиссии, экономия в космических проектах зашла слишком далеко и стала причиной того, что в НАСА при подготовке марсианских экспедиций отказались от важных испытаний, пренебрегли подготовкой специалистов, отдали предпочтение не более надежным, а более дешевым конструктивным решениям.

Несмотря на столь неблагоприятные заключения, руководство НАСА утверждает, что намерено и впредь придерживаться стратегии «быстрее—лучше—дешевле» и по-прежнему считает исследование Марса приоритетным направлением. Правда, пока агентство отказалось от амбициозных планов отправки автоматических станций к Марсу в каждое его противостояние, кроме того, на неопределенный срок отложен запуск следующего спускаемого аппарата, намеченный первоначально на 2001 г.

Пока же в исследованиях Марса складывается такая ситуация: на околомарсианской орбите уже более года находится автоматическая межпланетная станция «Mars Global Surveyor» (НАСА), на пути к Красной планете японская АМС «Нозоми» (предполагаемая дата полета к Марсу — 2003 г.), в Европе полным ходом идут работы по созданию АМС «Mars Express». ■

### Радиоактивность Монблана

Специалисты Лаборатории гляциологии Гренобльского университета (Франция) измеряли радиоактивность радона (продукта распада природного урана) в снежном покрове горы Монблан и установили, что на вершине горы ее уровень в 80 раз больше, чем в снеге на склонах Альп (Science et Vie. 2000. №993. P.14). Однако эти уровни все равно столь низки, что совершенно безопасны для здоровья. Несравненно большее воздействие на организм оказывают на вершине Монблана ультрафиолетовые и космические лучи.

Вероятнее всего, радоновый газ просачивается через трещи-

ны в гранитных породах, которые содержат небольшие количества урана.

### Розеттский камень - открывает новые тайны

Знаменитый Розеттский камень, найденный французским офицером Бушаром в 1799 г. при сооружении форта Сен-Жюльен в дельте Нила, продолжает привлекать внимание исследователей.

Идентичные надписи на древнеегипетском и древнегреческом языках, высеченные на этой базальтовой плите в 1796 г. до н.э., представляют собой благодарственное обращение египетских жрецов к Птолемею V Епифану. Дешифровать иерог-

лифический текст удалось, как известно, в 1822 г. Ф.Шампольону, положившему начало изучению египетского иероглифического письма.

К 200-летию юбилею находки Розеттского камня Р.Паркинсон организовал в Британском музее (Лондон) экспозицию. Как бы вознаграждая его за труды, камень открыл ему новый секрет (Terre Sauvage. 1999. №145. P.22). В ходе проведения работ по консервации скальной основы (вырубок под иероглифы) был обнаружен розовый пигмент, который позволяет читать текст при полусвете. Если будет доказан древний возраст пигмента, это позволит заключить, что камень находился во внутренних помещениях дворца Птолемея и был предназначен жрецам.

# Ртуть в водоемах: превращения и токсичность

Д.М.Жилин, И.В.Перминова

**П**орожденные деятельностью человека ксенобиотики, загрязняя окружающую среду, нарушают жизнедеятельность и отдельных организмов, и целых экосистем. Как оценить опасность того или иного вещества, что может служить критерием, превышение которого представляет реальную угрозу для экосистемы? Разработкой таких критериев занимаются во всем мире, уже созданы целые системы оценок экологической опасности химических соединений.

Давно существует одна из подобных систем и в нашей стране. Это предельно допустимые концентрации (ПДК) веществ-загрязнителей в природной среде — воде, воздухе, почве. Устанавливаются такие концентрации, исходя из токсичности чистых индивидуальных веществ. Но в реальных экосистемах подавляющее большинство химических токсикантов вступает в многочисленные взаимодействия, поглощается организмами, сорбируется на взвешенных частицах и претерпевает другие превращения. В результате токсичность может как повыситься, так и понизиться. А следовательно, и минималь-

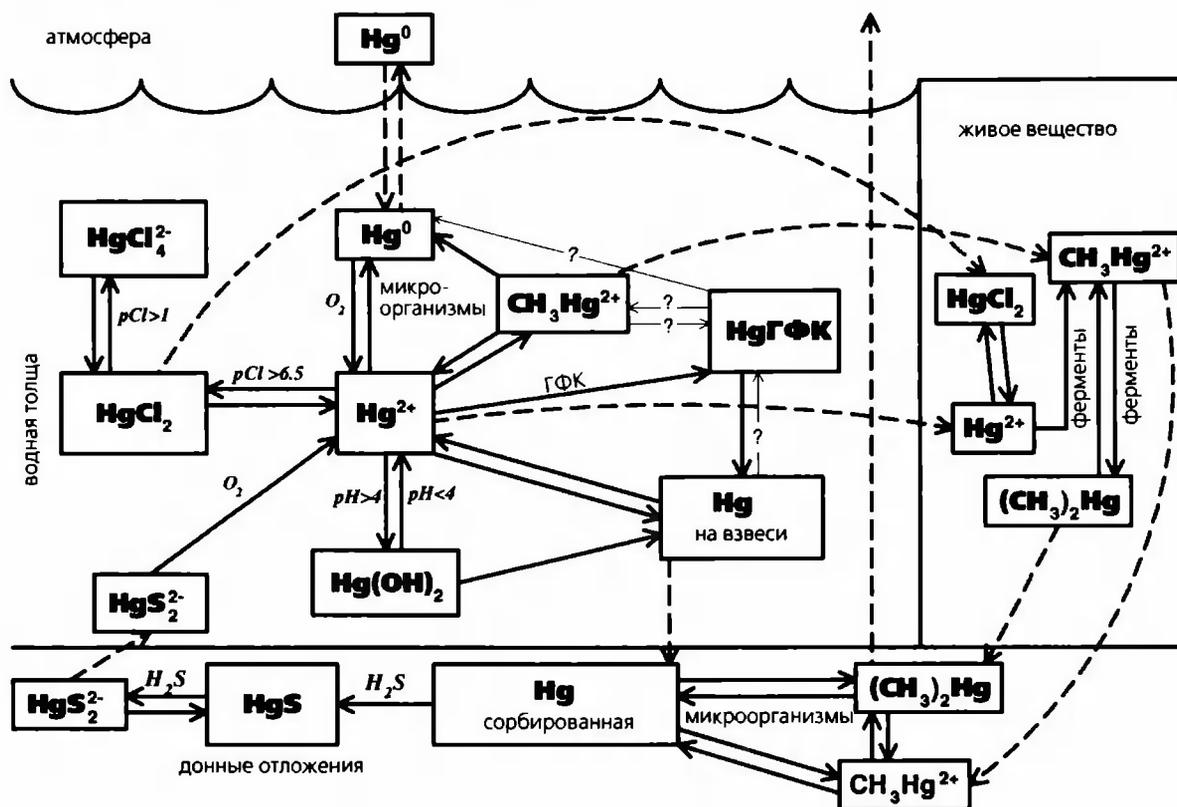


*Денис Михайлович Жилин, кандидат химических наук, сотрудник химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова. Область научных интересов — химические превращения токсикантов в окружающей среде.*



*Ирина Васильевна Перминова, кандидат химических наук, старший научный сотрудник того же факультета. Занимается разработкой количественных методов исследования гумусовых кислот, чтобы установить связь между их строением и способностью связывать различные токсиканты.*

© Д.М.Жилин, И.В.Перминова



Формы существования двухвалентной ртути в водных экосистемах. Сплошными стрелками обозначены переходы между соединениями, штриховыми — миграция между компонентами экосистемы, знаками вопроса — недоказанные переходы.

ное количество вещества, вызывающее нарушения в экосистеме, будет существенно отличаться от ПДК.

Значит, для расчета вредного воздействия экотоксиканта не обойтись без учета его превращений и преобладающих форм существования в водной, воздушной и почвенной средах. Мы попытались экспериментально выявить, в каких соединениях находится двухвалентная ртуть, попавшая в толщу вод, и чем определяется токсичность ртутных соединений — одних из опасных загрязнителей экосистем. О результатах наших опытов и пойдет речь.

### Формы существования ртути

В водной толще могут существовать элементарная ртуть, ее неорганические и органические соединения, причем как в растворенном состоянии, так и в сорбированном на различных твердых частицах.

В превращениях ртути основную роль играет ион  $Hg^{2+}$ , хотя его концентрация в свободной форме, как правило, крайне низка. В отличие от катионов большинства других металлов ион  $Hg^{2+}$  устойчив только в сильно кислой среде ( $pH < 3$ ). Поскольку природные воды обычно имеют нейтральную, слабосильную или

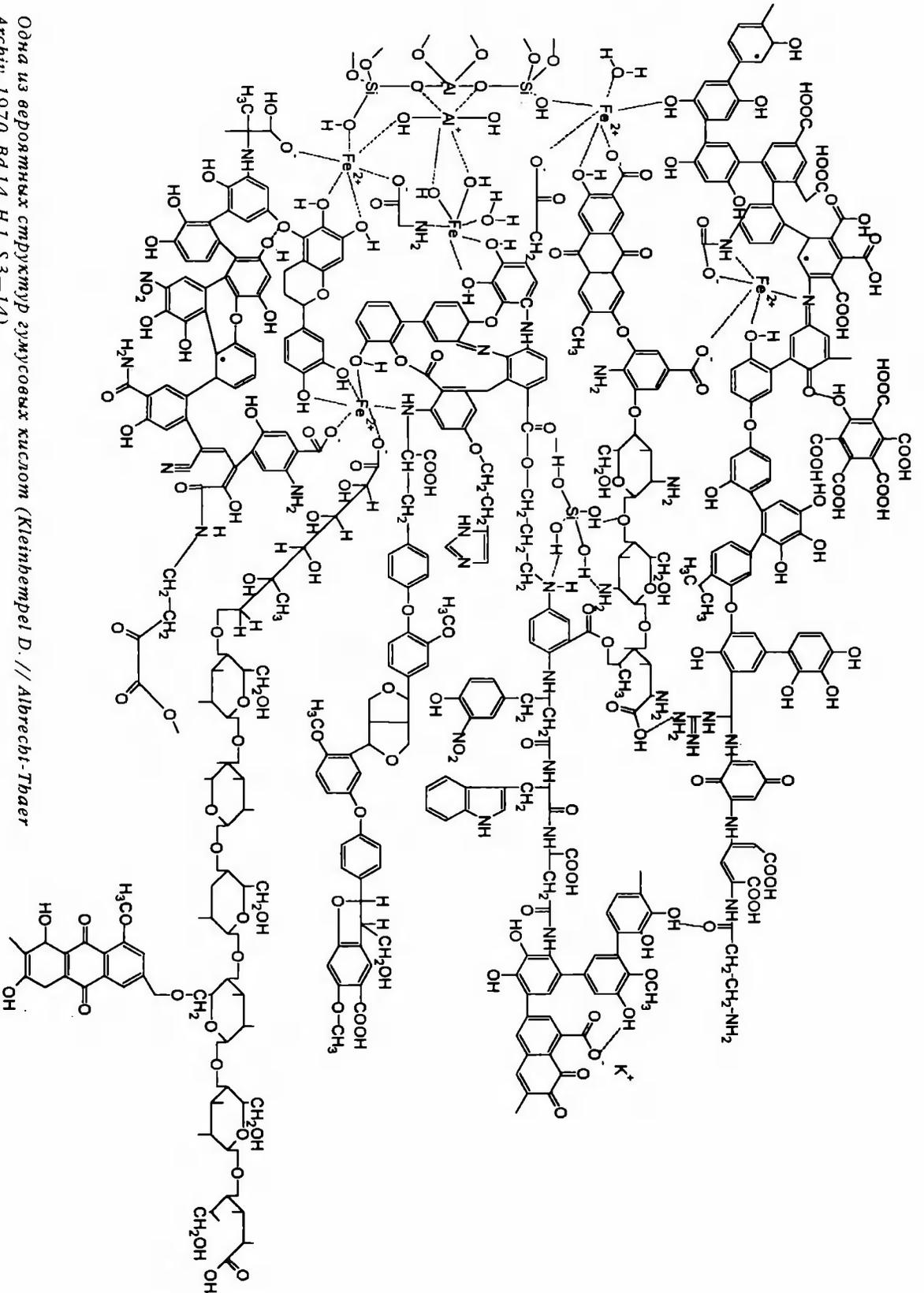
слабощелочную реакцию, он почти полностью (правда, обратимо) гидролизует с образованием электронейтрального гидроксида  $Hg(OH)_2$ .



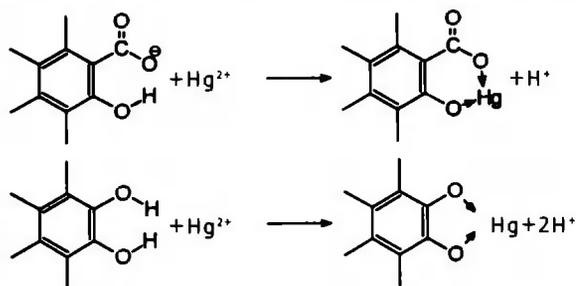
устойчивого только в очень разбавленных растворах. При высоких концентрациях ртути, на много порядков превышающих природные, это нестабильное соединение превращается в нерастворимый оксид:



Гораздо легче этот процесс протекает в присутствии твер-



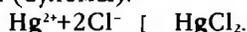
Одна из вероятных структур гумусовых кислот (Клейнбергер Д. // Альберс-Твагер Архив. 1970. Вд.14. Н.1. С.3—14).



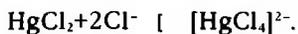
Связывание иона ртути салицилатными (вверху) и пирокатехиновыми фрагментами гумусовых кислот.

дых частиц: гидроксид сорбируется на них, и начинается кристаллизация оксида. Заметим, сорбция гидроксида на взвешенных частицах гораздо эффективнее, чем других форм ртути.

Кроме реакции гидролиза,  $Hg^{2+}$  может вступать во взаимодействие с ионами хлора, постоянными компонентами природной воды, и, если их содержание невелико, образовывать прочные электронейтральные молекулы хлорной ртути (сулемы):



Однако при высоких концентрациях  $Cl^-$  (например, в морской воде) хлорная ртуть продолжает взаимодействовать с этими ионами и появляется комплексный анион тетрахлормеркурата:



В природных водах присутствуют не только ионы хлора, но и еще один компонент, способный связывать  $Hg^{2+}$ . Это — гумусовые кислоты, весьма своеобразные вещества, время жизни которых исчисляется сотнями и тысячами лет. Именно эти кислоты окрашивают почвы и речные воды в коричневый цвет, а образуются они за счет разложе-

ния органических остатков, благодаря чему синтезируются многочисленные продукты случайных реакций. Естественный отбор наиболее устойчивых продуктов и определяет структуру гумусовых кислот, на первый взгляд хаотичную. Можно даже утверждать, что среди них не существует двух одинаковых молекул. Тем не менее их структурам присущи некоторые внутренние закономерности. Так, все гумусовые макромолекулы содержат ароматический углеродный скелет, обогащенный функциональными группами и алкильными радикалами; периферическую часть из углеводно-пептидных фрагментов и минеральную компоненту.

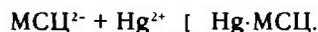
Общепринятый язык структурных формул мало подходит для гумусовых кислот. Их структурная формула — это некая «средняя молекула», которая в той или иной мере отражает химические свойства. Но даже и такие формулы разные авторы описывают по-своему.

Как бы то ни было, в составе гумусовых макромолекул имеются салицилатные, пирокатехиновые и другие фрагменты, способные прочно связывать ионы металлов с об-

разованием комплексных соединений — гуматов. Нередко именно за счет этого процесса в природных водах снижается токсичность тяжелых металлов, так как их гуматы не усваиваются организмами. К сожалению, столь ценное свойство гумусовых кислот весьма затруднительно описать количественно, а значит, и рассчитать снижение токсического действия металла в водной экосистеме.

Из-за отсутствия единой структурной формулы гумусовых кислот невозможно даже строго записать уравнение их реакции с ионами тяжелых металлов, стехиометрические коэффициенты будут различаться. Чтобы выйти из этого положения, гумусовую макромолекулу рассматривают в виде совокупности металлсвязывающих центров (МСЦ).

Тогда, зная их содержание, можно рассчитать константу равновесия, которая и будет представлять собой константу устойчивости гумата. Например, уравнение реакции с ионом ртути выглядит так:



По нашим данным, содержание ртутьсвязывающих центров в гумусовых кислотах различного происхождения колеблется от 0,9 до 3 ммоль/г (для пресных вод — в среднем 2,5 ммоль/г), а величины условных констант устойчивости гуматов ртути в нейтральной среде (т.е. без учета возможного протонирования металлсвязывающих центров) составляют  $10^{14} - 10^{14,8}$ .

Подытожим. В природных водоемах ртуть может существовать в виде нескольких растворимых соединений: неорганических —  $Hg(OH)_2$ ,  $HgCl_2$  и  $[HgCl_4]^{2-}$  — и органических (гуматов). Чтобы оценить общую токсичность ртути, нужно определить концентрацию и токсичность каждой формы.

## Токсичность растворимых форм в экспериментах

Условимся для простоты понимания называть ионы  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{OH}^-$  и гумусовые кислоты лигандами, а малодиссоциируемые растворимые формы ртути, т.е.  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ ,  $\text{HgCl}_2$ ,  $[\text{HgCl}_4]^{2-}$  и гуматы — комплексами. Если в растворе присутствует несколько лигандов (как в природных водах), то образуется смесь комплексов. Распределение в них ртути удобно описывать в виде мольной доли ( $\alpha$ ) каждого комплекса, которая рассчитывается, исходя из концентраций лигандов и констант устойчивости ( $\beta$ ) всех форм. Например, мольная доля сулемы  $\text{HgCl}_2$  определяется по формуле:

$$\alpha(\text{HgCl}_2) = \frac{\beta(\text{HgCl}_2) \cdot [\text{Cl}^-]^2}{1 + \beta(\text{HgCl}_2) \cdot [\text{Cl}^-]^2 + \beta(\text{HgCl}_4^{2-}) \cdot [\text{Cl}^-]^4 + \beta(\text{Hg}(\text{OH})_2) \cdot [\text{OH}^-]^2 + \beta(\text{Hg} \cdot \text{МСЦ}) \cdot [\text{МСЦ}]}$$

(квадратными скобками обозначена молярная концентрация лигандов в растворе).

Заменив в числителе произведение  $\beta(\text{HgCl}_2) \cdot [\text{Cl}^-]^2$ , скажем, на четвертое слагаемое знаменателя, получим мольную долю гидроксида. Так как константы устойчивости — табличные величины из «Справочника по аналитической химии» (Ю.Ю. Лурье, 1988), а концентрации лигандов устанавливаются обычным химическим анализом, определить долю каждого токсиканта совсем не трудно. Абсолютную концентрацию любого из них можно рассчитать, зная общую концентрацию ртути  $\text{C}(\text{Hg})$  и мольную долю соответствующей формы:

$$[\text{HgCl}_2] = \alpha(\text{HgCl}_2) \cdot \text{C}(\text{Hg}).$$

Мы изучали токсичность гидроксида и хлорида ртути

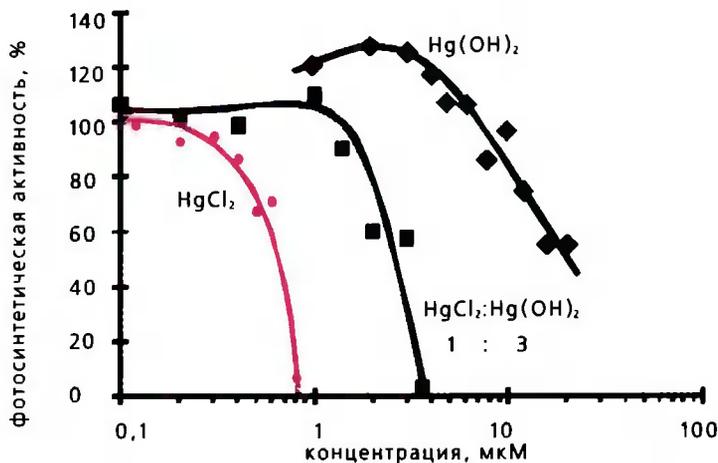
по фотосинтетической активности зеленой одноклеточной водоросли *Chlorella pyrenoidosa* и выяснили, что концентрация  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , вызывающая гибель 50% популяции водоросли (этот показатель принято обозначать как  $\text{ЛК}_{50}$ ), в 20 раз превышает  $\text{ЛК}_{50}$  для  $\text{HgCl}_2$ . Иными словами, токсичность гидроксида во столько же раз меньше, чем хлорида ртути. Если в среде присутствуют оба соединения, токсичность ртути определяется более ядовитым хлоридом.

Влияние тетрамеркурата мы не исследовали, однако, судя по нашим и литературным данным, анионные формы ртути практически не поглощаются водорослью и не оказывают на нее токсического действия.

Гуматы ртути вплоть до концентрации 50 мкМ  $\text{Hg}/\text{л}$  (20 тыс. ПДК) в экспериментах никак не сказывались на фотосинтетической активности хлореллы. Поэтому мы предположили, что если в водной среде, загрязненной рту-

тью, одновременно содержатся и ионы хлора, и гумусовые кислоты, токсичность можно рассчитать по ее распределению в двух формах — ядовитой сулеме и безвредных гуматах. Для таких расчетов нужна лишь зависимость токсического действия  $\text{HgCl}_2$ , а ее мы уже установили. Сопоставив токсический эффект, найденный экспериментально и расчетным методом, мы заметили довольно хорошее совпадение этих данных между собой. Некоторые расхождения результатов, вероятно, связаны с неточностями определения констант устойчивости гуматов и изменчивостью чувствительности водоросли к сулеме. Аналогичные результаты были получены и для гидроксида ртути.

Итак, в экспериментах гумусовые кислоты заметно снижают токсичность ртути, переводя ее в гуматы, а ионы хлора — повышают. Логично предположить, что так же действуют оба фактора и в природных водах.



*Токсическое действие хлорида и гидроксида ртути на фотосинтетическую активность хлореллы. При наличии в среде первого соединения фотосинтез клеток водоросли прекращается уже при концентрации ртути менее 1 мкМ, но гидроксидам этот процесс лишь угнетается (примерно вдвое), даже если содержание  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  достигает 20 мкМ. В присутствии обоих соединений токсичность определяется сулемой.*

## Токсичность ртути в водоемах

Экологическую опасность ртути в природных водоемах мы определяли не прямо, а косвенно, воспользовавшись результатами своих экспериментов по влиянию сулемы и гидроксида ртути на хлореллу, а также цветностью вод и концентрациями ионов  $\text{OH}^-$  и  $\text{Cl}^-$ .

Мы уже упоминали, что токсичность ртути зависит от ее общей концентрации, распределения по формам существования и их ядовитости для организма. Для расчета распределения нужно знать концентрацию ионов  $\text{OH}^-$ ,  $\text{Cl}^-$  и металлсвязывающих центров гумусовых кислот.

Чтобы получить первый параметр, достаточно измерить pH воды, поскольку  $[\text{OH}^-] = 10^{14-\text{pH}}$ . Содержание ионов хлора определяется легко. Что касается концентрации металлсвязывающих центров, то она устанавливается по цветности воды. Но сначала нужно найти соответствие между шкалой цветности и содержанием гумусовых кислот. Мы приняли, что 1 градус цветности соответствует 0.33 мг гумусовых кислот, содержащихся в литре воды, а 1 г этих кислот связывает 2.5 ммоль ртути.

Указанные параметры (pH, концентрация хлоридов и цветность), необходимые для расчета распределения

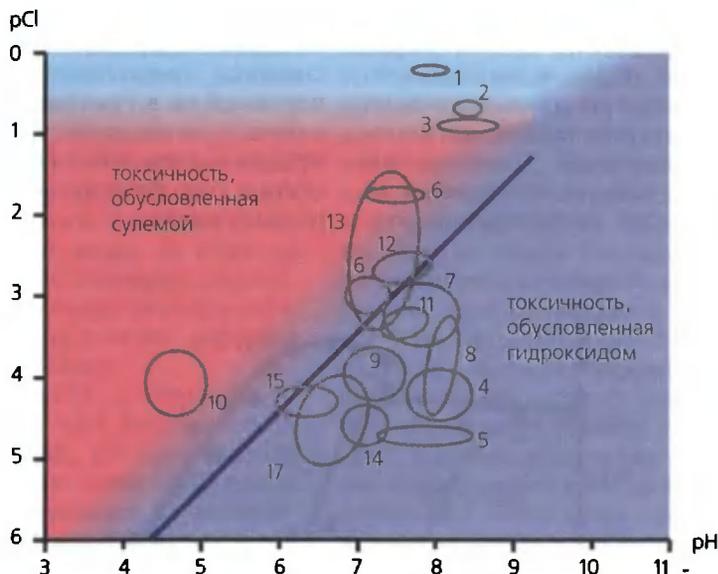
ртути по формам, определяются на всех станциях мониторинга состояния природных вод и сводятся в Государственный водный кадастр.

Сначала мы построили диаграмму распределения ртути между ее хлоридными и гидроксокомплексами в зависимости от pH и pCl (отрицательных логарифмов молярной концентрации ионов  $\text{H}^+$  и  $\text{Cl}^-$  соответственно), а потом нанесли на нее эти же показатели, характерные для 17 разных водоемов и взятые из Государственного водного кадастра. Образование гуматов ртути при этом не учитывалось, так как соотношение  $\text{HgCl}_2$  и  $\text{Hg}(\text{OH})_2$  от концентрации гумусовых кислот не зависит.

В водоемах с низким содержанием  $\text{Cl}^-$  (а таких большинство), судя по расчетам, преобладает гидроксид ртути. В морских и океанских водах, где концентрация ионов  $\text{Cl}^-$  велика, ртуть находится преимущественно в форме аниона  $[\text{HgCl}_4]^{2-}$ . И наконец, в водах с относительно высоким уровнем хлоридов и низким pH содержится в основном  $\text{HgCl}_2$ .

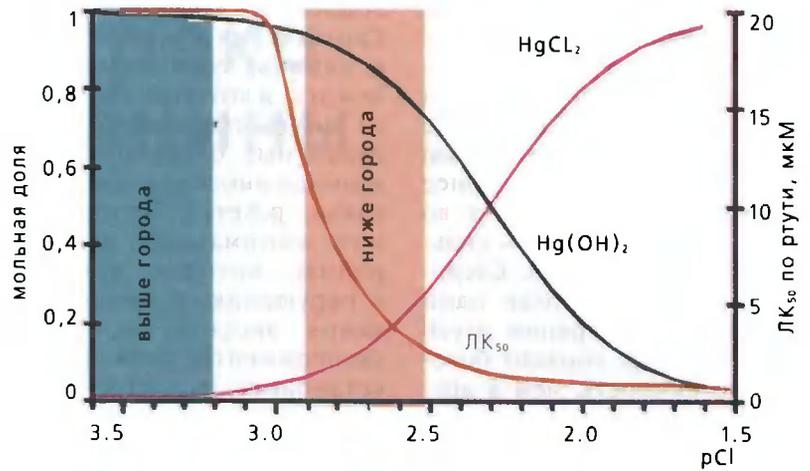
Как уже было сказано, это соединение примерно в 20 раз токсичнее по отношению к водоросли, чем  $\text{Hg}(\text{OH})_2$ , а значит, именно оно будет определять токсичность ртути в тех водоемах, где соотношение концентраций сулемы и гидроксида ртути превышает 1/20. В водах же с невысоким уровнем  $\text{Cl}^-$  экологически опасным становится гидроксид.

Заметим, что pH и pCl — величины непостоянные даже для одного и того же водоема в разные сезоны года. Наибольшие колебания бывают в реках с высоким весенним паводком и низкой летней меженью (например, р. Чулым), наименьшие — характерны для озер. А поскольку с химическим составом воды связано преобладание той или иной

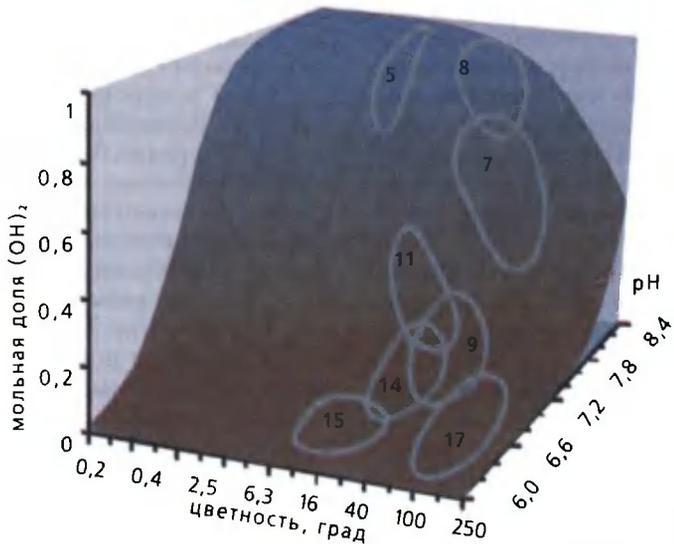
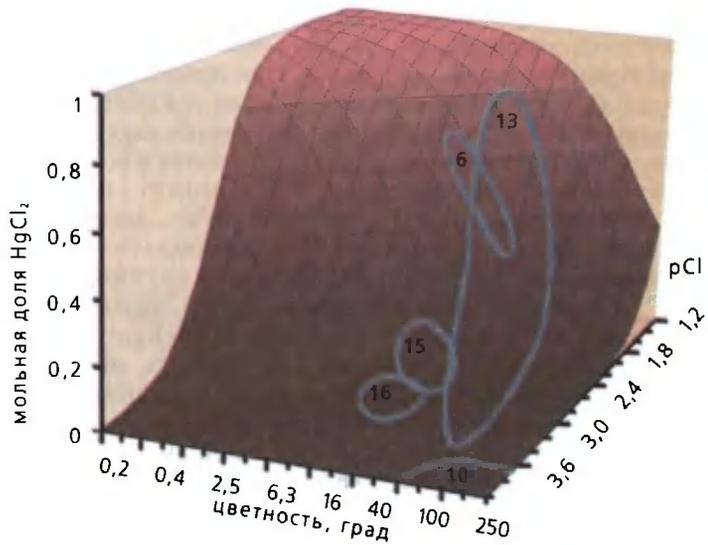


*Распределение хлорида и гидроксида ртути в водоемах в зависимости от величин pCl и pH. 1 — Мировой океан; 2 — Азовское море; 3 — оз. Большие Чаны (Новосибирская обл.); 4 — Волга в верхнем течении; 5 — Байкал; 6 — оз. Сартлан (Новосибирская обл.); 7 — реки Черноземья; 8 — Кубань и другие реки северного склона Кавказа; 9 — Обь ниже Новосибирска; 10 — болотные озера Вязевской возвышенности; 11, 12 — Москва-река: выше городской черты (11) и ниже (12); 13 — реки Чулым и Каргат; 14 — оз. Телецкое; 15 — реки Забайкалья; 16 — р. Тула в черте Новосибирска; 17 — р. Кеть. В водах с высоким содержанием ионов хлора ртуть находится в виде малотоксичного тетрахлормеркураата; при низкой концентрации этих ионов преобладает умеренно токсичный гидроксид ртути, а в водоемах с промежуточными величинами pCl — ядовитая сулема.*

Изменение концентраций хлорида и гидроксида ртути в Москве-реке. В ее водах, проходящих через город, увеличивается содержание ионов хлора и в результате наряду с гидроксидом ртути образуется некоторое количество сулемы. Судя по приведенной на графике кривой  $LK_{50}$  (рассчитанной по фотосинтетической активности хлореллы), токсичность речной воды при этом возрастает примерно в 10 раз.



Влияние гумусовых кислот на концентрацию (указана в мольных долях) хлорида и гидроксида ртути в водоемах. Содержание гумусовых кислот выражено в градусах цветности вод (шкала логарифмическая); влияние кислот на  $HgCl_2$  (вверху) приведено при разных значениях  $pCl$ , на  $Hg(OH)_2$  — при разных величинах  $pH$ . Мольные доли этих соединений в присутствии гумусовых кислот уменьшаются, так как последние вступают в реакцию и с хлоридом, и с гидроксидом ртути и переводят их в безвредные гуматы. Нумерация водоемов та же, что на рисунке, помещенном на предыдущей странице.



формы ртути, то и токсичность может быть обусловлена разными ртутными соединениями. Например во время весеннего паводка в Чулыме она с большой вероятностью будет определяться менее опасным гидроксидом, а во время летней межени — сильно ядовитой сулемой. Следовательно, в этой реке одни и те же концентрации ртути летом проявят гораздо большую токсичность, чем в другое время года. Более того, если судить по экспериментам с хлореллой, токсичность ртути в водоемах с высоким pH будет на порядок меньше, чем с высоким содержанием ионов  $Cl^-$ .

К сожалению, человек усугубляет действие ртути, загрязняя воды хлоридами, особенно в больших городах. Так, по данным Государственного водного кадастра, концентрация  $Cl^-$  в Москве-реке ниже черты столицы (возле Мячкова) в три—пять раз больше, чем около Звенигорода, находящегося выше по течению реки. Это приводит к тому, что перед Москвой в водах реки преобладает гидроксид, а за городом — хлорид ртути. В результате даже при неизменном количестве ртути токсичность ее отличается в несколько раз.

Практически во всех водоемах (даже с невысокой цветностью) гумусовые кислоты в равной мере снижают концентрацию как  $Hg(OH)_2$ , так и  $HgCl_2$ , связывая их в гуматы. В результате пропорционально уменьшается и опасность каждой формы. В зависимости от содержания гумусовых кислот разница в токсичности ртути в водоемах может составлять один-два порядка. Естественно, что загрязнение ртутью низкоцветных

водоемов (например, оз. Сартлан, рек Чулым и Каргат в межень) гораздо опаснее, чем тех, в которых содержится много гумусовых кислот (болотные озера Вязевской возвышенности, реки Забайкалья, р.Кеть). Чтобы оценить минимальную концентрацию, которая приводит к нарушению функционирования экосистемы, нужны эксперименты, позволяющие установить различие в токсичности  $HgCl_2$  и  $Hg(OH)_2$  для всех организмов водоема, а не только для упомянутой водоросли.

Мы рассмотрели изменения токсичности ртути только за счет ее немногих химических превращений в водоемах. Однако ими отнюдь не исчерпываются реакции, в которые вступает двухвалентная ртуть, попавшая в водную толщу. Ртуть может, например, подвергаться метилированию, в результате которого образуются крайне токсичные моно- и диметилртуть. Для точной оценки токсичности нужно знать многое: количественные характеристики сорбции разных форм ртути на взвешенных частицах; действие каждого ртутного соединения на организмы всех трофических уровней, а не только первого, к которому относится использованная в наших экспериментах хлорелла; пути миграции ртутных загрязнителей по пищевой цепи в экосистеме; способность накапливаться в каких-либо организмах. Мы заметили в опытах, что клетки хлореллы накапливают гидроксид значительно сильнее, чем превосходящую его по токсичности сулему. При низком содержании в воде хлоридов он может попасть в организмы более высокого тро-

фического уровня, питающихся водорослью, и погубить даже хищников — венец трофической пирамиды. Но этот путь может прерваться, если первичные поглотители ртутных соединений погибают от их токсического воздействия. В таком случае ртуть окажется в донных отложениях, и ее опасность для других видов, обитающих в водной толще, уменьшится. Не исключено также восстановление ртути организмами до элементарной, пары которой выводятся в атмосферу. Это явление мы наблюдали в экспериментах.

Итак, формы существования двухвалентной ртути в водной среде, обусловленные химическими превращениями, многообразны, неодинаковы и токсичность ртутных загрязнителей для организмов. Наши опыты не претендуют на полноту, необходимую для того, чтобы найти количественный критерий экологической опасности токсиканта в любой экосистеме. Каждая из них уникальна, и потому единого критерия, подобного тому, которым считается предельно допустимая концентрация, быть не может. И все же поведение токсиканта в той или иной экосистеме, исходя из ее свойств, подчиняется основным закономерностям. Их учет помог бы предотвратить пагубное действие загрязнителя на биоту. Как нам кажется, для ртутных форм мы нашли некоторые закономерности.

**Работа выполнена при поддержке Международного научного фонда (проекты NBN000, NBN300), Российского фонда фундаментальных исследований (проект 96-04-43838) и Фонда Роберта Хавеманна. ■**

# Подземная река Русской равнины

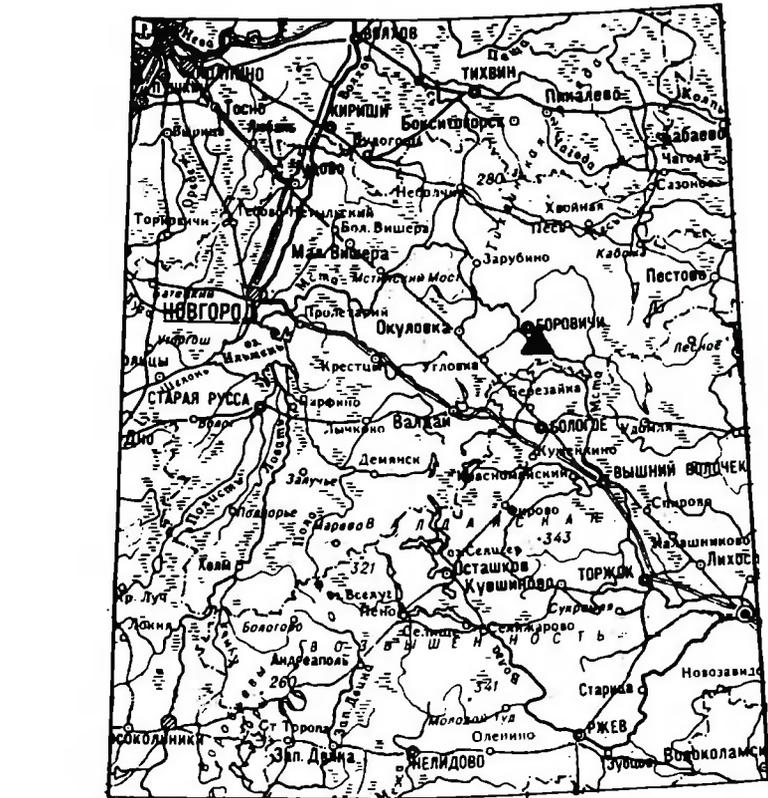
Заметки и наблюдения

В.В.Коршунов, Ф.С.Котов, А.В.Полещук

Московский государственный университет им.М.В.Ломоносова

Не перестает поражать нас своими чудесами как будто давно изученная природа Русской равнины. Вот и на Новгородской земле, освоенной человеком тысячелетия назад, существует удивительное место. Казалось бы, что может быть особенного в долине обычной равнинной реки Мсты, протекающей на севере Валдайской возвышенности. Однако вода одного из ее притоков не только уходит под землю, но и продолжает течь по сложной гидрологической системе под поверхностью на протяжении полутора километров. Речка Понеретка, не превышающая в ширину 3 м, внезапно «ныряет» под землю в районе автомобильной трассы Боровичи—Великий порог. Обнаруживается она уже в непосредственной близости от русла Мсты, в подножии высокого обрыва, изливаясь из небольшой пещеры и ниспадая причудливым каскадом.

Глубоким, десятиметровым каньоном рассекает Мста Валдайскую возвышенность в окрестностях Боровичей. Река обладает столь стремительным течением, что не покрывается льдом даже в самые су-



Север Валдайской возвышенности. Треугольником отмечен район работы экспедиции.

ровые морозы. Формы рельефа дополняют иллюзию типично горного ландшафта. Удивительным образом в русле Мсты вырастают пороги, напротив устья Понеретки.

Практически каждая река живет двойной жизнью. Одна из них — поверхностная, открывается нам в виде текущих вод, которые заключены в русло. Другая — скрытная, связан-



*Река Мста в окрестностях г.Боровичи. Берега сложены известняками каменноугольного возраста.*

*Здесь и далее фото В.В.Коршунова*



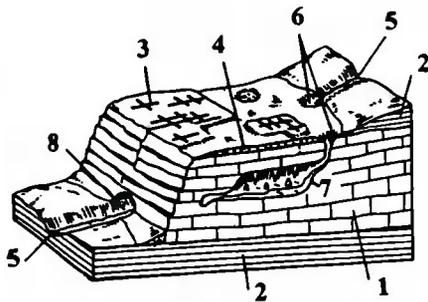
*Пороги Мсты в месте впадения Понеретки.*



*Приустьевая часть Понеретки в 10 м от впадения в Мсту. Вход в пещеру.*



*Центральная галерея пещеры.*



Схема, поясняющая механизм карстообразования (Бредшоу М. Дж., 1977, с дополнениями). 1 — известняки (подвержены карсту), 2 — глины (не подвержены растворению), подстилающие и покрывающие известняки, 3 — первичная трещиноватость пород, 4 — почвенный покров, 5 — ложбина стока поверхностных текучих вод, 6 — карстовые воронки с понорами, 7 — карстовая пещера, 8 — известковые туфы.

ная с водами, циркулирующими под землей. Инфильтрационными струями просачиваются они через пористые и трещиноватые породы. Известны случаи, когда весь поверхностный сток реки уходит под землю, формируя мощные грунтовые потоки. Образование же подземных русел, как у Понеретки, — уникально.

Известно много примеров существования подземных рек, но большинство из них размещается в горной местности. Встречаются немногочисленные упоминания о таких реках и для Русской равнины. В Тверской обл. Паникля (приток Межи) течет под землей более 3 км. Исследователь карста Русской платформы А.Г.Чикишев говорит о существовании суходолов<sup>1</sup> у рек Рагуши, Левинки, Черенки на Валдайской возвышенности; Тургаевки, Аспы, Судинки, Кишеветки, Сединки — в Приволжье<sup>2</sup>. Он же отмечает факт ухода Паниковки под землю на дне крупной карстовой воронки (Приокско-Террасный заповедник). Н.П.Торсуев, описывая подобные реки Беломоро-Кулойского плато, называет Келду, Ваймугу, Вополку и др.<sup>3</sup> Исчезновение

всех этих рек обусловлено карстом<sup>4</sup>.

Карст — совокупность явлений, связанных с растворением природными водами горных пород и образованием в них пещер<sup>5</sup>, провалов, воронок, поноров, карров и др.<sup>6</sup> Для его возникновения необходимы не только предрасположенность пород к растворению, но и наличие трещин, и активная подземная миграция вод. Умеренный климат Русской равнины способствует развитию карста. Дождевые воды поглощают из атмосферы различные газы ( $O_2$ ,  $CO_2$ ); достигнув поверхности земли, они вбирают в себя находящиеся в почве органические кислоты и приобретают способность разрушать некоторые горные породы. Растворение наиболее активно происходит вдоль трещин — зон активной миграции вод. Трещины постепенно расширяются. Наверху образуются карстовые воронки, а под землей — каверны и пещеры. В результате поверхностный сток рек направляется по подземным гидросистемам. В тальвегах балок и оврагов, на дне карстовых воронок располагаются поно-

ры. При обрушении покровных отложений в карстовые полости возникают воронки проседания.

Среди горных пород, подверженных карсту, выделяются галогенные (галит и сильвин), сульфатные (гипс и ангидрит), карбонатные (известняк, доломит, мел). Наиболее трудно растворимые из них — карбонатные. Река Понеретка выработала приустьевую часть своего русла именно в карбонатных породах, образовав большую пещеру.

Пещера Понеретка — единственная крупная естественная пещера средней полосы России — расположена в среднем течении Мсты, в районе так называемого карбонового глинта, протяженного уступа, сложенного известняками каменноугольной системы, «бронированными» Валдайскую возвышенность. Вход в пещеру находится на левом берегу Мсты, примерно в 3 км выше с.Ровное, напротив знаменитых мстинских порохов. Заложена она в органогенных известняках визейского и серпуховского ярусов, на глубине от 8 до 15 м. Место там очень живописное: сосново-березовые леса с интенсивно изрезанным рельефом, в обрывистых оврагах нередко гроты и даже карстовые арки.

Чикишев, описывая карст Русской равнины, выделяет Шегринско-Березайский район, расположенный в среднем течении Мсты, между ее левыми притоками — Шегринкой

<sup>1</sup> Осушенные русла реки.

<sup>2</sup> Чикишев А. Г. Проблема изучения карста Русской равнины. М., 1979.

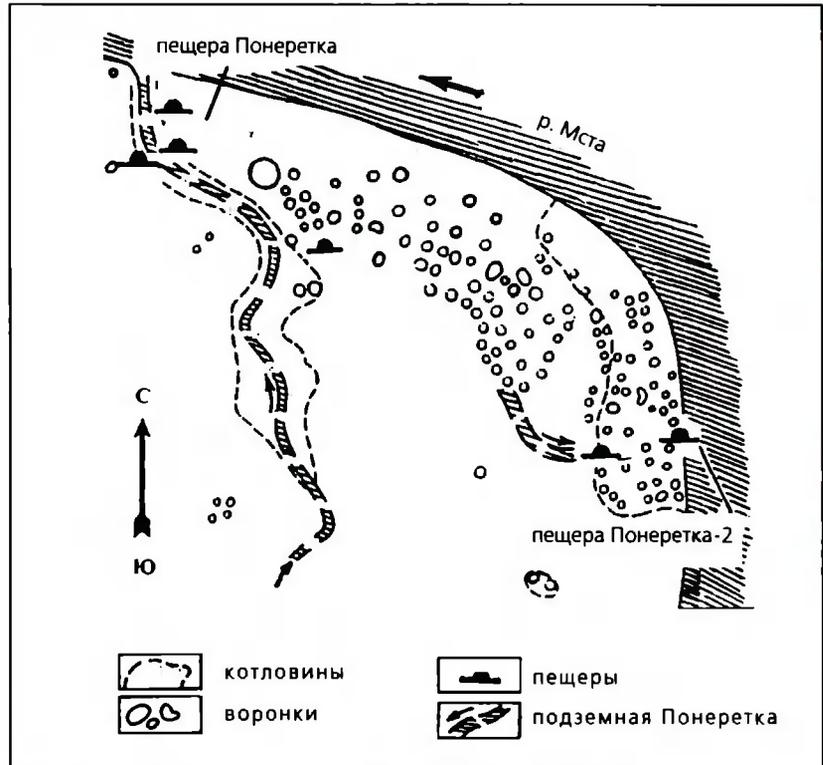
<sup>3</sup> Торсуев Н. П. Факторы, обуславливающие местоположение карстовых исчезающих рек Русской равнины // Карст равнин. Террит. европейской части СССР. Казань, 1974.

<sup>4</sup> По имени известнякового плато Карст, расположенного к северу от п-ова Истрия в Хорватии.

<sup>5</sup> На территории бывшего СССР было обнаружено более 4000 карстовых пещер. Самая протяженная — Оптимистическая (109 км) на Украине, самая глубокая — Снежная (700 м) на Кавказе.

<sup>6</sup> Карры — система гребешков и выступов, разделенных причудливо ветвящимися бороздками. Поноры — отверстия, поглощающие воду и отводящие ее в глубину.

Схема распространения карстовых форм в приустьевой части Понеретки (Чикишев А.Г., 1979, с дополнениями).



Заметки и наблюдения

и Березайкой. Повествуя о многочисленных проявлениях карстовых форм (каверн, подземных полостей, воронок, котловин и пещер), исследователь упоминает Марьинский участок, в который попадает р.Понеретка. Здесь на площади 0.28 км<sup>2</sup> закартировано 144 карстовые воронки и 7 пещер. В устьевой части реки располагается котловина глубиной 15, длиной 300 и шириной 150 м.

Примерно в полутора километрах юго-юго-западнее устья или входа в пещеру Понеретка ныряет под землю через непроходимые для человека карстовые воронки и поноры. Появляется она затем в пещере. В 100 м выше по течению Мсты находится узкий вход в сравнительно небольшую (около 300 м) пещеру Понеретка-2, которая представляет собой часть той же гидросистемы и вплотную подходит к главной пещере, но отделена от нее рядом заполненных водой щелей в монолитном известняке. Протя-

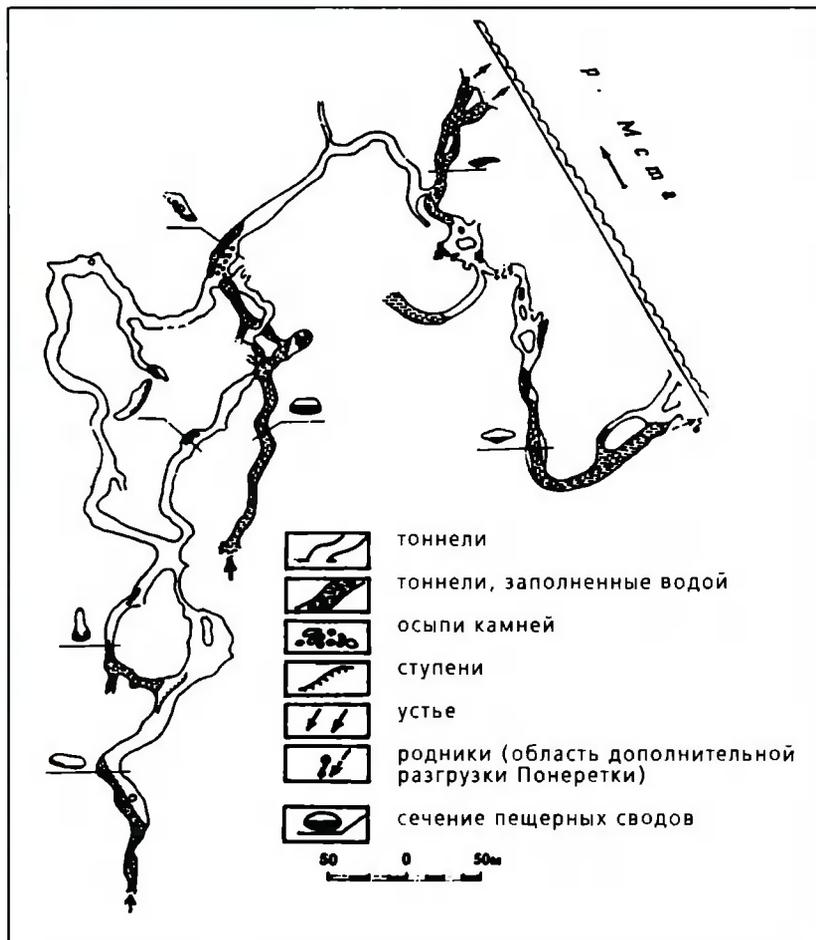
женность пещерной системы, по данным петербургских спелеологов, 1410 м, реальная же протяженность больше. Вход в пещеру труден. В паводки он полностью затапливается стремительно несущейся водой, образующей так называемые сифоны. По спортивной характеристике, пещера соответствует категории средней сложности (2а по 5-балльной шкале). Пещера Понеретка становится доступной лишь в засушливое лето или морозную зиму, попасть в нее можно только в гидрокостюме.

Устье реки разветвляется, образуя два входа в пещеру, удаленных на 5 м друг от друга. Сразу за входом тоннели объединяются, свод понижается и начинается 50-метровый полусифон, преодолеть который мы смогли только вплавь на спине. За ним начинается главная часть пещеры. Через щель в потолке попадаем в круглый напорный (фреатический) тоннель, стенки которого покрыты кавитаци-

онными ячейками. Еще выше находится сферическая камера — одно из привлекательнейших мест.

Общая структура пещеры — древовидно-лабиринтовая, двух- и трехэтажная. Форма тоннелей — разнообразная: напорные трубы с карровой поверхностью, прямоугольные и овальные галереи, сложные обвальное-речные своды. Высота помещений в окрестности входа менее 1 м, в удаленной части — до 2. В центре располагается обвальное зал высотой более 8 м. Генеральное направление тоннелей — север—юг, но подземная река ступенчато смещается к западу, переходя из одного тоннеля в другой. Дно покрыто известняковой галькой, гравием, песком, глиной, иногда представляет собой гладко отшлифованную поверхность коренных пород. Нижние этажи подтапливаются в межень, остальные — в половодье.

Главной достопримечательностью пещеры по праву



Пещерный лабиринт подземной Понеретки (схема составлена Демченко В.В.).

считается галерея, протяженностью около 70, высотой 2, шириной 3—5 м, расположенная в 300 м от входа. Внешний ее облик настолько геометрически правильный (овальный по форме сечения, разбитый на прямолинейные отрезки), что невольно закрадывается мысль об искусственном ее происхождении. Вдоль стен по уровню воды, глубина которой доходит до пояса, протягиваются причудливые ниши вымывания. Поверхность известняков на стенах и потолках гладко обточена водой и покрыта бороздковыми каррами. Красоту галереи дополняют подни-

мающиеся от воды клубы пара: температура в пещере всегда выше нуля, несмотря на постоянные для Валдая 30-градусные морозы.

В некоторых залах встречаются небольшие карбонатные сталактиты, хорошо отпрепарированные текущей водой кораллы, губки, расположенные в известняковых стенах и сводах.

Интересны «корневые» части поверхностных карстовых форм, представленные кавернами диаметром 0.3—0.5 м. Они расположены в сводовых частях пещеры и представляют собой ряд сообщающихся полостей, заполненных про-

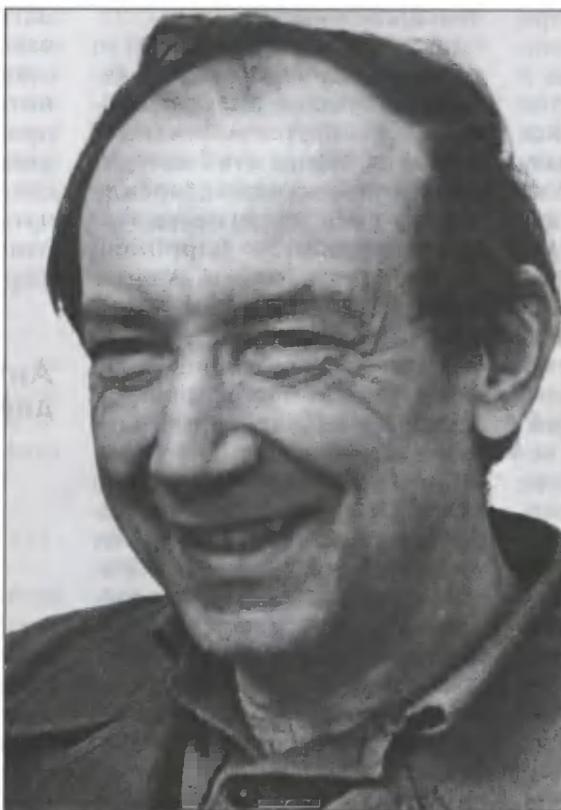
сыпавшимися вниз суглинками и супесями поверхностных образований.

В подземелье формируется интересное сообщество живых организмов. Здесь встречаются летучие мыши, выбирающие пещеру для зимовки, и рыбы, попадающие сюда во время весеннего паводка. На привнесенной органике разрастаются плесень и грибы.

Мы старались рассказать читателям об удивительнейшем месте Русской равнины, которое по праву должно быть отнесено к охраняемым памятникам окружающего нас мира Природы. ■

# А.С.Боровик-Романов в моей жизни

М.И.Куркин,  
доктор физико-математических наук  
Институт физики металлов УО РАН  
Екатеринбург



*Андрей Станиславович Боровик-Романов  
18.III.1920 – 31.VII.1997*

Академику Андрею Станиславовичу Боровику-Романову в этом году исполнилось бы 80 лет. Это был талантливый ученый, замечательный педагог, прекрасный организатор.

К научным изысканиям Андрей Станиславович приобщился, еще будучи студентом третьего курса физфака МГУ, откуда он в начале Великой Отечественной войны ушел добровольцем в народное ополчение. Вернулся в университет он уже после победы, окончил кафедру физики низких температур, и тогда же началась его блестящая научная карьера.

Трудно перечислить все достижения Боровика-Романова за долгие годы его деятельности. В прикладных областях – это, например, создание национального эталона практической шкалы температур, в фундаментальных – открытия слабого ферромагнетизма и пьезомагнетизма в антиферромагнетиках, изменившие представления о магнетизме и послужившие толчком к многочисленным исследованиям во всем мире, обнаружение антиферромагнитного резонанса, магнитной сверхтекучести и др. Во всех работах Андрей Станиславович проявлял себя как тонкий, вдумчивый экспериментатор, остроумно применявший различные методы и изобретавший нетрадиционные подходы. Как

© М.И.Куркин

теоретик он выдвигал и развивал новые, смелые идеи, которые помогли осмыслить многие теоретические предсказания.

Его научно-организационная деятельность на посту заместителя директора Института физических проблем АН СССР, а затем и его директора остается образцом ответственности, эффективности и доброжелательности.

Педагогические таланты Боровика-Романова раскрылись в работе со студентами Московского физико-технического института, где он заведовал кафедрой физики и техники низких температур и воспитал многочисленных учеников — продолжателей его научных изысканий.

Разносторонне образованный, любящий многие виды искусства, искренне преданный своей стране, Андрей Станиславович Боровик-Романов — один из лучших представителей русской научной интеллигенции. Он оставлял неизгладимый след в душе каждого, кто оказывался рядом с ним пусть и ненадолго, о чем свидетельствует публикуемая ниже статья.

**А**ндрей Станиславович Боровик-Романов при знакомстве обычно представлялся как Боровик. Я не могу похвастаться, что был коротко знаком с ним. Как правило, между нами была дистанция, отделяющая место докладчика от средних рядов зала, где я сидел в качестве слушателя. Но несколько раз мне посчастливилось беседовать с ним на более близком расстоянии. Если честно, то беседами эти встречи можно называть с большой натяжкой, поскольку говорил в основном я, стараясь изо всех сил связно изложить какой-нибудь свой результат, который на тот момент казался мне значительным. Боровик же терпеливо слушал и лишь изредка делал короткие замечания или задавал вопрос.

Со временем я понял, что одним из секретов того редкого обаяния, которое исходило от Боровика, было его удивительное умение слушать. Его замечания создавали ощущение, что беседуешь со своим внутренним голосом, а после его вопроса никогда не приходилось мучительно вспоминать: так на чем это я давеча остановился? Должен сознаться, что сразу ответить на вопрос Боровика мне, как правило, не удавалось. На это у меня обычно уходило несколько дней. Но один случай оказался уникальным: на поиск подходящего ответа ушло более тридцати лет. Об этом я и собираюсь рассказать. Однако прежде я хочу сделать одну оговорку, чтобы под-

готовить читателя к восприятию последующего текста.

В журнале «Природа» часто помещаются подборки, посвященные выдающимся российским и советским ученым. Для меня чтение этих материалов привлекательно прежде всего непредсказуемостью впечатлений. Например, из воспоминаний об Андрее Дмитриевиче Сахарове больше всего меня поразило его решение задачи о насекомом, ползущем по непрерывно удлиняющейся нити. Понимаю, что этот результат совсем незначителен по сравнению с другими достижениями ученого, но не могу отделаться от мысли, что остального не было бы, не обладай он способностью отыскивать такие решения.

То, о чем я хочу рассказать, по-моему, очень напоминает описанный случай с А.Д. Сахаровым. Для человека, искушенного в квантовой теории, все можно было бы изложить на двух-трех страницах. К сожалению, в жизни с проявлением квантовых законов приходится сталкиваться намного реже, чем с насекомыми, поэтому в расчете на неподготовленного читателя мне пришлось исписать гораздо большее число страниц.

Речь пойдет об одной задаче, связанной с магнитными подрешетками в антиферромагнетиках. О ферромагнетиках (веществах, в которых магнитные моменты всех атомов ориентированы в одном направлении, как магнитные

стрелки всех компасов вдоль магнитного поля Земли) сейчас знают почти все. Представления об антиферромагнитном упорядочении распространены гораздо слабее даже среди физиков, поэтому свой рассказ мне удобно начать с некоторых пояснений относительно термина «антиферромагнетизм».

## Антиферромагнетизм для дам

*Где бы что не говорили,  
Все одно сведет на баб.*

Л.Филатов «Про Федота-стрельца, молодого удалца»

Один из мэтров астрономии, взявшись рассказать о любимом предмете, написал три книги: толстую под названием «Астрономия», ее популярное изложение — «Астрономия для всех» и совсем тонкую — «Астрономия для дам». Выбранный подзаголовок означает, что я постараюсь быть максимально кратким.

Упомянутое выше ферромагнитное упорядочение атомных магнитных моментов иллюстрирует рис. 1 (вверху) для частного случая линейной цепочки атомов. Их суммарный магнитный момент

$$M = \sum_j m_j \quad (1)$$

называют параметром ферромагнитного порядка. Антиферромагнетики — это такие вещества, для которых

суммарный магнитный момент  $\mathbf{M} = 0$ , но магнитный порядок все же есть. Как такое может быть, показано на том же рисунке ниже на примере цепочки атомов, когда магнитные моменты  $\mathbf{m}_j$  соседних атомов антипараллельны (именно в этом смысле они «анти»). При этом параллельными оказываются векторы  $\mathbf{m}$ , только с четными и только с нечетными номерами соответственно. Их и объединяют в группы под названием «магнитные подрешетки». Если номера атомов из разных подрешеток обозначать разными индексами  $j$  и  $k$ , то можно записать формулы для магнитных моментов подрешеток:

$$\mathbf{M}_1 = \sum_j \mathbf{m}_j; \mathbf{M}_2 = \sum_k \mathbf{m}_k. \quad (2)$$

Как отмечалось выше, их сумма  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 = 0$ , поэтому в качестве параметра антиферромагнитного порядка выбирается их разность

$$\mathbf{L} = \mathbf{M}_1 - \mathbf{M}_2, \quad (3)$$

получившая название вектора антиферромагнетизма. У читателя может возникнуть вопрос: а почему в качестве  $\mathbf{L}$  не выбрать другую разность ( $\mathbf{M}_2 - \mathbf{M}_1$ )? Это очень хороший вопрос, но, к сожалению, аргументированный ответ займет слишком много страниц. Могли лишь заметить, что существует явление, позволяющее связать знак вектора  $\mathbf{L}$  с такой характеристикой антиферромагнетиков, которая может быть измерена экспериментально. Это явление, получившее название «слабый ферромагнетизм», было экспериментально обнаружено Боровиком, а теоретически описано И.Е.Дзялошинским. Оно связано с искажением чисто антиферромагнитной (с  $\mathbf{M} = \mathbf{M}_1 + \mathbf{M}_2 = 0$ ) структуры, приводящим к появлению результирующего момента  $\mathbf{M} \neq 0$ .

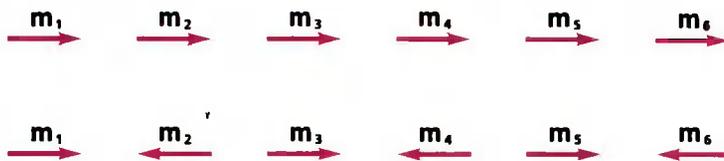


Рис.1. Ферромагнитное (вверху) и антиферромагнитное упорядочения магнитных моментов  $\mathbf{m}$ , в линейной цепочке.

Хотя  $|\mathbf{M}| \ll |\mathbf{L}|$ , по направлению  $\mathbf{M}$  можно однозначно определить ориентации векторов  $\mathbf{M}_1$  и  $\mathbf{M}_2$ , а следовательно, и вектора  $\mathbf{L}$ . Но о слабом ферромагнетизме гораздо лучше меня напишет кто-нибудь из соотрудников Боровика.

Возвращаясь к нашему примеру с упорядочением в одномерной цепочке, замечу, что для трехмерной группы атомов (например, в кристалле) изобразить антиферромагнитную структуру несколько сложнее. Тем не менее эту задачу можно считать решенной, во всяком случае принципиальные трудности здесь уже не остались. Основные проблемы в магнетизме связаны с взаимодействиями, ответственными за ферро- и антиферромагнитное упорядочения.

**Обменное взаимодействие.** Наглядно как ферро-, так и антиферромагнитное упорядочение можно продемонстрировать на магнитных стрелках от компасов. Стрелки, расположенные в линию вдоль их осей, из-за притяжения разноименных полюсов (северного N и южного S) упорядочиваются ферромагнитно (рис.2, слева). А если эта

линия перпендикулярна осям стрелок, то они упорядочиваются антиферромагнитно (рис.2, справа). Притяжение разноименных и отталкивание одноименных магнитных полюсов получило название магнитодипольного взаимодействия. К сожалению, оно слишком слабо, чтобы обеспечить упорядочение атомных магнитных моментов  $\mathbf{m}$ , которые во столько же раз меньше магнитных моментов стрелок, во сколько раз размеры стрелок больше размера атома. В результате созданный магнитодипольными силами магнитный порядок векторов  $\mathbf{m}$  разрушается хаотическим тепловым движением уже при температуре  $T = 1$  К. Поскольку в железе магнитный порядок сохраняется до температуры  $T_c = 1043$  К, то должно существовать взаимодействие в тысячу раз более сильное, чем магнитодипольное.

Таким, в тысячу раз более сильным, является кулоновское взаимодействие, которое для краткости будем обозначать символом  $V_c$ . Именно оно определяет температуру плавления кристаллических тел, которая для тугоплавких веществ оказывается гораздо вы-

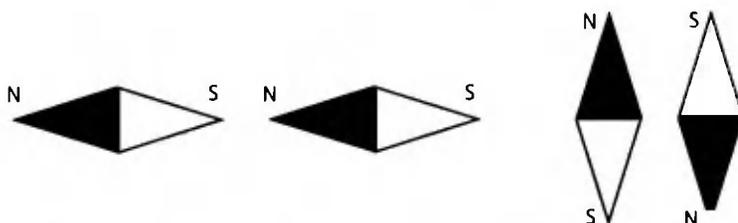


Рис.2. Ферромагнитное (слева) и антиферромагнитное (справа) упорядочения магнитных стрелок.

ше 1000 К. Но обычное кулоновское взаимодействие, известное из классической электродинамики, связано только с электрическими зарядами и нечувствительно к магнитным свойствам. Эту трудность помогла преодолеть квантовая механика. Согласно ее законам, электроны, если их сблизить до атомных расстояний ( $\approx 10^{-8}$  см), начинают быстро меняться местами друг с другом, причем рисунок их танца зависит от взаимной ориентации их магнитных моментов  $\mathbf{m}_i$ . Эта зависимость лишь одно из проявлений того, что в квантовой механике называется принципом Паули. Именно этот принцип отвечает за различие в химических свойствах атомов, т.е. делает окружающий нас мир таким, каков он есть. Не отвлекаясь на другие следствия знаменитого принципа, отметим главное для нас: электронный хоровод не может не отразиться на виде  $V_c$ , в частности делает  $V_c$  зависящим от  $\mathbf{m}_i$ . Соответствующая часть  $V_c$  получила название обменного взаимодействия  $V_{ex}$ ; без него были бы невозможны магнетизм при комнатных температурах, а следовательно, и вся современная электротехника с ее трансформаторами, магнитными усилителями и прочими сердечниками для электродвигателей и генераторов тока. Математическое выражение для  $V_{ex}$  было написано П.Дираком, но в науке о магнетизме оно известно под названием обмена В.Гейзенберга:

$$V_{ex}(1,2) = J(1,2)(\mathbf{m}_1 \cdot \mathbf{m}_2) = J(1,2) \cdot (m_1^x m_2^x + m_1^y m_2^y + m_1^z m_2^z). \quad (4)$$

Значение коэффициента  $J(1,2)$  зависит от различных величин, характеризующих поведение электронов,  $m^x$ ,  $m^y$ ,  $m^z$  — компоненты векторов  $\mathbf{m}$  для электронов с номерами 1 и 2. Но  $m^x$ ,  $m^y$ ,  $m^z$  не обычные числа, как компоненты векторов в геометрии, а операторы, которые описывают различные опера-

ции над электронами, в том числе операцию перестановки их местами. Это обстоятельство и стало той причиной, из-за которой физики, решив с помощью  $V_{ex}$  проблему сохранения магнитного упорядочения до высоких температур, получили взамен проблему с магнитными подрешетками.

**Проблема магнитных подрешеток.** Обращаясь вновь к рис. 1, можно заметить следующее: если переставлять местами векторы  $\mathbf{m}_i$ , упорядоченные ферромагнитно, то это никак не скажется на их магнитной структуре. Иное дело, если переставлять местами векторы  $\mathbf{m}_i$  и  $\mathbf{m}_j$ , принадлежащие разным подрешеткам в антиферромагнетике. Каждая такая перестановка нарушает магнитный порядок в подрешетке, и, как подсказывает интуиция, при большом числе перестановок от подрешеток не должно остаться камня на камне. Это все равно что в колоде карт разложить попеременно черные и красные масти, а затем начать их перемешивать. Если не полениться, то чередование черных и красных мастей в конце концов должно стать случайным.

Именно так я и рассуждал, когда в 1960 г. поступил в аспирантуру и получил тему, связанную с моделью магнитных подрешеток. Разумеется, я был не первый, кто обратил внимание на парадокс с магнитными подрешетками. Но маститые магнитчики не придавали ему особого значения, так как модель подрешеток прекрасно описывала наблюдаемые свойства антиферромагнетиков. Я же принадлежал к той категории молодых людей, о которых еще Сократ написал: «Нынешняя молодежь презирает авторитеты, не уважает старших. Дети спорят с родителями, жадно глотают пищу и изводят учителей». Обладая в полной мере всем этим набором пороков, я стал «копать» под подрешетки.

Написал какие-то формулы и стал приставать с ними ко всем, невзирая на лица. Должен отметить, что при всей тоталитарности того режима это совершенно безнаказанно сошло мне с рук. Более того, меня даже отправили в командировку на семинар по магнитному резонансу и спиновым волнам. Этот семинар регулярно собирается до сих пор<sup>1</sup> благодаря энтузиазму профессора Александра Григорьевича Гуревича, чем он заслужил от коллег глубочайшую признательность. На этом семинаре меня, как потом признались, отдали на съедение Боровику.

## Моя первая встреча с Боровиком

*Пиша свои воспоминанья  
О результатах этих встреч,  
Себе ни славы, ни признанья  
Я не ищу. О чем тут речь?*

В.Щербинин<sup>2</sup>.

«Мои встречи с физиками»

Боровик выслушал меня очень внимательно. Я это хорошо запомнил, так как раньше меня так никто не слушал. Затем он произнес казалось бы простые слова, но они врезались в мою память на всю жизнь. Больше всего меня поразило, что он уклонился от обсуждения деталей расчетов. Мои предыдущие оппоненты начинали с того, что раскладывали мои листочки и пытались найти в них арифметическую ошибку, а не найдя, теряли интерес. Как я неоднократно убеждался в дальнейшем, искать чужие ошибки — столь же бессмысленное занятие, как убеждать правоверного

<sup>1</sup> Семинар проводится раз в два года в Физико-техническом институте им.А.Ф.Иоффе (С.-Петербург). Последний состоялся в мае 2000 г.

<sup>2</sup> В.Е.Щербинин — член-корреспондент РАН, директор Института физики металлов (1987—1998).

мусульманина в истинности христианского учения. Искать свои ошибки каждый должен сам. Искусство оппонента в том, чтобы указать направление поиска. То, как это сделал Боровик, до сих пор приводит меня в восторг. Он предложил проверить правильность моей схемы расчета на одной задаче, которую ниже я буду называть задачей Боровика. Но прежде я дам математическую формулировку той проблемы, которую я пытался решить в том далеком 1962 году.

Она имеет вид уравнения:

$$V_{\text{ex}}\Phi = E_{\text{ex}}\Phi \quad (5)$$

с обменным взаимодействием  $V_{\text{ex}}(j,k)$  типа (4) всех электронов друг с другом

$$V_{\text{ex}} = \sum_{j,k} V_{\text{ex}}(j,k) = \sum_{j,k} J(j,k)(\mathbf{m}_j, \mathbf{m}_k). \quad (6)$$

Здесь уровни энергии  $E_{\text{ex}}$  — числа, которые в квантовой теории называются собственными значениями оператора  $V_{\text{ex}}$ , а волновые функции  $\Phi$  — решения уравнения (5), получившие название собственных функций оператора  $V_{\text{ex}}$ . Если обозначить символом  $\phi_j(j)$  волновую функцию, которая описывает поведение электрона с номером  $j$  и магнитным моментом  $\mathbf{m}_j$ , направленным вправо, а символом  $\phi_k(k)$  — волновую функцию  $k$ -го электрона с противоположным (левым) направлением вектора  $\mathbf{m}_k$ , то полная волновая функция  $\Phi$ , отвечающая ферромагнитному упорядочению (рис.1), может быть записана как произведение таких одноэлектронных функций:

$$\Phi_+ = \prod_j \phi_j(j). \quad (7)$$

Соответственно ферромагнетик с противоположной ориентацией  $\mathbf{m}_k$  описывается функцией  $\Phi_-$  с заменой всех индексов (+) на (-). Если в  $\Phi$  (или  $\Phi_-$ ) поменять местами



любую пару электронов, то она не изменится, поскольку это произведение одинаковых функций  $\phi$ . Значит,  $\Phi_+$  и  $\Phi_-$  удовлетворяют требованию тождественности электронов с одинаковой ориентацией  $\mathbf{m}$  и могут служить решениями уравнения (5).

Антиферромагнитному порядку, изображенному на рис. 1, в низу, казалось бы, отвечает функция

$$\Phi_0 = \prod_j \phi_j(j) \prod_k \phi_k(k). \quad (8)$$

Но эта функция при обмене местами электронов из разных подрешеток (например, 2 и 3 на этом рисунке) превращается в другую функцию, так как в подрешетках появляются электроны с «чужой» ориентацией  $\mathbf{m}$ . Таким образом, функция (8) не может быть точным решением (5). Тогда, в 1962 г., я пытался доказать, что она не может быть и приближенным решением (5), поскольку в условиях свободного обмена электронов местами любой атом (как с номером  $j$ , так и с номером  $k$ ) будет одинаково часто посещаться электронами как с правой (+), так и с левой (-) ориентацией  $\mathbf{m}$ . При таком соотношении знаков (+) и (-) для средних величин  $\langle m \rangle$  на каждом атоме следует ожидать нулевых зна-

чений, в то время как по гипотезе подрешеток они должны быть такими же, как в ферромагнетиках.

## Задача Боровика

*Нужно остерегаться, как бы заблуждения, ставшие предубеждениями, не были взяты в качестве принципов.*

Одна из сформулированных Ш.Фурье пятнадцати обязанностей, неизменных для ученого

Боровик сумел защитить подрешетки в этой, как мне казалось, безнадежной ситуации. Он воспользовался тем, что любой магнетик характеризуется величиной своего полного магнитного момента  $\mathbf{M}$ , а потому, согласно законам квантовой механики, его волновая функция  $\Phi$  должна быть не только собственной функцией  $V_{\text{ex}}$  в соответствии с (5), но и собственной функцией оператора  $M^2$ , т.е. удовлетворять и уравнению:

$$M^2\Phi = M(M + m_B)\Phi, \quad (9)$$

где

$$M^2 = (\sum_j \mathbf{m}_j)^2 = \sum_{j,k} (\mathbf{m}_j, \mathbf{m}_k) \quad (10)$$

— оператор квадрата длины

вектора  $\mathbf{M}$ ,  $M$  — квантовое число, характеризующее значение этой длины,  $m_b$  — квант электронного магнитного момента, получивший название магнетона Бора. Ферромагнетику, содержащему  $N$  магнитных электронов, отвечает максимальное значение  $M = Nm_b$ , антиферромагнетику —  $M = 0$ .

Оба соотношения (9) и (10) хорошо известны в квантовой механике, и ими широко пользуются при описании магнитных моментов атомного масштаба. Но применительно к макроскопическим магнитным телам (которые можно держать в руках и для которых выводы квантовой механики совпадают с результатами механики Ньютона) эти соотношения, по общему мнению, не позволяют получить сколько-нибудь стоящих результатов. Боровик не поверил этому правилу, полагая, как и Гёте, что «вера не начало, а конец мудрости», и пришел к результату, который до сих пор поражает мое воображение.

Идея Боровика состояла в том, что оператор  $M^2$  (10) — частный случай оператора  $V_{ex}$  (6), когда все величины  $J(j,k)$  равны между собой. Это означает, что слагаемых, переставляющих местами электроны, в  $M^2$  не меньше, чем в  $V_{ex}$ , поэтому трудности с гипотезой подрешеток в равной степени относятся как к решениям уравнения (5), так и к решениям (9). Но у (9) есть одно преимущество перед (5), которым и воспользовался Боровик. Он применил уравнение (9) к двум магнитным стрелкам, уложенным валетом, как показано на рисунке 2, справа. И тут я понял его идею. Действительно, поскольку у такой пары отсутствует суммарный магнитный момент, ей соответствует антиферромагнитное решение уравнения (9). В то же время сами стрелки ферромагнитны, поэтому нет оснований сомневаться в том,

что у левой стрелки все атомные векторы  $\mathbf{m}$  преимущественно ориентированы вверх, а у правой — вниз.

Оговорка «преимущественно» обусловлена слагаемым  $m_b$ , которое стоит рядом с величиной  $M$  в (9). Если применить (9) к одной магнитной стрелке, содержащей половину  $(N/2)$  ферромагнитных электронов, то  $M = Nm_b/2$ , что совпадает со средним значением оператора  $\langle M \rangle$ , вычисленным с волновой функцией  $\Phi_s$  (7). При этом длина магнитного момента стрелки

$$[\langle M^2 \rangle]^{1/2} = [M(M + m_b)]^{1/2} = (N/2)m_b(1 + 2/N) \quad (11)$$

оказывается несколько больше его среднего значения  $\langle M \rangle = Nm_b/2$ . По поводу этой разницы говорят, что магнитный момент  $M$  совершает колебания. Их называют нулевыми, поскольку они присутствуют даже при температуре  $T = 0$ , когда теплового движения нет. С этими нулевыми колебаниями связано отличие функции  $\Phi_{af}$ , которая является точным антиферромагнитным (для  $M = 0$ ) решением (9), от функции  $\Phi_0$  (8), соответствующей модели подрешеток.

Забегаю вперед, скажу, что для применимости модели подрешеток вовсе не требуется, чтобы разность  $(\Phi_{af} - \Phi_0)$  была мала. Достаточно близости средних значений атомных моментов  $\langle m \rangle_{af}$  и  $\langle m \rangle_0$ , вычисленных с помощью функций  $\Phi_{af}$  и  $\Phi_0$  соответственно. Согласно (11) их разность должна удовлетворять соотношению

$$|\langle m \rangle_{af} - \langle m \rangle_0| / m_b \approx 1/N, \quad (12)$$

которое и определяет ту точность, с которой гипотеза подрешеток применима для описания уложенной валетом пары магнитных стрелок. Для двух электронов ( $N = 2$ ) эта разность порядка единицы, поэтому подрешеточное

приближение никуда не годится. Но для макроскопических магнитных стрелок, которые можно держать в руках, величина  $N$  сравнима с числом Авогадро  $N_A \sim 10^{23}$ , поэтому вклад от нулевых колебаний невозможно заметить даже с помощью лучших устройств для измерения магнитных моментов.

Формула (12) означает, что при больших  $N$  у подрешеток появляется иммунитет, позволяющий им выжить в условиях перестановок электронов местами. Хотя предложенное Боровиком решение не раскрывало механизма этого иммунитета, но само доказательство его существования произвело на меня впечатление чуда. Сильнее всего меня поразило то, что при решении этой, казалось бы, сугубо математической задачи Боровик обошелся без каких-либо вычислений. Такой свободный полет фантазии вместо слепого следования канонам теоретической физики, которые я тогда заучивал с упорством старательного студента, был для меня настоящим открытием. По-видимому здесь я первый раз столкнулся с тем, что называется настоящей наукой.

Не скрою, что после этой встречи Боровик занял в моем сознании атеиста то место, которое в душе искреннего христианина отводит Всевышнему. Со временем это чувство во мне только крепло, так как каждый раз Боровик умудрялся сообщать что-нибудь очень для меня неожиданное. Жаль, что таких встреч с Боровиком у меня было немного. Тем не менее у нас с ним есть совместная работа, которой я горжусь<sup>3</sup>. Первая же встреча по существу повлияла на мою судьбу, так как у меня пропало предубеж-

<sup>3</sup> Боровик-Романов А.С., Буньков Ю.М., Думеш Б.С., Куркин М.И., Петров М.П., Чекарнев В.П. // Успехи физ. наук. 1984. Т.142. Вып.4. С.537—570.

дение к подрешеткам и я смог заняться задачами, которые должен был решать как сотрудник нашего института. Со временем я даже смог оказать полезным для коллег из других институтов, включая трех аспирантов самого Боровика. Что касается функции  $\Phi_{st}$ , соответствующей антиферромагнитному решению уравнения (9), интерес к ней не то чтобы пропал, но как-то отошел на второй план, и до нее все не доходили руки.

### Тридцать лет спустя

*До чего же быстро время идет. Давно ли в бане был, а уж год прошел.*

М.Зощенко. «Баня»

Так я и прожил без созерцания явного вида функции  $\Phi_{st}$  более 30 лет, пока в 1996 г. не попал на конференцию по новым магнитным материалам. Там был доклад А.С.Боровика-Романова, Б.С.Думеша и А.М.Тихонова об исследованиях нового класса магнитных материалов, получивших название квазиодномерных антиферромагнетиков. Борис Думеш, мой давний приятель, еще раньше заинтересовал меня этой работой, но на тот момент его не оказалось в Москве. Алексей Тихонов исчез сразу после доклада, поэтому я отважился обратиться за разъяснениями к самому Боровику. Он с удовольствием рассказал об этой работе, особо подчеркнув, что им удалось обнаружить сильное влияние нулевых колебаний. Эффект получился такой, как если бы в формуле (12) на месте величины  $1/N$  стояло число  $1/3$ . Это были уже не абстрактные рассуждения о возможностях карточных подтасовок, а реальный эксперимент. Я решил, что пора заполучить волновую функцию антиферромагнетика живьем, поскольку

у меня накопилось к ней много вопросов.

Начал я с решения уравнения (9), полагая, что после подсказки, которую я когда-то получил от Боровика, с этой задачей я вполне смогу справиться. И действительно, за год с небольшим эту функцию удалось материализовать в виде формулы:

$$\Phi_{st} = (N/2 + 1)^{-1/2} \sum_{n=0}^{N/2} (-1)^n \cdot [(2/N) \sum_{j,k} P_{jk}]^n \Phi_0, \quad (13)$$

где  $\Phi_0$  (8) — волновая функция антиферромагнетика в модели подрешеток, а  $P_{jk}$  — оператор, переставляющий местами электроны из разных подрешеток. Его вид

$$P_{jk} = (m_j^\dagger - im_j) (m_k^\dagger + im_k) / m_b \quad (14)$$

хорошо знаком всем, кто общался с квантовой теорией магнетизма.

Функция  $\Phi_{st}$  (13) обладает всеми качествами, чтобы описывать состояние магнитных стрелок, уложенных валетом (рис.2, с п р а в а). В частности, вычисленные с этой функцией средние значения  $\langle m_j \rangle_{st}$  и  $\langle m_k \rangle_{st}$  определяются выражениями:

$$\langle m_j \rangle_{st} = m_b [1/2 - 1/(N/2 + 1)], \quad (15)$$

$$\langle m_k \rangle_{st} = -m_b [1/2 - 1/(N/2 + 1)],$$

которые удовлетворяют условию (12), поскольку вычисленные с волновой функцией  $\Phi_0$  (8) средние значения атомных моментов равны:  $\langle m_j \rangle_0 = m_b/2$  и  $\langle m_k \rangle_0 = -m_b/2$ .

Мой личный интерес к формуле (13) связан с возможностью раскрыть секрет иммунитета подрешеток по отношению к перестановкам электронов местами. Секрет этот оказался достойным изощренности Творца. Функция  $\Phi_{st}$  разва-

лилась на огромное (порядка  $N^N$ ) число частей, так что операторы  $P_{jk}$  (14) получили возможность резвиться, переводя эти кусочки друг в друга, и создавать впечатление полного хаоса (как при перетасовывании карточной колоды). Что касается функции  $\Phi_0$ , то она накладывает на этот хаос микроскопический порядок, практически незаметный при сравнении отдельных кусочков. Однако для средних значений  $\langle m \rangle$  (15) только этот порядок и оказывается важным, так как при суммировании вкладов от большого числа частей  $\Phi_{st}$  их хаотические составляющие усредняются до величин, сравнимых с  $1/N$  (напомню, что  $N/2$  — число электронов в подрешетке).

Аналогичный эффект имеет место, когда на хаотическое движение молекул накладывается какое-нибудь регулярное возмущение (вызванное градиентами температуры, концентрации и др.). Соответствующая регулярная добавка мала по сравнению с тепловым движением, тем не менее она проявляется в виде макроскопических эффектов теплопроводности, диффузии и др.

Если поручить вычислительной машине сосчитать средние значения  $m$ , то при  $N > 10^6$  ей вряд ли удастся выйти на соотношения (15). По этой причине интерес к точным решениям не ослабевает, несмотря на все успехи вычислительной техники.

К моему великому огорчению я не успел показать Боровику формулу для  $\Phi_{st}$ . Довести ее до вида (13) мне помогли его коллеги по Институту физических проблем А.Н.Бажан, В.И.Марченко, Л.А.Прозорова и ее молодой и очень толковый сотрудник Сергей Сосин. Дело в том, что сначала я пытался получить приближенное выражение для  $\Phi_{st}$ , но они обратили мое внимание на скверный характер ряда для этой функции, который не

позволяет судить о поведении всего ряда, если анализировать любую его часть. По этой причине доверия заслуживает только точное выражение для  $\Phi_{\text{д}}$ .

## Что дальше?

*Господь Бог изощрен,  
но не злонамерен.*

Из любимых фраз  
А.Эйнштейна

Хотя функция  $\Phi_{\text{д}}$  (13) соответствует антиферромагнитному порядку, поскольку является решением (9) при  $M=0$ , она не может претендо-

вать на описание магнитных свойств реальных антиферромагнетиков — веществ, антиферромагнетизм которых обусловлен обменным взаимодействием  $V_{\text{ex}}$  (6). Необходимая для этого волновая функция (обозначим ее символом  $\Psi_{\text{д}}$ ) должна быть решением одновременно двух уравнений (5) и (9). Как оказалось, первому требованию  $\Phi_{\text{д}}$  не удовлетворяет. Я был к этому готов, но надеялся, что различие  $\Psi_{\text{д}}$  и  $\Phi_{\text{д}}$  будет не очень сильным и его можно будет оценить каким-нибудь приближенным методом. Увы! Всевышний и на этот раз оказался гораздо изощреннее, чем мы думали. Структура

функции  $\Phi_{\text{д}}$ , состоящей из  $N^{\text{в}}$  почти равноценных кусочков, делает сомнительным использование приближенных методов, а для поиска точного решения нужна идея типа той, которую мне подарил Боровик в 1962 г. Хватит ли на это моих способностей, или я обречен ходить с этой занозой до конца своих дней? Тем не менее я признателен судьбе, что она послала мне эту задачу. Благодаря ей я познакомился с Андреем Станиславовичем Боровиком-Романовым — человеком, который делал счастливым каждого, кто даже мимоходом общался с ним. ■

Калейдоскоп

### Землетрясения связаны между собой

15 октября 1999 г. в районе пос.Хектор-Майн (160 км к северо-востоку от Лос-Анджелеса) произошло мощное землетрясение (Science. 1999. V.286. №5440. P.656). При магнитуде 7.1 по шкале Рихтера оно причинило незначительные разрушения, так как эта пустынная местность почти не заселена. По мнению сейсмолога Л.Джонс (L.Jones), это событие связано с землетрясением 1992 г. в Ландерсе (160 км к востоку от Лос-Анджелеса), имевшем магнитуду 7.3.

Поскольку каждое сейсмическое событие так или иначе перераспределяет напряжение в земной коре, в эволюции близлежащих разломов должна наблюдаться определенная корреляция. При вспарывании поверхности напряжение в зоне разлома по обе стороны от него уменьшается.

Известно, что катастрофические землетрясения 1906 г. в Сан-Франциско и 1857 г. в Южной Калифорнии привели к снятию напряжения вдоль разлома Сан-Андреас на сотни километров, и это на несколько десятилетий снизило уровень сейсмичности. Но иногда напряжение в зоне, расположенной за концом разлома, может возрасти. Так, разорвавшее зем-

ную кору Ландерское землетрясение привело к образованию значительных участков с повышенным уровнем напряжения по всей прилегающей территории пустыни Мохаве (как на севере, так и на юге разлома Сан-Андреас, в районах городов Палм-Спрингс и Риверсайд). По расчетам геофизиков Геологического управления в Менло-Парке во главе с Р.Стейном (R.Stein), южный «выступ» этого напряжения уже через 3 ч вызвал в 35 км землетрясение с эпицентром в Биг-Бэре (его магнитуда 6.3).

Прошло семь лет после события в Ландерсе, и действительно состоялось землетрясение в районе Хектор-Майна. Новый разлом Лавик-Лейк вызвал разрывы земной поверхности на протяжении 40 км. Эпицентр землетрясения и значительная часть разрыва находятся в пределах ранее рассчитанной Стейном и его коллегами зоны одного из двух северных «выступов», напряжение в которых возникло в результате Ландерского землетрясения.

Среди сейсмологов растет число сторонников гипотезы, согласно которой разломы связаны между собой, перераспределяя напряжения в земной коре. Но физический механизм этого процесса пока не ясен. Непонятно, почему сравнитель-

но небольшое событие в Ландерсе смогло возбудить столь долго «дремавший» разлом Лавик-Лейк. Известно, что динамика напряжения в конкретном участке земной коры зависит от характера существующего здесь разлома. Полагают, что в некоторых из разломов, как в Сан-Андреасе, одни слои пород могут проскальзывать относительно других, имея на стыках глинистую смазку. Геолог Р.Симпсон (R.Simpson) считает: будь разлом Лавик-Лейк тоже «проскальзывающим», разрыв коры в Ландерсе не смог бы увеличить напряжения в районе Хектор-Майна и землетрясения не было.

События у пос.Хектор-Майн, видимо, стоят в одном ряду с катастрофическим землетрясением в Турции в августе 1999 г., которое, вероятно, тоже было возбуждено предыдущими сейсмическими явлениями в данном регионе<sup>1</sup>. Стейн и его коллега Т.Парсонс (T.Parsons) считают, что толчок в Хектор-Майне на 41—44% увеличил шансы мощного землетрясения в пределах разлома Сан-Андреас в течение ближайших 30 лет.

<sup>1</sup> См.: Никонов А.А. Сейсмическая катастрофа в Турции // Природа. 1999. №11. С.3—9.

## Реабилитация филистимлян

Недавние находки финикийских судов (Science. 1999. V.285. №5424. P.36), затонувших у южного побережья Израиля в VIII в. до н.э. и обнаруженных в 1999 г. археологами во главе с Л.Стейджером (L.Stager, США) и С.Гитинном (S.Gitin, Израиль), меняют наши представления о филистимлянах, библейские характеристики которых подчеркивают их враждебность израильтянам, злобность и дикость (достаточно вспомнить битву грубого «животного» — великана Голиафа с прекрасным юношей Давидом).

Сведения о том, откуда более 3 тыс. лет назад филистимляне явились на восточные берега Средиземноморья, во многом туманны. Большинство ученых считают, что филистимляне, один из «народов моря», — это потомки микенских племен, чья культура распространилась на Грецию, Кипр и Эгейское побережье современной Турции. Возможно, именно они прогнали хананейцев, прежних жителей земли обетованной, и основали страну Филистину, которая почти совпадала по площади с нынешней полосой Газы. За 600 лет расцвета филистимляне построили города Ашкелон, Экрон, Газа, Ашдод и Гат.

В 1998 г. Стейджер заключил соглашение со знаменитым подводником Р.Боллардом (R.Ballard), прославившимся находкой «Титаника». Помочь им решили американские ученые из Института исследования морей и Вудсхолского океанографического института, предоставившего услуги по эксплуатации подводного аппарата «Язон». Сделанные с него снимки показали, что на дне Средиземного моря, в 50 км к западу от Газы, на глубине 500 м покоятся древние суда. Датировка образцов дерева, из которых они были сделаны, показала, что крушение произошло около 750—700 гг. до н.э. Все суда носом обращены на запад; можно полагать, что следовали они в Египет или еще дальше, в финикийскую колонию Карфаген. Флот был финикийским, а груз (сохрани-

лось около 750 амфор с вином) — филистимлянским, о чем свидетельствует форма керамических сосудов, характерная для Ашкелона, крупного порта и центра виноделия и виноторговли. Австрийский археолог М.Бьетак (M.Bietak) видит в этом подтверждение гипотезы, согласно которой Филистия была торговым перекрестком на путях, связывающих Сирию, Финикию, Египет и Северо-Западную Африку. В пользу этой гипотезы говорят и раскопки израильских ученых в Экроне, где найдено уже более сотни прессов и других приспособлений для приготовления оливкового масла. Этот высоко ценимый в древнем мире продукт не мог быть потреблен в столь больших количествах на месте и явно служил, как и вино, важной статьёй филистимлянского экспорта. Масло, видимо, предназначалось для египтян: на это указывает обнаруженный в Ашкелоне склад порожней посуды — бронзовых бутылей с изображениями египетских божеств. Точно такие же сосуды найдены в руинах египетского города Авариса.

Показателен и такой факт: наиболее древняя филистимлянская керамика монохромна (что типично и для крито-микенских изделий), но более поздняя становится двухцветной, с красно-черным орнаментом, который мог быть ими заимствован у жителей Леванта.

Еще одна археологическая находка в Ашкелоне — мелкие цилиндрики из необожженной глины, обнаруженные на полу строения XII или XI в. до н.э. Скорее всего, они служили для удержания нити в примитивном ткацком станке. Жившие здесь хананейцы использовали в этих целях пирамидки с дырочкой, цилиндрических же гирек в ткацких станках никто из жителей Ближнего Востока ранее не применял. Зато подобные детали уже находили на Кипре, Крите, в континентальной Греции. Все это может служить подтверждением микенского происхождения филистимлян и их продвижения на восток.

Принципиально важным открытием представляется обна-

ружение в Ашкелоне массивных ворот и укреплений из сырцового кирпича, созданных хананейцами до появления филистимлян. Не менее интересна вскрытая вблизи них загадочная каменная хананейская гробница, из которой уже извлечены останки 40 человек. Эти находки еще предстоит проанализировать.

Археологи надеются обнаружить остатки пристани, куда причаливали суда филистимлян — основателей все еще таинственной страны. Известно лишь, что в 604 г. до н.э. вавилонское войско Навуходоносора взяло приступом и сожгло Ашкелон, а за ним Экрон и другие города. В Ашкелоне найдены скопления вдребезги разбитой керамики, обожженного дерева и кирпичей, свидетельствующие о давней катастрофе, — так закончилась эра процветания Филистины. Однако теперь уже ясно, что сводить характеристику исторической роли филистимлян к образу извечного врага, а тем более именовать этот народ «заведомым негодяем», абсолютно неправомерно.

## Таймырский мамонт

Несколько лет назад семья оленеводов-долган обнаружилла у берегов р.Большой Балахни (восток Таймыра, Долгано-Ненецкий национальный округ) вмержший в грунт фрагмент скелета огромного мамонта, у которого частично сохранились мягкие ткани. О находке стало известно администрации округа, затем — Б.Бюге (B.Buigues), главе парижской туристической фирмы, которая, базируясь в районном центре Хатанга, организует лыжные походы в направлении к Северному полюсу. Посетив место обнаружения ископаемого животного, он привез оттуда в Утрехтский университет (Нидерланды) образцы шерсти, кожи и костей. Специалисты подтвердили принадлежность остатков мамонту и их древность, возможно, более 20 тыс. лет (Science. 1999. V.286. №5441. P.876).

Каждая подобная находка

уникальна. За последние два века в различных районах Сибири из вечной мерзлоты были извлечены несколько довольно целых скелетов и сохранившихся тел мамонтов, включая мамонтенка «Диму», ставшего в 1977 г. всемирно известным. До сих пор такие экземпляры обезжизнялись и бальзамировались. Теперь, учитывая успешно проведенные опыты по клонированию млекопитающих, специалисты надеются, что добытые без размораживания ткани мамонта послужат материалом для клонирования или хотя бы исследования генома этих вымерших слонов.

После того как правительство России утвердило проект совместного исследования, к делу подключилась западная телевизионная компания, которая рассчитывала на прибыль от показа фильма о мамонте Жаркове — так его назвали по фамилии обнаруживших его долган. Фирма выделила на всю операцию 2 млн амер. долл. В середине октября 1999 г. 22-тонный блок породы с замороженными тканями мамонта был поднят на вертолете и переправлен за 300 с лишним километров в специально выдолбленную около пос.Хатанга ледяную пещеру с постоянной температурой около  $-15^{\circ}\text{C}$ .

Содержимое блока после его разморозки будут изучать представители многих специальностей. Судя по зубам нижней челюсти, это был самец, доживший до 47-летнего возраста.

Далеко не все российские ученые уверены в полной сохранности этой находки: лишь верхние 80 см извлеченного блока состоят из промерзшей песчаной почвы, которая способна сохранять остатки. Правда, можно ожидать, что еще какие-то мягкие ткани разделанного в древности трупа мамонта находятся в окружающих мерзлых породах или ледяных трещинах.

Японские генетики высказали идею: получить из замороженного трупа сперму или неразрушенные клетки с ДНК, что

позволило бы «воскресить» мамонта. Теоретически возможно ввести сперму в яйцо азиатской слоницы — близкой «родственницы» древнего сибиряка и получить их гибрид или, используя ДНК из неразрушенных клеток, клонировать чистопородного мамонта. Свои услуги в проведении таких экспериментов уже предложили генетики Университета Северной Аризоны во Флагстаффе (США) во главе с палеонтологом Л.Эйденбродом (L.Agenbroad). Однако ожидать быстрого успеха от такого эксперимента трудно: многочисленные исследования клеток из тканей мамонта показали, что ДНК ядер и митохондрий всегда подвергается сильным разрушениям.

### Резкое потепление в конце ледникового периода

Большая часть свидетельств резких перепадов климата получена путем анализа годовых слоев гренландского льда. Но поскольку основной поток солнечной радиации поступает в тропики, внося существенные изменения в тепловой и влажностный бюджеты Земли, для понимания глобальных резких переменов климата необходимы данные по этой зоне. Особенно важно установить точные временные границы и последовательность климатических событий, происходивших в тропиках и высоких широтах, однако для этого не хватает достоверной информации.

При изучении колонок льда с ледников Боливии ( $18^{\circ}\text{ю.ш.}$ ) выяснилось, что около 15 тыс. лет назад климат здесь резко изменился (так называемый переход Бёллинга). Это произошло почти синхронно со значительным потеплением в Центральной Гренландии (14.67 тыс. лет назад), что подтверждается составом пыльцы древних растений Европы и характером осадочных пород Северной Атлан-

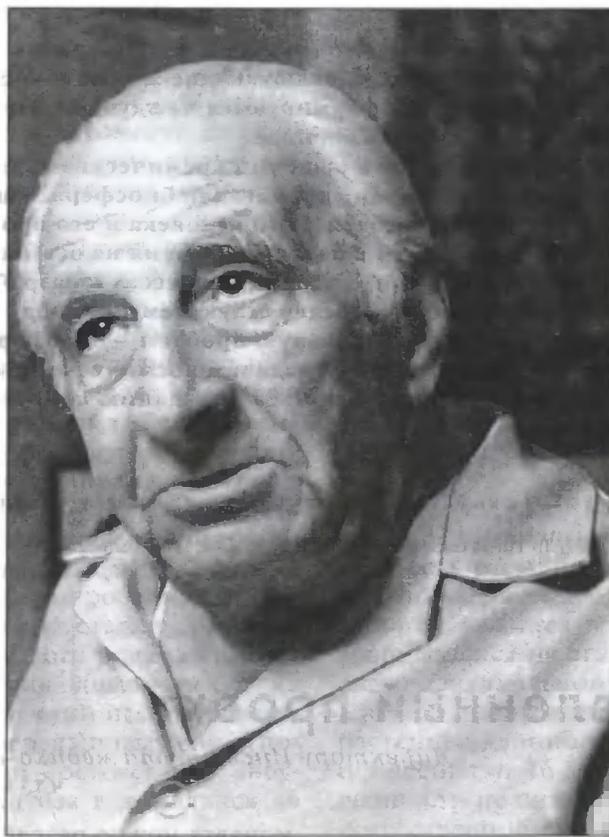
тики. Недавние исследования показывают, что аналогичные процессы резких климатических изменений происходили также в Карибском бассейне (работы велись в районе Санта-Барбары и Карьяко, у берегов Венесуэлы) и в Аравийском море. Однако неопределенность датировки этих событий не позволяла установить их взаимосвязь с явлениями в Арктике.

Анализ пузырьков воздуха из колонок гренландского и антарктического льдов свидетельствует о возрастании примерно в то же время концентрации метана в атмосфере, что, по-видимому, было вызвано увеличением площади увлажненных земель (основным источником атмосферного метана в доиндустриальную эпоху были подболоченные местности) и ростом температуры. Главную роль здесь играли влажные тропики.

Палеоклиматолог Дж.П.Северингхаус (J.P.Severinghaus) и геолог Э.Дж.Брук (E.J.Brook) считают, что результаты изотопного анализа азота и аргона в образцах гренландских льдов свидетельствуют о потеплении поверхности ледяного щита на  $9\pm 3^{\circ}\text{C}$ . Оно началось 14.67 тыс лет назад (за точку отсчета принят 1950 г.) и происходило в течение всего нескольких десятилетий. Через 20—30 лет после начала потепления последовало резкое увеличение концентрации метана в атмосфере, продолжавшееся около 50 лет.

Именно такой порядок событий, по мнению этих американских специалистов (Science. 1999. V.286. №5441. P.930), говорит о потеплении и, возможно, одновременном увлажнении климата в тропиках, происшедшем примерно через 20—80 лет вслед за повышением средних температур в Гренландии. Значит, «спусковым крючком» для этих климатических изменений были события, происходившие в Северной Атлантике, а не в тропическом регионе Земли.

# К 100-летию со дня рождения Н.В.Тимофеева-Ресовского



*Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский  
7.IX.1900—28.III.1981*

Он не был обременен громкими титулами и почетными наградами, но еще при жизни стал легендой. И сегодня Николай Владимирович Тимофеев-Ресовский известная и популярная фигура. О нем знает самая широкая аудитория: нашумевший в свое время роман Д.Гранина «Зубр», многочисленные журнальные публикации, книги воспоминаний о нем и записи устных рассказов самого героя, а также документальные фильмы повествуют об удивительной жизни выдающегося биолога<sup>1</sup>.

Последние 10 лет своей жизни Николай Владимирович работал в Институте медико-биологических проблем, где занимались вопросами космической биологии. Академик О.Г.Газенко, возглавлявший в то время институт, нашел в своем архиве письмо Тимофеева-Ресовского и его «космический» проект. Данный проект никогда не был осуществлен, но несомненно представляет исторический интерес.

На первом этапе освоения космического пространства биологические исследования носили прикладной характер. Задача экспериментов состояла в том, чтобы ответить на главный вопрос: совместима ли жизнь с условиями космического полета. Тогда же стало ясно, что космические факторы не представляют угрозы для жизни.

<sup>1</sup> См., напр.: Я прожил счастливую жизнь. К 90-летию со дня рождения Н.В.Тимофеева-Ресовского // Природа. 1990. №9. С.68—104.

На следующем этапе необходимо было приступить к изучению воздействий невесомости и космических излучений на живой организм. Решению этой задачи и посвящен проект Тимофеева-Ресовского с коллегами. В нем Николай Владимирович, уже давно занимавшийся теоретическими вопросами, выступает как блестящий экспериментатор.

Вопрос о жизнеобеспечении людей в космическом пространстве встал еще в конце 50-х годов. Тимофеев-Ресовский подошел к этой задаче как биогеоценолог. В своем письме к В.Н.Сукачеву он писал: «...я позволил себе, изложив теоретические основы Вашего учения о биогеоценозах, предложить новое, но естественно вытекающее из Вашей биогеоценологии понятие «искусственного замкнутого биогеоценоза в космосе». Это та <...> форма сообщества, которую мы должны создавать сейчас <...> для осуществления в ближайшем будущем длительных полетов человека в космосе»<sup>1</sup>.

Позднее, подтверждая эту мысль, он говорил о том, что для долгосрочных космических систем необходимо создавать модельные биогеоценозы, включающие живые и костные компоненты<sup>2</sup>. В настоящее время именно в этом направлении формируются международные исследовательские программы по обживанию и расселению людей в космосе.

Все же участие Николая Владимировича в решении космических задач было больше теоретическим. В последние годы жизни его внимание привлекали биосферы. Еще в 1962 г. он писал: «Любая достаточно широкая проблема о взаимодействии человека и его промышленной деятельности на окружающую среду должна ставиться в настоящее время на основе созданного В.И.Вернадским общего учения о биосфере и биогеохимических процессах и разработанной В.Н.Сукачевым биогеоценологии»<sup>3</sup>. Он подвел итог всему предшествующему периоду развития докучаевской школы естествознания и сформулировал глобальную проблему «Биосфера и человечество», называя ее проблемой номер один. В приложении к задачам космической биологии такой биосферный подход оказался весьма плодотворным и привел к созданию концепции искусственно замкнутого биогеоценоза в космосе.

<sup>1</sup> Там же. С.97.

<sup>2</sup> Газенко О.Г., Тимофеев-Ресовский Н.В. От докучаевских зон природы до космических экосистем // Природа. 1971. №6. С.8.

<sup>3</sup> Тимофеев-Ресовский Н.В. // Тр. Ин-та биологии Урал. фил. АН СССР. 1962. Вып.22. С.130.

## Неосуществленный проект

*Директору Института медико-биологических проблем  
чл.-кор. АН СССР О.Г.Газенко*

Дорогой Олег Георгиевич!

Воодушевившись Вашими проектами, я, привлекая Владимира Ильича Иванова и Евгения Константиновича Гинтера (первый — шеф арабидопсиса, а второй — дрозофилы), сочинил для Вас краткий предварительный проект плана опытов по изучению возможного (и весьма вероятного) действия невесомости на онтогенез многоклеточных растений и животных. Этот проект рассчитан пока на краткосрочные полеты, длительностью примерно 4—30 дней. В таких полетах разной длительности можно будет точно выяснить — происходит ли с онтогенезом многоклеточных что-либо выходящее и, если происходит, — то что.

Если проект Вас заинтересует, то можно начать разрабатывать методики проведения таких опытов и конструкцию контейнеров; а затем, помаленьку, следовало бы начать подготовку дальнейших опытов для спутников и кораблей с экипажем; в таких опытах с помощью простейших периодических манипуляций кос-

монавта можно разработать методику, дающую дополнительную информацию.

У нас пока все по-прежнему — полная неопределенность, кроме моего ухода на пенсию, который должен, по-видимому, состояться в августе. Мы завтра улетаем в Новосибирск на летний симпозиум Общества генетиков и селекционеров, оттуда я вернусь 5—7 июля, а с 8-го по 12-е июля я опять буду дома в Обнинске. Кстати, если Вас не очень затруднит, сообщите о моем отсутствии из Москвы Евгению Яковлевичу Шепелеву: мы хотели собраться у него всей компанией во главе с Леонидом Яковлевичем Бляхером и намечали конец июня, а я вернусь только 13-го июля. Если можно было бы переиграть на июль — было бы замечательно.

С искренними приветями от нас с Еленой Александровной Вам и всему Вашему семейству.

*Олег Газенко*

## ПРОЕКТ

# плана опытов по изучению возможных влияний условий космического полета на различные стадии онтогенеза многоклеточного растения и многоклеточного животного

Среди различных условий космического полета большинство может быть в той или иной степени смоделировано в наземных экспериментах. Принципиально не поддается моделированию в земных условиях лишь состояние достаточно длительной (с биологической точки зрения) невесомости. Вместе с тем можно полагать, что состояние невесомости должно оказывать влияние на протекание процессов роста и индивидуального развития многоклеточных. Например, совершенно ясно, что в земных условиях векторизация процессов прорастания семян и роста растения (скажем, направление роста корня и стебля у проростков) определяется гравитационными силами, по отношению к которым у большинства растений выработались явления положительного и отрицательного геотропизма. Весьма возможно, что гравитация определяет нормальные для земных условий механизмы клеточного деления и определенную упорядоченность в дроблении и дальнейшей дифференцировке оплодотворенных яйцеклеток (например, механизмов гастрюляции, формирование зародышевых листков и начальных стадий онтогенеза). На возможности такого рода указывают некоторые результаты проводившихся до сих пор нашими и американскими исследователями опытов: в первую очередь повышение (повидимому, статистически достоверное) анеуплоидий и аномалий митоза в делящихся во время полета клетках.

Пока является преждевременным планировать биологические опыты для длительных полетов, продолжительностью более полугода; с другой стороны, для рационального жизнеобеспечения в длительных полетах необходимо знание возможных влияний невесомости на рост и развитие живого окружения космонавтов. В связи с этим мы считаем одной из наиболее срочных задач в общем плане биологических опытов, проводимых при космических полетах, разработку методики экспериментов по изучению влияния невесомости на протекание процессов онтогенеза у растительных и животных объектов. Целесообразно начать такие эксперименты на двух видах организмов, быстро развивающихся и достаточно хорошо изученных: растении из семейства крестоцветных — арабидопсисе — и мухе дрозофиле. У арабидопсиса все развитие заканчивается в течение одного месяца (от семени до семени следующего поколения), а у дрозофилы про-

должается примерно две недели. В связи с этим опыты, захватывающие весь или большую часть онтогенеза, могут на этих объектах проводиться в возвращаемых спутниках и других космических объектах с продолжительностью полета от десяти до тридцати дней, а ряд отдельных специальных опытов и при более кратковременных полетах. Основная задача таких опытов — получение первых сведений о возможных влияниях невесомости на онтогенез многоклеточных, протекающий принципиально различно (особенно в отношении онтогенеза) у растений, с одной стороны, и животных — с другой, и создание предпосылок для планирования дальнейших более детальных экспериментов.

## А. Опыты с арабидопсисом

Наиболее удобным и более изученным является вид *Arabidopsis thaliana* (L.) Heyub. У этого вида есть расы, проходящие весь цикл развития примерно за один месяц. Чрезвычайно удобной является возможность выращивания арабидопсиса на агаризованной минеральной среде. Оптимальной для выращивания арабидопсиса является температура 18—27°C. Будучи растением длинного дня, арабидопсис требует освещения от 16 до 24 часов в сутки при освещенности не ниже 5000 люкс. Выращенные на искусственной среде растения не превышают в росте 15 см. Арабидопсис является, как правило, самоопылителем. Общий план опытов по изучению влияния условий космического полета (в первую очередь невесомости) на онтогенез арабидопсиса сводится к следующему. В небольшой освещенный контейнер, содержащий твердую (агаризованную) синтетическую питательную среду, перед стартом космического аппарата высаживаются (концентрическими или параллельными рядами) намоченные семена арабидопсиса, прорастающие семена, проростки перед образованием розетки, растения в стадии розетки, растения в стадии бутонизации и растения в стадии начала цветения. Таким образом, эти разные ряды растений будут далее расти и развиваться в условиях космического полета, начиная с разных стадий онтогенеза. По возвращении на Землю может быть исследовано влияние полета на общий габитус, морфологию корней, стеблей, листьев, соцветий, цветков и стручков, на число

сформировавшихся стручков и семян и, в дальнейших наземных опытах, на процент стерильных семян, морфозы и ненормальности растений, развивающихся из этих семян; все эти признаки сравниваются с наземным контролем (поставленным в такие же контейнеры и условия освещения, с проведением всех манипуляций за исключением полета) и в разных вариантах, развивавшихся в условиях полета, начиная с разных стадий развития. В следующем поколении могут быть проведены соответствующие генетические опыты для установления возможного влияния космического полета на мутационный процесс. Таким образом, опыты с арабидопсисом позволят получить общую картину влияния условий космического полета и в первую очередь состояние длительной (с точки зрения времени развития данного вида) невесомости на протекание мейоза и оплодотворения, формирование зародыша, ранний эмбриогенез и формирование органов взрослого растения.

Естественно, что хорошая подготовка экспериментов к полету связана с соответствующей подготовкой опытов в наземных условиях. Например, необходима наземная подготовка разнообразного по своим биологическим свойствам исходного материала (разных штаммов арабидопсиса), отличающегося по некоторым биологическим признакам, сравнительное изучение которых в условиях полета представляет интерес. Для проведения выше охарактеризованных космических опытов с арабидопсисом представляют интерес полеты разной длительности примерно от 4—5 до 25—30 суток. Весьма существенным при организации биологических опытов в космических аппаратах является максимально возможное сокращение срока между «зарядкой» контейнера и стартом в космос, а также сокращение времени между окончанием полета и доставкой контейнера в лабораторию. Конечно, весьма существенно планирование заранее помещения контейнеров с опытами на космические аппараты с разной длительностью полета.

## Б. Опыты с дрозофилой

Наиболее изученным, как генетически, так и биологически, видом является *Drosophila melanogaster*. При комнатной температуре (20—25°C) средняя продолжительность поколения — около 2-х недель. Эмбриональный период продолжается около суток, личиночный период — около пяти суток, стадия куколки — тоже около пяти суток. Культивировать дрозофилу можно в любых сосудах на твердой агаризованной среде, содержащей дрожжи. Большим преимуществом дрозофилы является возмож-

ность использования в опытах целого ряда генетически отличающихся штаммов, в том числе и таких, которые содержат мутации, вызывающие разные аномалии развития. В посылаемом в опыт материале для последующего точного разграничения поколений можно использовать скрещивания с маркированными определенными мутациями хромосомами.

Исследованию подлежат следующие вопросы. Возможное влияние факторов космического полета, в основном невесомости, на созревание гамет, эффективность скрещивания, оплодотворение, эмбриогенез, процессы роста личинки и формирование органов имаго. Для проведения таких наблюдений необходимо в краткосрочные полеты (3—7 дней) послать одновременно мух, находящихся на разных стадиях развития: еще не копулировавшихся мух, оплодотворенных самок, не начавших кладку, свежее отложенные оплодотворенные яйца, только что вылупившихся личинок, предкуколок и молодых куколок. Число яиц, личинок и куколок во всех вариантах опыта, посылаемых в полет, также как и в синхронизированном на земном контроле, должно быть точно подсчитано. Регистрация результатов опыта должна проводиться одновременно, после возвращения в лабораторию материала из полета, в наземном контроле и опыте. Габариты контейнеров (одинаковых для наземного контроля и опыта) составляют примерно 20×25×15 см. Освещения мух не требуется, а температура должна поддерживаться в пределах 22±3°C. На космических аппаратах с более длительным полетом (10—20 суток) схема опыта отличается в следующих отношениях. Посылаются неоплодотворенные самки с самцами, также как и в предыдущем опыте. Кроме того, посылаются неоплодотворенные самки, изолированные от самцов таким образом, что с помощью простого автоматического устройства изоляция может быть прервана на разных стадиях полета. Таким образом, может быть исследовано влияние продолжительности пребывания в космосе на частоту и эффективность спаривания. Далее ставятся все варианты предыдущего опыта. Последним вариантом, который не ставится специально, является продуктивность следующего поколения, т.е. мух, выведшихся из всех вариантов опыта во время полета, далее скрещивающихся и откладывающих яйца в массовых культурах. В этом последнем случае можно будет установить отклонения от контроля по плодовитости на одну самку, отношению полов, наличию морфологических отклонений у мух, прошедших все развитие в условиях космического полета.

Во всех вариантах двух вышеописанных опытов не предусматриваются какие-либо сложные автоматические манипуляции с муха-

ми и культурами во время полета. Характер получаемых отклонений от наземного контроля выясняется путем применения соответствующих статистических методов при обработке результатов, полученных в контроле и опыте. Из ряда вариантов обоих опытов мухи уже в земных лабораторных условиях подвергаются генетическому анализу для установления возможных влияний условий космического полета на возникновение мутаций, аномалий митоза и мейоза и формирование анеуплоидных особей.

## В. Заключение

Выше кратко описаны схемы первых ориентировочных опытов по изучению возможных влияний условий космического полета (особенно состояния невесомости) на онтогенез арабидопсиса и дрозофилы. Эти опыты не требуют сложной аппаративной или биологической подготовки и могут быть организованы в течение примерно полугода. Для их конкретного планирования неизбежными требованиями являются следующие:

- знание продолжительности полета;
- знание пределов температурных колебаний в соответствующих отсеках;
- максимально возможное сокращение предстартового периода и периода от посадки космического аппарата до получения биологического материала в лаборатории.

В дальнейшем будут разработаны планы ряда специальных опытов в зависимости от результатов ориентировочных экспериментов. Необходимо уже сейчас для дальнейшей разработки и уточнения планов опытов по влиянию условий космического полета на онтогенез привлечь в качестве консультантов двух человек: лицо, знакомое с нужными деталями конструкции спутников и условиями в них во время полета, а также знакомое с условиями возможного ускорения доставки подопытного материала к старту космического аппарата, и лицо, технически осведомленное в конструкции освещаемых контейнеров для опытов с арабидопсисом. Естественно, что при решении соответствующих инстанций о желательности и необходимости проведения вышеописанных опытов надо в течение ближайшего времени начать их подготовку в лабораторных условиях. Для планирования дальнейших опытов можно и желательно подготовить, отобрать и специально изучить ряд штаммов арабидопсиса и дрозофилы, которые позволят расширить круг задач и провести дополнительные уточняющие эксперименты.

Проф.		(Н.В. Тимофеев-Ресовский)
К.б.н.		(В.И. Иванов)
К.м.н.		(Е.К. Гинтер)

## 30 лет спустя

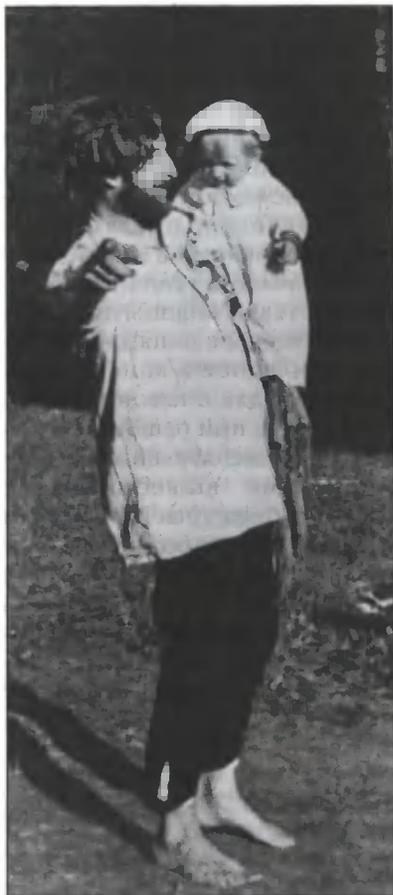
Взглянув на дату письма Николая Владимировича (все письма в семье Тимофеевых-Ресовских писала Елена Александровна под диктовку Николая Владимировича), я с грустью констатировал, что время действительно летит очень быстро. Письмо было написано чуть более 30 лет назад, и уже 20 лет как не стало Николая Владимировича.

1969-й год был тяжелым для Тимофеевых-Ресовских. Тучи над Николаем Владимировичем сгустились, и партийное начальство Обнинска и Калуги требовало от дирекции Института медицинской радиологии его немедленно уволить. Академик АМН Г.А.Зедгенидзе, директор ин-

ститута, сопротивлялся сколько мог, но к этому моменту его возможности исчерпались. Все было решено. Примерно через два месяца после упомянутого письма Николая Владимировича проводили на пенсию. Еще раньше ушла из института Елена Александровна, хотя ей предлагали продолжать работу, но она категорически отказалась. Настроение у сотрудников отдела и лаборатории, которыми руководил Николай Владимирович, было отвратительное. Все валилось из рук, и ничего не хотелось делать. В отличие от всех нас Николай Владимирович держался замечательно. По крайней мере у него ничего не валилось из рук, а интерес к на-

уже отнюдь не уменьшился.

Сейчас трудно вспомнить точную дату, но кажется, в начале 1969 г. Николай Владимирович получил приглашение от Олега Георгиевича Газенко посетить Институт медико-биологических проблем (ИМБП) и принять участие в семинарах. Николай Владимирович принял приглашение с энтузиазмом и к моменту написания письма уже неоднократно бывал в ИМБП. Ездил он туда один по причине секретности института, однако легко можно представить, что происходило на этих семинарах. Николай Владимирович моментально определял содержательную сторону любой биологической работы, при-



Со старшим сыном Дмитрием.  
Биостанция, оз.Глубокое,  
1923 г.

Здесь и далее фото из архива  
Н.В.Тимофеева-Ресовского

чем нередко это не совпадало с тем, как ее представлял докладчик, на всех семинарах обязательно выступал с анализом услышанного, выделением с его точки зрения главного в работе, критикой слабых мест и предложениями, что нужно бы еще сделать.

Проблемы космической биологии не могли не заинтересовать Николая Владимировича. Он стал об этом говорить с сотрудниками лаборатории, в Обнинск приезжали сотрудники ИМБП, хотя семинаров по космическим проблемам я что-то не припомню. Наибольший интерес Тимофеева-Ресовского вызывала не-

весомость и ее возможное влияние на различные биологические функции и процессы, особенно на онтогенез многоклеточных организмов.

Возможно, именно это обстоятельство и появление нового коллектива, где к мнению Николая Владимировича прислушивались (как, впрочем, и везде, где он появлялся), сделали увольнение не очень значимым событием в его научной биографии. В определенном смысле повторялась история с началом работы на закрытом объекте на Урале после Карлага: дали возможность работать над проблемой радиационного загрязнения территорий после ядерных взрывов, и Николай Владимирович создал радиационную биогенеологию — новую науку о судьбе радиоактивных изотопов в природных биогенезах. Правда, теперь ему было уже под 70

и он в опале, почти диссидент, хотя открытых обвинений ему никто не предъявлял. Что-то невнятное сказано в закрытом письме ЦК о его плохом влиянии на молодежь. В то время поступок О.Г.Газенко, пригласившего Тимофеева-Ресовского консультантом в институт, был не просто мужественным, а высоко гуманным. Как мне кажется, это продлило жизнь Николая Владимировича.

Так или иначе, но обсуждение проблемы влияния невосомости на онтогенез многоклеточных организмов, или, как говорил Николай Владимирович, «треп», продолжался в лаборатории радиационной генетики Обнинского института и у него дома. Тогда и вырисовывалась схема возможных экспериментов.

Для дрозофилы суть их сводилась к тому, чтобы получить отдельные культуры мух, испытывавших действие невосомости в течение определенного



На VII Международном  
генетическом конгрессе  
в Эдинбурге. 1939 г.



После заключения. Сунгуль,  
1950—1951 гг.



*Всегда вместе (с женой Е.А. Тимофеевой-Ресовской). Центральная Якутия. 1966 г.*



*На биостанции Миассово. 1963 г.*



*С младшим сыном Андреем в день 80-летия. 1980 г.*

*Фото С.Э.Шноля*

этапа онтогенеза. Так как полное развитие дрозофилы происходит примерно за две недели, то космический полет должен быть относительно коротким. Кроме схемы опыта, предложенной в проекте, предполагались пробирики с мухами, которые должны передвигаться последовательно от одного стаканчика с кормом к другому. На место пробирок с мухами должны становиться пустые пробирки. При 10-дневном полете в первой пробирке вылетят мухи, а в десятой только закончится эмбриональное развитие и начнут появляться личинки первого возраста. Эксперимент предполагал количественную оценку эффективности спаривания мух и нарушения гаметогенеза, а также развития эмбрионов, личинок разных возрастов и имаго. Использование мутантных линий дрозофилы давало возможность различать поколения мух при полете, более

длительном, чем 10 суток. Теоретически в дальнейшем планировалось использование мутантных линий дрозофилы с различными генетическими нарушениями мейоза и развития для более точных оценок.

Принципиально сходная схема была предложена также для арабидопсиса. Все это вылилось в проект плана опытов, который был представлен в Институт медико-биологических проблем. В 1970 г. начал обсуждаться запуск специального биологического спутника. Вероятно, наш проект, наряду с другими, получил одобрение, так как нам предложили связаться с Ленинградским институтом биофизики для формулирования задания и последующего создания макетов установок на спутнике. Оговаривались размеры установок. Помню, что разработчиков установки для дрозофилы беспокоило, что мухи за сутки так будут загаживать место стыка квадратной пробирки и квадратного же стаканчика с кор-

мом, что пробирка будет плохо двигаться к следующему стаканчику.

Кажется, в 1971 г. состоялась встреча с разработчиками спутника. Оказалось, что речь идет о серийных спутниках, которые исходно предназначались для других целей, но их внутренняя компоновка могла быть изменена под биологический спутник. Одновременно, к нашему глубокому разочарованию, выяснилось, что после окончания задания спутник, хотя и садится на парашюте, получает такой удар при приземлении, как при броске с многоэтажного дома. Запуск биоспутника планировался зимой с посадкой в Казахстане. Время поиска спутника исчислялось днями, а температура на его борту, кажется, через час сравнивалась с температурой окружающей среды. Таким образом, большинство условий, оговоренных в нашем проекте как необходимых для его успешной реализации, не выполня-

лось. Мы с В.И.Ивановым официально отказались от участия в дальнейшей работе по биоспутнику. Николай Владимирович расстроился не меньше нашего, когда мы ему все рассказали. Собственно, на этом можно поставить точку в истории с письмом Николая Владимировича и нашим проектом. Насколько мне известно, сходные по содержанию опыты никто не ставил, а жаль. Возможно, что невесомость могла бы стать интересным инструментом для анализа механизмов раннего онтогенеза многоклеточных организмов. Николай Владимирович продолжал работать в качестве научного консультанта в ИМБП еще почти 10 лет, вплоть до своей смерти.

© Е.К.Гинтер,

член-корреспондент РАМН

директор Института

клинической генетики медико-

генетического научного центра

Москва

## Комментарий

Полностью присоединяюсь к сказанному профессором Е.К.Гинтером. Хочу только добавить несколько слов об арабидопсисе. Тогда, 30 лет назад, был арабидопсисный бум. Этот крестоцветный эфемер даже прозвали ботанической дрозофилой. Да и сегодня арабидопсис с дрозофилой не подкачали — их геномы прочитаны полностью одними из первых среди высших многоклеточных организмов. «Прозвание» невесомости (самого труднодоступного для наземного моделирования фактора космического полета), биомеханических аспектов онтогенеза, и тем более растительного объекта с его гео- и фототропизмом, было и остается весьма существенным, особенно в связи с пионерными опытами Н.Л.Делоне на делящихся клетках традесканции, в которых установлено, что именно биомеханические процессы (движение и расхождение хромосом) подвержены влиянию факторов космического полета. Таким образом, приведенные письмо и проект — не анахронизм, но давно осознанная и все еще не решенная научная задача.

© В.И.Иванов,

академик РАМН

директор Медико-генетического научного центра

Москва ■

# «Дорогой друг... Дорогой Миз...»

Из писем Л.И.Мандельштама  
Р.фон Мизесу

## Предварительные замечания

Леонида Исааковича Мандельштама не стало в 1944 г., но до сих пор некоторые российские физики относят себя к его школе — к третьему, а то и четвертому поколению учеников. Настолько высок научный и моральный авторитет его самого и ближайших его сотрудников, составивших ядро коллектива, который получил название «школа Мандельштама».

Мандельштам внес вклад в радиофизику, теорию колебаний, статистическую физику. Его труды по оптике достигли нобелевского уровня. Мандельштаму принадлежит серия работ по рассеянию света, которая завершилась описанием эффекта (1926), получившего название Бриллюэна—Мандельштама (этот эффект называют также вынужденным рассеянием света), и открытием совместно с Г.С.Ландсбергом (1928) комбинационного рассеяния света (на Западе привилось название «эффект Рамана»). Такой же эффект, который Мандельштам и Ландсберг обнаружили в кристаллах, был почти одновременно открыт К.С.Кришнаном и Ч.В.Раманом при исследовании жидкостей, и Раман получил за это в 1930 г. Нобелевскую премию<sup>1</sup>.

Хотя единственный административный пост, который занимал Мандельштам, — это заведующий кафедрой теории колебаний на физическом факультете МГУ, он был весьма влиятельной фигурой, причем не только там, где непосредственно работал (с 1922 г. — в Ра-

диолаборатории треста заводов слабого тока; с 1924 г. — в Центральной радиолаборатории; с 1925 г. — в МГУ, на физическом факультете и в Научно-исследовательском институте физики; с 1934 г. также и в Физическом институте АН СССР), но и вообще в советской физике. Творческий потенциал, принципиальность, доброжелательность привлекали к нему учеников и делали значимыми его суждения, причем не только в области физики. «Вокруг Л.И.Мандельштама существовала обстановка подлинной научной школы, — писал А.А.Андронов, бывший аспирантом Мандельштама в 1925—1928 гг. — Во-первых, он любил учить — в самом прямом значении этого слова — молодых физиков, любил задавать и растолковывать им разные трудные и каверзные задачи, разные «парадоксы». Во-вторых, он непрерывно делился с сотрудниками и учениками своими соображениями и планами будущих работ, ставя перед ними вопросы, из которых вырастали научные исследования»<sup>2</sup>.

Согласно воспоминаниям, Леонид Исаакович был блестящий университетский преподаватель, приближавший преподавание к исследованию. Хотя он не оставил учебника по какой-либо физической дисциплине, его лекции и семинары (теория колебаний, оптика, теория относительности, квантовая механика) стали той книгой, которая учила, как говорил С.М. Рытов, тоже ученик Мандельштама, «физически мыслить»<sup>3</sup>.

О Мандельштаме сказано и много и мало. Канонической биографией стал «Краткий

Представлены результаты исследования, поддержанного программой Фулбрайт и Российским гуманитарным научным фондом.

<sup>1</sup> Попытка разобраться в истории с открытием комбинационного рассеяния света и получением Нобелевской премии за это открытие была предпринята И.Л.Фабелинским. См.: Успехи физических наук. 1978. Т.126. С.124—152; 1998. Т.168. С.1341—1354.

<sup>2</sup> Андронов А.А. Л.И.Мандельштам и теория колебаний // Академик Мандельштам: К 100-летию со дня рождения. М., 1979. С.105.

<sup>3</sup> Записи лекций и семинаров Л.И.Мандельштама составили 4-й и 5-й тома пятитомного Полного собрания трудов Л.И.Мандельштама и переиздавались в виде отдельных книг.



Леонид Исаакович Мандельштам.

очерк», написанный его другом и соавтором Н.Д.Папалекси и дополненный очерком московского периода, написанным Г.С.Ландсбергом, И.Е.Таммом, С.М.Рытовым, М.А.Леонтовичем и Г.С.Гореликом. Эти страницы, предваряющие Полное собрание трудов Мандельштама, содержат уникальный и важный материал о его творческом пути. Тем не менее они далеки от идеала строго документированной научной биографии.

В 1979 г. вышла книга «Академик Л.И.Мандельштам. К 100-летию со дня рождения». В ней воспроизведен упомянутый «Краткий очерк», а также собраны воспоминания и выступления, посвященные памяти Леонида Исааковича. Значение этой книги нельзя недооценивать. Но существуют исторические источники различных уровней надежности. К самым надежным относятся письма, дневники, записные книжки. В книге «Академик Л.И.Мандельштам. К 100-летию со дня рождения» помещены 36 писем, однако только семь из них написаны Мандельштамом, остальные адресованы ему. Еще несколько писем, адресованных Мандельштаму, нетрудно обнаружить в Архиве РАН (Ф.1622).

Итак, можно сказать, что историкам почти не довелось прикоснуться к эпистолярному наследию выдающегося ученого или хотя

бы с уверенностью предположить, что оно будет обнаружено. Тем интереснее документы, о которых пойдет речь. В Архиве Гарвардского университета (HUG 4574. 5. Boxes 1—3) хранится 39 писем Мандельштама и его жены Лидии Соломоновны, написанных в интервале с 1918 по 1937 г. и адресованных крупному немецкому специалисту по механике и прикладной математике Рихарду фон Мизесу (1883—1953). Мандельштам и фон Мизес встретились в Страсбурге за несколько лет до начала первой мировой войны. Мандельштам, окончивший физико-математический факультет Страсбургского университета им.кайзера Вильгельма, вскоре стал доцентом и затем профессором на этом факультете и научным сотрудником Института физики. Фон Мизес, окончивший Венский технический университет, защитивший диссертацию по механике, прибыл в Страсбург, чтобы занять пост экстраординарного профессора прикладной математики.

В Страсбурге началась их дружба, которая не прекратилась и тогда, когда они оказались разделенными войной в Европе, а затем и революцией в России. Памятником этой дружбы стали письма, с некоторыми из них предстоит познакомиться читателю. В соответствии с пожеланием редакции в публикуемых письмах сделаны нечувствительные в смысловом отношении купюры.

Мандельштама и фон Мизеса связывали общие научные интересы. В первую очередь здесь должна быть упомянута теория дифференциальных уравнений, в которую Мандельштам углублялся по мере продвижения к высотам теоретической физики и которая составляла одно из основных направлений научной и педагогической деятельности фон Мизеса. Составленный им и его другом Филиппом Франком двухтомник «Дифференциальные уравнения в частных производных» (первое издание — в 1925 и 1927 г.) стал настольной книгой нескольких поколений ученых<sup>1</sup>.

Оба, Мандельштам и фон Мизес, интересовались также вопросами теории вероятностей и статистической физики. Однако главным, что связывало их научные интересы, была, по-видимому, философия науки, проблемы структуры и функций научного знания. Во всяком случае Николай Дмитриевич Папалекси, товарищ Леонида Исааковича со студенческих лет, вспоминал, как Мандельштам

<sup>1</sup> Как пишет Франк и Мизес, в основу книги ими был положен курс уравнений в частных производных Б.Римана и Г.Вебера, изданный в 1900—1901 гг. (а этот курс в свою очередь вырос из лекций Римана: Riemann B. Partielle Differentialgleichungen der Physik, 1869). В 1930 г. двухтомник Франка и Мизеса был переработан и переиздан под названием «Дифференциальные и интегральные уравнения механики и физики». Русский перевод этого второго издания вышел в 1937 г.

и фон Мизес обсуждали проблемы оснований физики. «Леонид Исаакович часто беседовал с Мизесом, прекрасным математиком с острым умом, который также находил удовольствие в строгих логических построениях и в установлении тонких логических различий. Дискуссии о роли аксиоматики в логическом обосновании механики и точных наук, в частности статистической физики, базирующейся на теории вероятностей, большим знатоком которой являлся Мизес, удовлетворяли потребностям ума Леонида Исааковича в полной ясности мысли. Все это наряду с мыслями А. Пуанкаре, изложенными в его прекрасной книге «Наука и гипотеза», немало помогло Леониду Исааковичу полностью разобраться и создать в последние годы, уже в Москве, законченное и внутренне непротиворечивое обоснование статистической физики»<sup>5</sup>.

Папалекси, по всей видимости, имеет в виду лекции Мандельштама о квантовой механике (1939), в которых эта теория интерпретировалась со статистической (ансамблевой) точки зрения, близкой идеям фон Мизеса.

Публикуемые письма позволяют отчасти по-новому судить о творческом пути Мандельштама. Во-первых, проступает значение страсбургского периода: Мандельштам возвращается к своим страсбургским годам, вспоминая великого Альберта Эйнштейна, который заинтересовался его работами, и своего учителя Фердинанда Брауна. Чувствуется, что Мандельштам мысленно продолжает начавшиеся в Страсбурге дискуссии с фон Мизесом об основаниях теории вероятностей и статистики. Становится ясно, что он способствовал скорейшему переводу на русский язык книги фон Мизеса «Вероятность, статистика и истина», выразившей тот подход к теории вероятностей, который сложился у фон Мизеса еще в Страсбурге<sup>6</sup>. Во-вторых, эти письма рисуют, так сказать, текущие жизненные перипетии: надежды уехать за границу для продолжения полноценных исследований, изначальную антипатию к преподаванию в советской высшей школе, смену настроения после поступления на работу в МГУ в 1925 г., круг чтения и т.д.

Как известно, имя Мандельштама оказалось в центре идеологической кампании конца 40-х — начала 50-х годов, нацеленной против «космополитизма» и «буржуазных влияний» в советской науке. Он был посмертно обвинен



Рихард фон Мизес.

в идеализме и операционализме<sup>7</sup>. Интересно, однако, что даже сегодня обсуждение этих вопросов идет в плане реабилитации. Так, А.С.Сонин в автореферате докторской диссертации (2000) пишет, что был убедительно доказан стихийный материализм Мандельштама. Между тем из писем следует, что Мандельштам сочувствовал позитивистской философии, классиком которой был фон Мизес.

Фон Мизес в период, на который приходится его переписка с Мандельштамом, публиковал работы по прикладной механике и математике, по основаниям теории вероятностей и математической статистике. Почти все его книги по теории полета и гидродинамике были переведены и изданы в СССР. Выше уже упоминалась его философская по характеру книга «Вероятность, статистика и истина», русскому изданию которой способствовал Мандельштам.

В 1920 г. фон Мизес занимает пост ординарного профессора прикладной математики Берлинского университета (в настоящее время Университет им.К.Гумбольдта) и директора Института прикладной математики. С 1921 г. он издавал «Zeitschrift für angewandte

<sup>5</sup> См.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. М., 1948. Т.1. С.20.

<sup>6</sup> Mises R. von. Wahrscheinlichkeit, Statistik und Wahrheit. Wien, 1928. (Русское издание вышло под редакцией А.Я.Хинчина в 1930 г. под названием «Вероятность и статистика». Интересно, что английский перевод этой книги появился лишь в 1939 г. Это был перевод второго издания, вышедшего в 1936 г.)

<sup>7</sup> Сонин А.С. «Физический идеализм»: История одной идеологической кампании. М., 1994.

*Mathematik und Mechanik* («Журнал прикладной математики и механики»), который продолжает свою жизнь и в наши дни.

В 1933 г. фон Мизес переезжает в Турцию. Там он — профессор Стамбульского университета. С 1939 г. — профессор аэродинамики Гарвардского университета (США).

В турецкой эмиграции он публикует свои основные философские труды — большую статью об Эрнсте Махе, приуроченную к его столетию (1938), и «Маленький учебник позитивизма» (1939), на самом деле весьма объемистую книгу. В 1951 г. в США фон Мизес издает английскую версию своего «Маленького учебника», озаглавленную «Позитивизм: ис-

следование человеческого понимания» (Cambridge, Mass., 1951).

Переписка фон Мизеса с Мандельштамами неожиданно прекращается в 1937 г. Еще раньше имя Мандельштама исчезает из списков лиц, которым фон Мизес рассылает отписки своих статей и экземпляры своих книг. Скорее всего здесь сказалась политическая ситуация в СССР: советские ученые, поддерживавшие неформальные контакты с западными коллегами, имели, так сказать, неприятности.

© А.А.Печенкин,

доктор философских наук

Институт истории естествознания и техники РАН  
Москва

**30.10.1918. Одесса**

Дорогой друг,

вряд ли Вы можете себе представить, как мы обрадовались, получив вести от Вас. Три месяца назад я уже подробно писал Вам о нас, но поскольку Вы этого письма не получили, то придется повториться.

Но прежде хотел бы сердечно поблагодарить Вас за то, что Вы прислали свои труды, они меня очень заинтересовали. <...>

О нас особенно нечего рассказывать. Все это время дела шли вполне хорошо. Сначала около двух лет мы жили в Петербурге, потом в Тифлисе, где я работал в Технической высшей школе, а сейчас меня пригласили сюда в недавно образованный Политехникум<sup>1</sup>. В военные годы заниматься научной работой почти не представлялось возможным. Для этого фактически ничего не было. Недоставало более или менее приличной лаборатории. С книгами дела тоже обстояли неважно. И вообще не было соответствующего настроения. Время от времени я пробовал заниматься, но лишь незначительными вещами. О публикациях, разумеется, не могло быть и речи.

Очень сомневаюсь, что сейчас станет намного лучше, так как того, что здесь имеется из приборов и т.п., недостаточно, а получить что-нибудь новое в настоящий момент невозможно. Будем надеяться, что вскоре все изменится.

С книгами и в особенности с журналами дело обстоит плохо. Я практически не знаю ничего, что за это время было наработано. Остаться без лаборатории и литературы не очень-то приятно.

Как бы мне хотелось побольше узнать о Вас. Надеюсь, что вскоре появится возможность повидаться. Это было бы для меня по-настоящему большой радостью. Пока что напишите подробно о себе и страбургцах, особенно когда узнаете что-нибудь о Рохмане<sup>2</sup>.

Страшно грустно было узнать от Вас о смерти многих людей, особенно меня потрясла весть о кончине Брауна<sup>3</sup>. Я был очень привязан к нему, и для меня это огромная потеря.

Надеюсь, это письмо дойдет до Вас, сообщите как можно скорее.

**Сердечный привет.**

**Ваш Л.Мандельштам.**

<sup>1</sup> В Одесском политехническом институте Мандельштам работал с 1918 по 1922 г.

<sup>2</sup> Генрих Рохман — один из сотрудников Страсбургского института физики. Товарищ Мандельштама.

<sup>3</sup> Фердинанд Браун (1850—1918) — учитель и наставник Мандельштама. Лауреат Нобелевской премии (вместе с Э.Маркони, 1909).

**24.09.1921. Одесса**

Дорогой друг,

Вы и представить себе не можете, как мы радовались Вашему письму. Мы до такой степени привыкли к многолетней изоляции, что всякая весточка из иного-мира — событие. А тут целое письмо с новостью, что у Вас все в порядке. Это по-настоящему радостный подарок. Как замечательно, что у Вас в Берлине такие хорошие условия для работы.

Про себя не могу сказать много нового. О научной работе в настоящее время думать не приходится, по ряду причин лабораторные исследования здесь организовать невозможно. Свежей литературы, за исключением немногих случайных вещей, мы не получаем уже несколько лет. И в основном библиотека очень бедная. Так что и теоретическая работа очень осложнена.

Вы, наверное, можете себе представить, каким интересом наполнил меня упомянутый Вами вопрос и как я был бы счастлив, если бы Ваши контакты с Эйнштейном привели к положительному

результату. Одно из самых моих больших желаний было бы выполнено<sup>1</sup>.

Мы весьма благодарны Вам за дружеские усилия, которые Вы приложили к нашим делам. Очень прошу Вас положить деньги в сберегательную кассу. Также благодарю Вас за Вашу готовность присылать книги и журналы. Для меня это исключительно важно. Очень просил бы Вас стоимость книг и другие затраты покрывать из денег, которые будут лежать в сберкассе. Как я разузнал, существует только одна возможность пересылать книги, а именно — по почте в Политехнический институт на мое имя. Но поскольку я не убежден, что этот путь надежен, то попросил бы Вас сделать пробную посылку. Мне хотелось бы получить: Г.Вейль. «Пространство, время, материя»; и, быть может, Мёллер. «Электронные лампы» (думаю, издательство «Vieweg»). Я слышал от одного московского коллеги, что Ваше разное — об исчислении вероятностей, о проблемах полета и т.д. — опубликовано. Нет необходимости объяснять, как заинтересовали меня эти работы и как бы я был благодарен, если бы Вы смогли их прислать. Если бы пробная посылка удалась, то из других вещей я взял бы прежде всего журналы. Пришлите физическую и математическую литературу (и, возможно, другую) по Вашему собственному выбору. Но сначала посмотрим, как дойдет пробная посылка. <...>

<sup>1</sup> А.Эйнштейн был знаком с трудами Мандельштама (см. его письмо Леониду Исааковичу от 27 января 1913 г., опубликованное в сборнике «Академик Л.И.Мандельштам. К 100-летию со дня рождения», с.58), и, возможно, речь идет об их совместной работе.

### 12.01.1922. Одесса

Дорогой друг,

самое сердечное спасибо за дружеское письмо, которое я получил вовремя (оба экземпляра)<sup>1</sup>. Благодарю Вас и за присылку Вашего журнала, который доставил мне много удовольствия. Ваша прекрасная работа об итерациях мне очень понравилась<sup>2</sup>.

Что касается нас, то дела обстоят следующим образом. После Вашего письма я сразу же стал искать пути и предпринял некоторые шаги, чтобы последовать Вашему дружескому совету, который совершенно совпадает с нашим собственным желанием. Об этом я говорил со здешним немецким представителем в организации для помощи военнопленным. Он объяснил, какие существуют формальности с немецкой стороны, но посоветовал сначала выполнить здешние формальности. Однако здесь все обстоит не так просто. Выясняется, что даже если речь пойдет о делегировании, это дело отнимет много времени, так как оно не может быть решено на месте. Кроме того, даже положительное решение не дает гарантий. Но я бы сделал все от меня зависящее, чтобы достичь це-

ли, и надеюсь, что это удастся, если и не сразу, то все же в обозримом будущем.

Во всяком случае буду пытаться. Как только у меня в руках окажется что-то определенное, поставлю Вас в известность и вообще буду держать Вас в курсе. <...>

Должен поблагодарить Вас также за Ваши хлопоты, связанные с книгами и журналами. Больше всего я хотел бы получить следующие книги: Герман Вейль. «Пространство, время, материя», Макс Лауэ. «Принцип относительности». Т.1 и 2 (особенно мне нужен второй том), далее:

Г.Мёллер. «Электронные лампы»,

А.Гааз. «Введение в теоретическую физику». Т.1, 2,

Р.Фюрц. «Колебательные явления в физике».

Был бы очень благодарен, если бы Вы помимо названных вещей добавили что-нибудь по своему выбору. Ведь мои знания о новой литературе совершенно случайны. Я был бы Вам очень обязан, если бы Вы оплатили стоимость из моих денег.

Если позволите, побеспокою Вас еще одним вопросом. Я уже писал, что, к сожалению, нормальная работа здесь была невозможна. Все-таки я попытался сделать несколько небольших вещей. Одна из них касается интегральных уравнений. Здесь очень не хватает новой литературы, да и старой совершенно недостаточно. Поэтому не могу судить, стоит ли это вообще публиковать. Речь идет о колебаниях «нагруженной» системы, например, стержня, закрепленного с одного конца и несущего где-то на свободном конце некую массу, или электрического провода, нагруженно-го самоиндукцией, и т.д.<sup>3</sup> <...>

<sup>1</sup> Поскольку связь через почту была ненадежна, Мандельштам и фон Мизес часто пользовались оказией и дублировали свои письма.

<sup>2</sup> Речь идет о статье «Das Problem der Iteration», опубликованной в издаваемом фон Мизесом журнале: «Zeitschrift für angewandte Mathematik und Mechanik» (Bd.1. 1921. S.298—307).

<sup>3</sup> Далее идет описание интегрального уравнения, близкого к тому, которое Мандельштам рассматривал в своих «Лекциях по теории колебаний», прочитанных в 1932/33 учебном году (см.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. 1955. Т.4. С.453 и далее).

### 18.06.1922. Одесса

Дорогой друг,

давно хотел ответить на Ваши дружеские письма. Но последнее время полностью ушел в болезнь жены. Она заболела сыпным тифом, и мы пережили много тяжелых недель. Сейчас она на пути к выздоровлению, но пока слаба и будет довольно долго лежать в постели.

Сердечно благодарю Вас за все, что Вы для нас делаете. Из книг я получил Зоммерфельда, а до этого оба Ваши доклада, которые меня очень заинтересовали. Недавно пришла Ваша теория полета, которую я теперь читаю с большим удовольствием. <...>

От всего сердца благодарю Вас за заботу и продовольственную помощь, которую Вы нам оказываете. Я только совсем недавно узнал, что проф. Каган написал Вам о нас<sup>1</sup>. Мне стало довольно-таки неловко и до сих пор еще это ощущение не прошло.

Мы получили посланный Вами 10-долларовый пакет от АРА и два таких же пакета из Голландии. Эти посылки были для нас в то тяжелое время колоссальным подспорьем. Сомневаюсь, что другие упомянутые Вами посылки придут скоро. Я также получил любезное письмо от г-на Линца. Еще раз сердечное спасибо. Не беспокойтесь теперь больше об этом. Мы довольно хорошо обеспечены продуктами, и я перехожу к вопросу, который для меня сейчас главный. Кажется, теперь перспективы отъезда отсюда станут реальнее, так как администрация легче дает необходимое для этого разрешение, и наше дело приобретает более осязаемый и более конкретный характер.

Учитывая то обстоятельство, что с момента Ваших писем прошло много времени, напишите, должен ли понимать Вас так, что мог бы рассчитывать на академическое место в Германии, или речь идет только о возможности устроиться в какой-либо технической фирме, которая знает, что мои интересы лежат в сфере науки и что я рассматриваю технику как внешнее условие.

Возможность там у Вас заниматься наукой на скромных условиях отвечала бы моим самым сокровенным желаниям.

Еще раз сердечное спасибо за все. Моя жена и Серж<sup>2</sup> передают Вам самый большой привет и благодарность. <...>

<sup>1</sup> Вениамин Федорович Каган (1869—1953) — советский математик и историк геометрии. В Архиве Рфон Мизеса содержится несколько писем от В.Ф.Кагана. В.Ф.Каган упоминается также в письме от 09.02.1928.

<sup>2</sup> Серж (Буби) — сын Мандельштамов Сергей Леонидович (1910—1990). Член-корреспондент РАН, специалист в области спектроскопии.

**11.01.1923. Москва<sup>1</sup>**

Дорогой Миз,

уже 6 недель как мы здесь (мой муж, Буби, Папалекси и я). Мы посылали Вам привет через знакомого, который должен был зайти и рассказать о нас. Думаю, он это сделал. У нас дела идут пока неплохо. Мне лучше, чем в Одессе, но муж чувствует себя по-прежнему плохо. Серж тоже не пришел в себя. А у меня были большие надежды на маленькие изменения. Только я становлюсь все толще и толще, для меня наша сегодняшняя жизнь слишком спокойна. <...>

Жизнь здесь в Москве мне совсем не нравится. Леня был недавно в Петрограде и говорит, что там приятнее. Здесь у нас милая, совсем маленькая, отапливаемая (!) квартира. Живем сытно,



*Леонид Исаакович и Лидия Соломоновна Мандельштамы во дворе Московского университета. 1944 г.*

и страшно то, что к этому быстро привыкаешь и совсем ничего не замечаешь. Как будто так было всегда. Черный хлеб ведь мы больше не едим. А еще несколько месяцев назад ссорились из-за кусочка плохого черного хлеба. Бедность некрасива, а уж человеческая натура и того хуже.

Все это не оставляет красивых моральных воспоминаний. С большим сожалением видим, что экономическое положение Германии становится критическим. Много напоминает нам то, что пережили мы. Будем очень рады, если получим от Вас письмо. Я всегда буду Вам благодарна не только за материальную помощь, но и за моральную, которую мы находим в Ваших письмах.

Посылаем Вам привет. Серж и я.

**Лидия Мандельштам.**

<sup>1</sup> Письмо Лидии Соломоновны Мандельштам. Н.Д.Папалекси пишет: «Осенью 1907 г. произошло очень важное событие в личной жизни Леонида Исааковича — его женитьба на Лидии Соломоновне Исаакович, первой русской женщине, получившей диплом архитектора в 1906 г. в Париже» (см.: Мандельштам Л.И. Полное собрание трудов. Т.1. С.10). Лидия Соломоновна умерла в 1972 г. в возрасте 76 лет.

**23.01.1923. Москва**

Дорогой друг,

давно не получали вестей от Вас, их нам очень не хватает. Мы всегда радуемся Вашим письмам. Вы, наверное, знаете, что мы уже некоторое время находимся в Москве. Я занял здесь место, которое дает мне возможность в самое ближайшее время

(через 3—4 недели) на несколько месяцев поехать в Германию. Впрочем, если все получится, как задумано<sup>1</sup>.

О том, что мы в материальном отношении живем здесь совсем хорошо, напишет моя жена. Самые плохие времена, надеюсь, уже позади. Одно сейчас вижу яснее, чем раньше: тем, что мы вообще пережили эти черные времена, мы обязаны главным образом Вам.

Как дела вообще и лично у Вас? То, что мы здесь читаем, наполняет меня большой тревогой. Но надеюсь, что у Вас все хорошо. С радостью думаю о том, что скоро увидимся. <...>

<sup>1</sup> См. также предыдущее письмо Л.С.Мандельштам. Поездка состоялась 26 марта 1923 г. Мандельштам отправил фон Мизесу, который жил тогда в Вене, письмо из Берлина.

### 10.03.1924. Ленинград

<...> У нас здесь всякое творилось, а в конце декабря я очень плохо чувствовал себя физически и должен был на некоторое время поехать на юг. Но несмотря на неудачное время года, я за пару недель, которые провел в Крыму и Одессе, хорошо отдохнул. И тут я должен был принять новое решение, что мне, как правило, дается нелегко.

По возвращении из Берлина я стал профессором в Инженерном институте в Москве (Московском институте путей сообщения. — *АЛ.*), но затем, после окончания семестра, ушел по различным причинам. Приглашение в университет в Одессу я отверг, и мы решили отправиться в Петербург. Хочу пока оставаться в промышленности, так как академическая работа не очень сейчас радует. С другой стороны, я получаю под свою от-

ветственность лабораторию, где, как я надеюсь, смогу что-то делать. Это не слишком меня устраивает, но, к сожалению, работа в высшей школе имеет свои скрытые теневые стороны, с которыми я не могу полностью подружиться.

В ближайшее время воспользуюсь Вашим расположением, чтобы обратиться с просьбами о литературе. Но я был бы Вам очень благодарен, если бы Вы сообщили сначала, можно ли и по какой цене купить полный комплект Вашего журнала. Это письмо я пишу из Петербурга (теперь Ленинград), где мы живем в гостинице и надеемся снять квартиру. Как только что-нибудь найдем, поедем в Москву, а затем вернемся окончательно сюда. <...>

29.06.1926. Москва

Дорогой друг,  
долго не писал Вам. Как так получилось, и сам толком не знаю. Много раз собирался, но руки не доходили.

Некоторое время думал, что мне удастся поехать в Германию, и радовался предстоящей встрече с Вами. Однако в этот раз не получилось.

Как Вы знаете, мы уже восемь месяцев живем в Москве. В общем и целом я доволен своей теперешней деятельностью. Если говорить о педагогической работе, то меня устраивает, что приходится иметь дело со старшекурсниками, которые более или менее подготовлены для восприятия.

Кроме того, у меня есть несколько учеников, которые могут и хотят заниматься научной работой. В прошлом семестре мы рассмотрели несколько теоретических вопросов, среди прочего



*С Николаем Дмитриевичем Папалекси, который держит на руках внучку Мандельштама Татьяну. Боровое, 1942 г.*

я одному из молодых людей дал разработку вопроса о принципе действия электромагнитного прерывателя, о чем Вам в свое время говорил<sup>1</sup>. Теперь я уже толком не знаю, стоит ли публиковать эту статью на немецком языке и в каком журнале? Думал о «Zeitschrift für Physik». Для Вашего журнала я считаю эту работу недостаточно интересной в математическом плане. Может быть, Вы разрешите подослать Вам несколько поздней рукописи? Был бы Вам очень благодарен, если бы Вы сообщили мне Ваше мнение. Сам я, к сожалению, многого не смог сделать в этом семестре, так как в первые месяцы время было занято всякими другими делами. Надеюсь, теперь станет легче. Что же касается возможности вести экспериментальную работу, то остается надеяться на перемены к лучшему. Прежде всего дело в том, что меня позвали заниматься теоретической физикой, так что у меня нет своей лаборатории. Впрочем, когда меня приглашали, я выговорил себе устройство такой лаборатории. Специальные помещения есть. Но сейчас при общей нехватке средств довольно-таки трудно достать необходимые приборы и оборудование. Впрочем, надеюсь, что с этим будет лучше в следующем семестре. Я по-прежнему тесно связан с промышленностью и поэтому должен часто ездить в Петроград. Сейчас у нас каникулы, и мы все отправляемся сначала на некоторое время в Одессу, а затем, возможно, в Крым. <...>

<sup>1</sup> Имеется в виду МА.Леонтович.

**9.02.1928. Москва**

<...> Мы последнее время пережили не слишком радостные дни, много семейных хлопот и т.п., которые и сейчас не до конца миновали<sup>1</sup>. У нас троих все неплохо, по крайней мере внешне. Много работы, главным образом со студентами 5-го курса, из которых некоторые довольно толковые.

Один из моих ассистентов и в прошлом ученик, г-н Тамм, на несколько месяцев поехал по приглашению Г.А.Лоренца в Лейден, что меня очень радует.

Мы здесь заняты главным образом проработкой мелких теоретических вопросов. К сожалению, и это страшно досадно, никак не получается с устройством лаборатории.

В последнее время я очень интересуюсь волновой механикой. Как бы хотелось обсудить с Вами некоторые вопросы. Может быть, удастся все же на некоторое время приехать в Германию, правда, до сих пор это не получалось. Вероятно, мне просто не хватает энергии, так что надежды я не теряю. Возможно, уже в ближайшие летние ка-

никулы увижу Вас<sup>2</sup>.

Одной из самых больших моих радостей за последние месяцы были присланные Вами книги. Просто не знаю, как Вас за это благодарить. Второй том Римана — Вебера, кажется, содержит очень ценный материал<sup>3</sup>. Впрочем, я не успел все основательно прочесть. Ваш первый том стал для нас здесь совершенно необходим. При чтении переписки между Гауссом и Гарлингом я испытал страх и радостный трепет. Весь том производит впечатление исключительно приятное и успокаивающее. И книга про Ома мне была очень интересна. Пишу, и у меня возникает желание увидеть Вас снова. Действительно, Вы не можете себе представить, как для меня важна встреча с Вами.

Теперь хотел бы Вам сказать пару слов о переводе Вашей новой книги<sup>4</sup>. Я говорил о ней с проф. Каганом, который возглавляет научный отдел Государственного издательства. Он собирается Вам написать или, возможно, уже написал. Почему я не распространяюсь далее на эту тему, Вы, возможно, поймете из его письма. Со своей стороны я горю нетерпением почитать Вашу книгу. И очень желательно, как я считаю, чтобы она была переведена на русский. Надеюсь, Вы не заставите долго ждать от Вас новостей.

С сердечными приветями от моей жены и Сержа.

**Ваш Л.Мандельштам.**

<sup>1</sup> Был арестован родственник Л.С.Мандельштам.

<sup>2</sup> Как следует из письма группы физиков Мандельштаму в Берлин («Академик Л.И.Мандельштам. К 100-летию со дня рождения», с.64), в 1930 г. он был в Берлине и останавливался у фон Мизеса.

<sup>3</sup> Подразумевается второй том «Дифференциальных уравнений...» Франка и Мизеса (см. сноску 4 к вступительным замечаниям).

<sup>4</sup> Речь идет о русском издании философской книги фон Мизеса «Вероятность, статистика и истина» (см. предисловие).

**27.04.1929. Москва**

<...> Правда, у нас все хорошо, как и было сказано. Я получил новое помещение, некоторые средства для лаборатории и надеюсь, что теперь экспериментальная работа будет продвигаться бесперебойно и спокойно. Примерно 14 дней назад мы получили новую квартиру, которая по здешним условиям очень хорошая. Теперь мое самое большое желание — увидеть Вас этим летом. Но будет ли такая возможность, к сожалению, сомнительно.

Пока что напишите нам поскорее.

С сердечным приветом. **Ваш Л.Мандельштам.**

Мой сердечный привет. **Лидия**

**Мандельштам.**

7.06.1935. Москва

Дорогой друг,

директор тамошней Высшей технической школы (судостроения) попросил меня узнать, склонны ли Вы в принципе приехать в сентябре в Одессу и там выступить на какую-либо тему (по Вашему усмотрению). В случае согласия институт предпринял бы какие-то шаги договориться по поводу въездной визы. Подходит ли Вам сентябрь, например вторая половина?

Могли бы Вы отложить поездку, если виза не будет готова к сентябрю?

Физический институт Университета здесь, в Москве, очень заинтересован в Вашем приезде и очень просил, если Вы окажетесь в СССР, посетить Москву. Поездку туда и обратно паромом или поездом, а также расходы по пребыванию в Одессе, возьмет на себя Высшая школа.

То же самое касается московского пребывания.

Мне не нужно Вам говорить, насколько мы радуемся предстоящему общению с Вами. Я буду ждать Вашего ответа с большим нетерпением. Напишите как можно скорее, чтобы Ваш возможный положительный ответ передать тут же в соответствующие инстанции<sup>1</sup>.

Мы уже так долго не имели новостей от Вас и даже не знаем, как идут Ваши дела. Как поживает Frau Dr.<sup>2</sup>?

Пожалуйста, напишите об этом.

С сердечным приветом

**Ваш Л.Мандельштам.**

<sup>1</sup> Поездка фон Мизеса в СССР тогда не состоялась.

<sup>2</sup> Хильда Гейрингер — студентка, ассистентка и подруга фон Мизеса, ставшая, уже в США, его женой.

15.03.1937. Москва

Дорогой друг,

я самым глупым образом упустил возможность сразу же написать Вам по получении Вашей открытки, которая нас очень обрадовала. Вскоре после этого я заболел. У меня опять начались приступы. То ли это желчный пузырь, то ли что-то другое. Господа медики понять не могут.

Мы с женой ездили в санаторий под Москвой. Теперь все снова в порядке, и через несколько дней я примусь за работу. А так — больше никаких новостей. Серж очень много работает в Институте<sup>1</sup>. У меня тоже довольно много дел. Благодарю Вас за то, что прислали второе издание Вашей книги, получение которой я, впрочем, уже в свое время подтвердил, как и получение оттиска<sup>2</sup>. С очень большим удовольствием прочел Вашу книгу. Обо многом охотно поговорил бы лично. Итак, огромное спасибо и за оттиск. Когда же появится Ваш «Маленький учебник позитивизма»? С нетерпением жду. Большой привет Frau Dr. <...>

С сердечным приветом.

**Ваш Л.И.Мандельштам.**

Дорогой Миз! Большое спасибо за Вашу открытку. Я рада, что Ваши дела идут хорошо. Как дела у Вашей матушки?<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Сергей Леонидович с 1935 г. работал в Физическом институте Академии наук.

<sup>2</sup> Имеется в виду «Вероятность, статистика и истина».

<sup>3</sup> Приписка Лидии Соломоновны

© Перевод с немецкого, публикация и комментарии **А.А.Печенкина** ■

**Космические исследования.  
Картография**

**«Индевор»  
картографирует Землю**

В феврале 2000 г. на космическом аппарате-челноке «Индевор» («Endeavour») была реализована 11-суточная программа по радарному картированию земной поверхности. Руководство программой осуществляла Лаборатория реактивного движения НАСА США.

На протяжении 11 сут «Индевор» находился на орбите высотой 240 км с наклоном 57° к экватору, совершая один виток вокруг Земли за 90 мин. Благодаря своим мощным радарным антеннам аппарат смог получить изображения наземных объектов с высоким разрешением в 30 м.

Специалисты Корнеллского университета приступили к анализу собранной информации и составлению топографических карт «глухих уголков» Анд, где ранее никогда не проводилась ни наземная топографическая съемка, ни аэрофотосъемка. Они надеются получить точные сведения об эрозионных процессах, выяс-

нить строение речной системы, а в будущем — оценить скорость тектонических движений, ход орогенеза.

Geotimes. 2000. V.45. №4. P.10 (США).

**Астрономия**

**Каталог экзопланет  
пополняется**

Открытия экзопланет еще недавно считались сенсацией. Но прошло всего пять лет со времени обнаружения первой из них, и специалисты, осуществляющие поиск внесолнечных планет, даже перестали сообщать об открытии отдельных объектов: ждут, пока новых экзопланет не накопится с десяток. В этом нет ничего удивительного: методика отработана, и поиск звезд, обладающих периодическими колебаниями лучевой скорости из-за притяжения невидимой планеты, превратился в рутинную наблюдательную работу.

Опубликованный ранее каталог экзопланет<sup>1</sup> насчитывает 29 объектов, но уже к сентябрю 2000 г. их число достигло 49. В данной таблице приводятся сведения о внесолнечных планетах, не вошедших в предыдущую вер-

сию каталога. (Все данные — по каталогу Шнайдера<sup>2</sup>.)

Все эти данные относятся к планетам, которые, как и предыдущие, обнаружены одним и тем же методом — по измерениям колебаний лучевых скоростей. Пока другим методом независимо подтверждено существование только одной планеты: осенью 1999 г. удалось наблюдать затмения звезды HD 209458 ее спутником. Кроме надежных, каталог Шнайдера содержит также данные о 14 неподтвержденных планетах.

Открытие двух десятков новых планет означает не просто увеличение выборки. Новая группа объектов принесла и важные качественные результаты. Во-первых, среди новых планет наконец-то появились объекты с массой меньше массы Сатурна (0.3  $M_{\text{Ю}}$ ; см. табл.). Хотя метод лучевых скоростей в основном ориентирован на обнаружение массивных планет, некоторую тревогу вызывал тот факт, что подавляющее большинство экзопланет по массе в несколько раз превосходят Юпитер.

<sup>1</sup> См.: Сурдин В. Г. Каталог экзопланет // Природа. 2000. №7. С.20–21.

<sup>2</sup> Шнайдер Ж. // <http://www.obspm.fr/planets>

**Дополнение к каталогу внесолнечных планетных систем (по состоянию на 31 августа 2000 г.)**

Номер по каталогу или название	Звезда		Планета			
	расстояние (пк)	спектр. класс	масса ( $M_{\text{Ю}}$ )	бол. полуось (а.е.)	период (сут)	эксцентриситет
HD 16141	36	G5 IV	0.215	0.35	75.82	0.28
HD 168746	43	G5	0.24	0.066	6.409	0.0
HD 46375	33	K1 IV	0.249	0.041	3.024	0.0
HD 108147	39	F8/G0 V	0.34	0.098	10.881	0.558
HD 83443	44	K0 V	0.35	0.038	2.9861	0.08
			0.16	0.174	29.83	0.42
HD 6434	40	G3 VI	0.48	0.15	22.09	0.30
BD 103166	-	G4 V	0.48	0.046	3.487	0.0
ε Eri	3	K2 V	0.8	3.4	2518.0	0.6
HD 38529	42	G4	0.81	0.1293	14.41	0.280
HD 121504	44	G2 V	0.89	0.32	64.6	0.13
HD 52265	28	G0 V	1.13	0.49	118.96	0.29
HD 19994	22	F8 V	2.0	1.3	454	0.2
HD 82943	27	G0	2.24	1.16	442.6	0.61
HD 12661	37	K0	2.83	0.789	264.5	0.33
HD 169830	36	F8 V	2.96	0.823	230.4	0.34
GJ 3021	18	G6 V	3.31	0.49	133.82	0.505
HD 92788	32	G5	3.8	0.94	340	0.36
HD 190228	62	G5 IV	4.99	2.31	1127	0.43
HD 89744	40	F7 V	7.2	0.88	256	0.7

Весной 2000 г. был преодолен важный психологический рубеж: открытие хотя бы небольшого числа «сатурнов» позволяет надеяться, что наблюдаемое изобилие массивных планет связано с недостатками метода, а не с реальным предпочтением, которое Природа оказывает планетам-гигантам.

Во-вторых, в семействе экзопланет появилась вторая подтвержденная многопланетная система. У звезды HD 83443 астрономы Европейской южной обсерватории обнаружили два спутника, один из которых имеет самую низкую массу и самый короткий период среди всех известных внесолнечных планет. К слову сказать, анализ кривых изменения лучевых скоростей звезд с планетами, проведенный планетологами из Калифорнийского университета<sup>3</sup>, показывает, что у половины таких звезд недостаточно одного спутника для объяснения формы кривых, поэтому в будущем, вероятно, число подтвержденных многопланетных систем существенно увеличится.

В-третьих, в новой группе планет присутствует объект с рекордным на сегодняшний день по длительности периодом: планета у звезды  $\epsilon$  Eri совершает полный оборот за семь лет, двигаясь по вытянутой орбите с большой полуосью 3.4 а.е., что близко к большой полуоси орбиты Юпитера (5.2 а.е.). Масса этой планеты также близка к юпитерианской.

**С. Д. З. Вибе,**  
кандидат физико-математических наук  
Москва

## Астрофизика

### Существование «темной» материи подтверждено

Хотя астрономы давно подозревали наличие во Вселенной огромного количества «скрытой» материи, масса которой превышает массу всех звезд и галактик, экспериментально обнаружить ее

не удавалось. Теперь же факт ее существования одновременно подтвердили три группы ученых: сотрудники Лаборатории Белла, работающие во главе с астрофизиком Э.Тайсоном (A. Tyson) на Телескопе им.Бланко Межамериканской обсерватории в Чили; коллектив из парижского Астрономического института во главе с Я.Меллье (Y. Mellier), использующий канадско-французский телескоп на Гавайских о-вах, и британские специалисты, работающие на Канарских о-вах (Испания) с Телескопом им.В.Гершеля.

Все три группы изучают галактики, которые удалены от нас на миллиарды световых лет и земному наблюдателю представляются как тусклые, но правильные эллипсоидальные образования. Если между ними и нами действительно находятся крупные скопления материи, то свет должен отклоняться, слегка искажая очертания их эллипсов, причем соседствующие друг с другом должны «выгибаться» в одну и ту же сторону. Эти оптические искажения вызываются гравитационным линзированием света.

Но чтобы зафиксировать подобный эффект, необходимо отфильтровать значительно более сильное искажение изображений, связанное с несовершенством оптических приборов и воздействием земной атмосферы. Для этого используется свет звезд, которые находятся в нашей Галактике — Млечном Пути — и лежат близко к линии наблюдения далеких галактик. В этих условиях линзирование не влияет на изображение звезд, и вина за любое искажение лежит либо на оптике, либо на атмосфере. Вернув изображению природную четкость и очертания, исследователи могут выявить искажения, связанные с воздействием «темной» материи.

Каждому из коллективов пришлось проанализировать свет тысяч галактик, на что ушли годы. Только после этого стало возможным считать экспериментально доказанным существование «темной» материи, из которой по сути и состоит в основном вся Вселен-

ная. Подобная методика в принципе позволяет изучать инфраструктуру Вселенной — распределение «морщин», «зыби» и «волн» в межгалактическом пространстве, свидетельствующее о процессах роста Вселенной непосредственно после Большого взрыва.

Следуя за первооткрывателями, коллектив девяти американских астрономических учреждений, объединенных проектом «Слоановский цифровой обзор неба», приступил на телескопе Обсерватории Апач-Пойнт к детальному обследованию примерно четверти небесной сферы, чтобы к 2005 г. получить изображение 80 млн галактик.

Science. 2000. V.287. №5460. P.1899 (США).

## Экология

### Брукхейвенский экспериментальный реактор остановлен

Экспериментальный ядерный реактор Брукхейвенской национальной лаборатории на о.Лонг-Айленд в штате Нью-Йорк был введен в строй в 1965 г. 30 лет спустя в местных источниках питьевой воды были обнаружены следы не только опасных для здоровья человека химических веществ, поступивших, вероятно, со свалок, которые остались со времен базирования здесь воинских частей, но и радиоактивные элементы, в частности тритий, выделяющийся из местного хранилища жидких ядерных отходов реактора. Хотя утечка была незначительной и непосредственной угрозы людям не представляла, население взбудоражило то, что сам факт оставался незамеченным в течение десятилетий.

По настоянию общественности установку закрыли в конце 1999 г. Это в свою очередь вызвало протесты физиков, биологов и химиков, чьи работы проводились в Брукхейвенской лаборатории на пучках нейтронов. Отрицая какую-либо опасность, они подчеркивали острую потребность для научной общественности

<sup>3</sup>Fischer D. A. et al. // Материалы направлены в «Astrophysical Journal».

ти в такой экспериментальной базе на Востоке США. В качестве дополнительного аргумента они ссылались на Лос-Аламосскую лабораторию в западной части страны и Окриджскую — в южной. Четыре сотрудника Брукхейвенского коллектива в разное время были удостоены Нобелевской премии. Здесь достигнуты значительные успехи в изучении строения вещества (например, кристаллических структур, керамики, полимеров и плазмы крови).

Первоначально реактор был рассчитан на 25-летний срок службы при мощности 40 МВт. В 1980 г. его мощность была повышена до 60 МВт, но из соображений безопасности снижена до 30 МВт в 1982 г. Серьезные опасения вызвал пожар, охвативший в 1994 г. оболочку мишени из  $^{235}\text{U}$ . В то же время на складах вырос объем слаборадиоактивных отходов (загрязненного стекла), тяжелых металлов, которые вместе с плутонием были обнаружены в водах протекающей поблизости р.Пеконик. Наибольшую обеспокоенность общественности вызвало распространение трития, загрязнение которым вдвое превысило допустимую норму. Группа местных граждан подала в суд на Лабораторию, требуя возмещения убытков в сумме 1 млрд долл. Процесс еще не закончен.

По общему мнению, район Брукхейвена загрязнен радионуклидами значительно слабее, чем территории, примыкающие к заводам по производству атомного оружия в Саванна-Ривере (штат Южная Каролина) и Ханфорде (штат Вашингтон). Но экологическая проблема в районе реактора усугублена тем, что поблизости протекает река, а подземный водоносный слой проходит через плотно заселенную территорию.

Сотрудники Лаборатории и многие «сторонние» специалисты признают серьезную ошибку руководства, которое почти не контактировало с местным населением, не прислушивалось к его мнению и не разъясняло безопасность работ. В то же время те, кто

настаивает на снятии запрета с работы реактора и даже на увеличении его мощности, собрали под своей петицией 18 тыс. подписей.

Технически запуск установки считается возможным лишь в 2002 г. при ассигновании более 10 млн долл. Остановка реактора мотивируется уже не соображениями безопасности, а финансовыми причинами. В Брукхейвене теперь останутся лишь работы, не связанные напрямую с использованием реактора.

В научных кругах этот эпизод рассматривается как указание на необходимость вести своевременную и активную разъяснительную работу с местным населением и его представителями в политических органах.

Science. 2000. V.287. №5457. P.1382 (США).

## Зоология

### Запах врага и запах добычи впиваются «с молоком матери»

Последние слова заглавия не случайно взяты в кавычки — речь пойдет о чешуйчатых пресмыкающихся, детеныши которых не только не питаются материнским молоком, но и вообще не знают своих родителей. Тем не менее только что вылупившаяся на свет крошечная змейка (или ящерица), оказывается, каким-то образом уже «знает», как пахнут ее главные враги, а как — основные объекты ее питания. Поскольку все змеи и многие ящерицы ориентируются в окружающей среде главным образом с помощью обоняния (постоянно высовывая трепещущий раздвоенный язычок), такое врожденное знание становится критически важным для выживания молоди.

Собственно, то, что новорожденные чешуйчатые пресмыкающиеся обладают врожденной способностью различать запахи предпочитаемой добычи и основных врагов, сейчас уже довольно хорошо известно специалистам-герпетологам. Но результаты по-

следних исследований открывают все новые и подчас неожиданные аспекты этого интересного феномена.

Так, американский зоолог У.Купер-младший и его коллеги<sup>1</sup> провели серию опытов с черными полозами *Coluber constrictor*. Новорожденным детенышам, еще ни разу не употреблявшим пищи, предъявляли запахи различных животных и оценивали — по частоте высовываний языка — их реакцию. «Изюминка» эксперимента заключалась в том, что сравнивали реакцию детенышей из двух разных популяций, в каждой из которых полозы имеют свои гастрономические пристрастия. Как и предполагалось, детеныши змей из популяции, в которой основную добычу составляли лягушки, ящерицы, а также другие виды змей, сильнее реагировали на запахи именно этих животных. А детеныши из популяции, кормящейся преимущественно насекомыми, ящерицами, млекопитающими и птицами, отдавали предпочтение животным этих групп.

В экспериментах было показано, насколько тонки механизмы врожденного знания о «нужных» запахах: детенышам предъявляли запах ящерицы каролинского анолиса *Anolis carolinensis* (предпочитаемой добычи взрослых полозов) и запах другого анолиса, не встречающегося в местах обитания полозов; несмотря на близкое родство этих двух видов ящериц, новорожденные змеи хорошо различали их по запаху и с большим интересом реагировали именно на каролинского анолиса. Любопытно также, что детеныши полозов с повышенным вниманием относились к запаху хищной змеи *Lampropeltis triangulum*. Такой интерес объясняется двумя причинами: эта змея — один из основных природных врагов полозов, но с другой стороны, сами полозы нередко поедают детенышей *Lampropeltis triangulum* и, таким образом, могут воспринимать ее

<sup>1</sup>Cooper W.E. jr. et al. // Amphibia—Reptilia. 2000. V.21. №1. P.103—115.

запах и как сигнал опасности, и как след добычи.

Еще более интересный результат получили австралийские ученые Р.Шайн и Ш.Даунс<sup>2</sup>. Опытным путем они выяснили, как условия внешней среды, в которых находятся беременные самки ящериц, влияют на жизненные качества потомства. В одном из опытов самок австралийской живородящей сцинковой ящерицы *Pseudomoia pagenstecheri* содержали при постоянном запахе хищной змеи *Drysdalia coronoides*. По-видимому, непрерывное ощущение опасности, в котором пребывали самки, передалось их потомству: эти детеныши отличались особенно ярко выраженной реакцией на запах змеи. Таким образом, ученым удалось проследить связь внешней среды с врожденной способностью узнавать определенные запахи.

**С. Д. В. Семенов,**

кандидат биологических наук  
Москва

## Охрана природы

### Перепись гризли

Американские и канадские зоологи и экологи давно обеспокоены судьбой бурого медведя гризли (*Ursus arctos*) и серьезно обсуждают вопрос о включении его в список животных Северной Америки, находящийся под угрозой исчезновения.

В 1980 г. на территории Йеллоустонского национального парка (штат Вайоминг, США), несмотря на все предпринятые меры, обитали лишь 44 особи. В 2000 г. их было отмечено 84. Правда, подсчеты делались разными методами: 20 лет назад — по количеству оставленных медведями следов, теперь — с учетом шерсти, скопившейся в специально сконструированных из колючей проволоки ловушках.

Лабораторный анализ ДНК животных, проводимый в настоящее время на образцах шерсти, позволит установить родственные свя-

зи медведей и их численность в популяциях. Эти исследования организовала межведомственная группа по изучению гризли во главе с биологом Ч.Шварцем (Ch.Schwartz). Аналогичная работа проводится и в других местах обитания этих животных: Национальном парке Глейшер (штат Монтана, США) и провинции Альберта (Канада). На перепись медведей ассигнован 1 млн долл. США.

Science. 2000. V.288. №5471. P.1561 (США).

## Геофизика

### Колебания недр Земли и ее атмосферы

Недавно японские геофизики Н.Суда, К.Нава и др. (N.Suda, K.Nava et al.) установили существование волн земной поверхности, охватывающих всю нашу планету в целом. Амплитуды ускорений при этих свободных колебаниях достигают  $0.5 \cdot 10^{-9}$  м/с<sup>2</sup>, причем в полосе частот 3—5 МГц зависимость их интенсивности от частоты практически отсутствует.

Суммарный эффект даже многих слабых землетрясений слишком мал для возбуждения колебаний с такими амплитудами. Более того, спектральный анализ показал, что источники случайных возбудителей должны покрывать поверхность Земли слишком густо — с расстояниями между ними менее 600 км. Возникло подозрение, что свободные колебания такой интенсивности могут генерироваться вариациями атмосферного давления, но пока это было лишь предположением.

Теперь геофизики Н.Нисиды и Н.Кобаяси (N.Nisida, N.Kobayashi) завершили подробный анализ сейсмических записей 1989—1998 гг., сделанных на 17 станциях, которые входят в международное объединение исследовательских сейсмологических учреждений «IRIS» («Incorporated Research Institutions for Seismology»), и на станциях системы «Geoscope». Су-

щественно, что эти станции разбросаны по всем континентам (кроме Антарктиды).

Результаты анализа выявили в свободных сейсмических колебаниях отчетливые годичные вариации с пиком интенсивности в июле—августе. Ученые усматривают в этом наличие резонанса между колебаниями поверхности и свободными акустическими колебаниями атмосферы.

Данная работа еще раз показывает, насколько важно рассматривать Землю как единую систему, включающую не только твердое тело, но и иные ее оболочки.

Science. 2000. V.287. №5461. P.2244 (США).

## Геохимия

### Опал в диатомовых илах Южного океана

На протяжении более 20 лет геохимики не находили объяснения высокому содержанию опала (аморфного водного кремнезема) в донных илах Южного океана. Этот минерал, образующий твердый панцирь планктонных диатомовых водорослей, накапливается на океанском дне по мере их отмирания<sup>1</sup>. Однако достаточно эффективными продуцентами кремния и органического вещества диатомеи геохимикам не представлялись.

Этот парадокс объясняли, с одной стороны, замедленным развитием диатомовых водорослей, с другой — благоприятными условиями накопления опала в водах южной зоны Мирового океана.

Недавние исследования французских геохимиков, выполненные во время рейсов научно-исследовательских судов в южную часть Индийского океана, ставят точку в дискуссии. Новые материалы показывают, что в ранее проведенных исследованиях, носивших локальный характер, содержание опала в илах было завышено, а в поверхностных водах — за-

<sup>2</sup> Shine R., Dawnes Sh. // Oecologia. 1999. Bd.119. №1. S.1—8.

<sup>1</sup> Подробнее см.: Стунжас П.А., Сапожников Ф.В. Эти удивительные диатомеи // Природа. 2000. №5. С.12—18.

нижено. Теперь геохимики установили, что в периоды бурного или эпизодического цветения водорослей биогенная продукция кремнезема в поверхностных водах удваивается или даже утраивается. Эти результаты открывают возможность использовать цикл кремния в океане для понимания его роли как своего рода «насоса» углерода, которая важна при изучении климатов прошлых эпох.

La Recherche. 2000. №333. P.11 (Франция).

## География

### Новый айсберг-гигант начал дрейф

От шельфового ледника Росса откололось гигантское ледяное поле, площадь которого 11,5 тыс. км<sup>2</sup> (что почти равно площади о.Ямайка). Рождение айсберга-гиганта стало сенсацией в кругах полярных исследователей и предметом острых дискуссий.

Снимки айсберга, которые были получены методом дистанционного зондирования сотрудниками Антарктического центра метеорологических исследований при Висконсин-Мэдисонском университете, показывают, что этот айсберг можно считать крупнейшим за всю историю ледовых наблюдений в Антарктике.

На космических снимках от 30 марта 2000 г. обнаружена весьма обширная, все увеличивающаяся зона отрыва айсберга от шельфового ледника, простирающаяся на северо-восток до о.Рузвельта. Специалисты Чикагского университета приступили к моделированию вероятного дрейфа. Высказываются мнения, что айсберг-гигант может перекрыть судоходные трассы, по которым на протяжении уже долгого времени проходят транспортные суда, доставляющие большие объемы грузов полярникам в период антарктического лета.

Geotimes. 2000. V.45. №5. P.11 (США).

## Гляциология

### Толщина арктических льдов сократилась

Д.Ротрок (D.Rothrock) проанализировал изменения толщины льдов в околополюсном районе Северного Ледовитого океана, используя материалы замеров, которые выполнялись с подводных лодок ВМФ США при помощи вертикально направленных сонаров (эти измерения начались в 1958 г. во время трансполярного похода атомной подводной лодки США «Наутилус»). За 40-летний период прослеживается тенденция к сокращению толщины льдов<sup>1</sup>, которая, по-видимому, связана с изменением ветрового режима. С середины 70-х годов в Арктике стали преобладать сильные западные ветры по сравнению с менее сильными, наблюдавшимися здесь на протяжении нескольких предшествующих десятилетий. Ветры вызывают дрейф льдов, а в образующихся полынях происходит интенсивное перемешивание вод.

Сопоставив два периода изменений: 1958–1977 и 1993–1997 гг., Ротрок пришел к заключению, что между этими периодами толщина льдов уменьшилась на 40%.

Geotimes. 2000. V.45. №1. P.8 (США).

## Археология

### Ярмуццы были развитым племенем

Еще в 30-х годах первые еврейские поселенцы на берегах р.Ярмук (притока Иордана) находили при обработке пахотных земель характерные фигурки из обожженной глины. Затем похожие керамические изделия обнаружили вблизи Мегиддо (Северный Израиль) и Библа (Ливан) в слоях, соответствующих появлению здесь древних людей. Все это

<sup>1</sup> См. также: Ледовый покров Арктики сокращается // Природа. 1999. №1. С.114.

указывало на широкое распространение по Ближнему Востоку некоей древнейшей культуры. Однако в 50-х годах при раскопках на месте первых находок археологи не нашли сколько-нибудь значительных зданий и сооружений — лишь большие ямы со следами очагов свидетельствовали о том, что древние ярмуццы жили в округлых землянках. Аналогичная картина наблюдалась и в других местах обитания этого племени.

Однако в 1999 г. группа израильских ученых под руководством Й.Гарфинкеля (I.Garfinkel) и М.Миллера (M.Miller) впервые вскрыла крупные сооружения и мощенную камнем мостовую, принадлежащие ярмуццам. Оказалось, что 8 тыс. лет назад вблизи современного кибуца Шаар-Хаголан существовало значительное по тем временам поселение с тремя крупными каменными зданиями в центре (одно из них площадью ~3200 м<sup>2</sup>) и разбросанными каменными постройками меньших размеров. На этой территории археологи нашли свыше 300 глиняных и резных фигурок с характерными чертами неолитической ярмуцкой культуры. Возможно, на этом месте располагалось центральное поселение этого племени. Так или иначе, представление о ярмуццах как о кочевниках, живших в землянках, придется изменить.

Американский эксперт, палеонтолог Б.Хессе (B.Hesse), определил, что большинство найденных здесь костей принадлежит домашней свинье. Как ни странно, остатков рыбы, несмотря на близость поселений к рекам Ярмук и Иордан, а также Галилейскому морю (Тивериадскому озеру), не обнаружено.

Таким образом, этот регион представляет большой интерес для изучения древнейших культур, на тысячелетия предшествовавших библейским временам. Раскопки продолжаются.

Science. 2000. V.287. №5450. P.35 (США).■

# О художниках, натуралистах и капитанах

Л.И.Москалев,  
кандидат биологических наук  
Институт океанологии им.П.П.Ширшова  
Москва

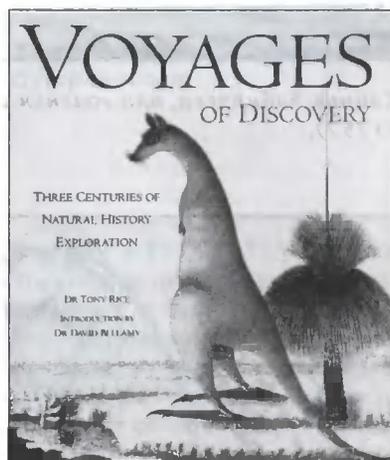
Музей естественной истории в Лондоне — обладатель 68 млн ед. хранения биологических и геологических объектов и 500 тыс. рисунков (акварель, карандаш и пр.), изображающих цветковые растения, птиц, млекопитающих, насекомых и беспозвоночных. В книге, название которой можно перевести как «Путешествия ради открытия», приводится около 300 рисунков (0.06% фонда хранения музея), подавляющее большинство которых малоизвестны. Выполнены они в XVII—XIX вв. За полтора столетия своего существования бурно развивающаяся фотография так и не смогла вытеснить консервативный рисунок, подтвердив незаменимость этого жанра в науке и... в искусстве издания книги.

Надо сказать несколько слов об авторе этой интереснейшей по содержанию и оформлению книги, которая учит нас бережному отношению к истории науки. Тони Райс — биолог старшего поколения, специалист по морским ракообразным и глубоководным животным, знаток истории английского флота, писа-

тель<sup>1</sup>. Он же руководитель группы глубоководной биологии в Институте океанографических наук (Англия), с 1995 г. ставшем частью Океанографического центра в Саутхемптоне. Райс много лет проработал в Музее естественной истории. Одно из его увлечений — написание комментариев к почтовым маркам.

Книга состоит из девяти глав, часть из них посвящена континентальным экспедициям, другие — морским. Каждая глава помимо текста включает большое количество иллюстраций ботанических и зоологических объектов, которые сопровождаются пространными подписями-пояснениями. В число иллюстраций включены портреты, рисунки кораблей, факсимиле рукописей, ландшафтные зарисовки, титульные листы книг и др. Впечатляет формат книги: 27×32 см<sup>2</sup>. На одной странице часто располагается несколько рисунков, но иногда рисунок занимает всю страницу и даже две. Это позволяет рассмотреть детали изображения и воздать должное художникам.

В первой главе рассказывается об исследованиях физи-



## T.Rice. Voyages of Discovery.

Introduction by Dr. David Bellamy. L.; Hong Kong: The Natural History Museum, 2000. 335 pp.

(Т.Райс. Путешествия ради открытия. Предисл. доктора Д.Беллами. Л.; Гонконг: Музей естественной истории, 2000. 335 с.)

<sup>1</sup> Rice T. British Oceanographic Vessels 1800—1950. L., 1986.



Свинья бабирасса, или «оленья свинья» («deer hog», *Babyrousa babyrussa*). Рисунок П.К. де Бевера (1757).



Насекомоядные растения (*Sarracenia purpurea* и *S. flava*). Змея (*Setiroga coccinea*), пожирающая лягушку. Рисунок У.Бертрама.

ка, ботаника и коллекционера Г.Слоана (H.Sloane) на Ямайке в 1687—1689 гг. Воспроизведенные листы гербария и сделанные с них рисунки поражают своей точностью. Названия видов растений на этикетках даны по-латыни, но необычайно многословны — до торжества биномиальной номенклатуры К.Линнея оставалось еще около 65 лет (1753).

Вторая глава посвящена многолетней работе ботаника П.Хермана (P.Hermann), натуралиста-любителя и губернатора Цейлона И.Г.Лотена (J.G.Loten) и художника П.К.де Бевера (P.C.de Bevere) по фауне и флоре Цейлона (Шри-Ланка) и других территорий в 1672—1757 гг. Так во время путешествия в Батавию (Джакарту) был сделан рисунок свиньи бабирассы, которая замечательна тем, что верхние клыки у нее очень длинные, они пронизывают кожу и загибаются назад. В коллекции П.Хермана среди рисунков отдельных видов растений хра-

нится один, на котором изображены разные стадии приготовления из пальмового сока алкогольного напитка, его потребление и последствия алкогольного отравления.

Третья глава повествует о непродолжительной работе в Суринаме (северо-восток Южной Америки) в 1699—1701 гг. Марии Сибиллы Мериан (M.S. Merian), талантливой художницы и натуралиста. Основная тема ее рисунков — растения и насекомые, взаимоотношения между ними, стадии метаморфоза насекомых (гусеницы, коконы, куколки). Среди рисунков позвоночных животных есть и пипа суринамская (лягушка), знаменитая тем, что самки этого вида вынашивают яйца на спине, в расположенных на ней ячейках, откуда и появляются на свет вполне сформировавшиеся молодые животные. Экземпляр пипы и ее потомство послужили моделью для рисунка.

Герой четвертой главы — У.Бертрам (W. Bartram), также натуралист и художник, в 1753—1777 гг. совершил ряд путешествий из родной Филадельфии в другие районы США, по пути зарисовывая растения и животных. Его отец — Дж.Бертрам (J. Bartram), садовод и ботаник-любитель, помогал Б.Франклину основать Американское философское общество в 1743 г. Уже в 14-летнем возрасте У.Бертрам совершил вместе с отцом первую экспедицию в район Нью-Йорка, а затем перенес свои исследования в юго-восточные штаты.

Глава, посвященная континентальным экспедициям, пятая по счету, рассказывает об удивительном мире Амазонии. Читатель узнает об естественном испытателе А.Р.Уоллесе (A.R. Wallace), одном из основоположников зоогеографии, создавшем одновременно с Ч.Дарвином теорию естественного отбора, и об энтомо-

логе и коллекционере Г.У.Бейтсе (H.W. Bates). Их деятельность охватывает период с 1848 по 1862 г. Но Уоллес проработал в Южной Америке лишь четыре года, затем переехал на Малайский архипелаг, а Бейтс за 11 лет работы собрал коллекцию из более чем 8 тыс. животных. Она состояла в основном из насекомых, большинство которых не были известны науке. Приведены также рисунки райских птиц из Новой Гвинеи, изучавшихся А.Р.Уоллесом и изображенных Д.Гульдом (J. Gould), орнитологом, художником и издателем, выпустившим в свет 41 книгу.

Любая английская дальняя морская экспедиция, начиная со второй половины XVIII в., как правило, имела в своем составе натуралиста и художника, ибо стоила Британскому адмиралтейству слишком дорого, чтобы допустить упущения в научных исследованиях. Эта традиция появилась уже во время первого кругосветного плавания Дж.Кука (J. Cook) на корабле «Индевор» в 1768—1771 гг., в котором принимали участие ботаник-любитель, коллекционер, меценат Д.Бэнкс (J. Banks) и группа сопровождавших его людей, в том числе художник С.Паркинсон (S. Parkinson). Он сделал на борту судна около тысячи рисунков растений и 400 — животных, из них лишь четыре — млекопитающих, в том числе кенгуру. На обратном пути в Англию Паркинсон скончался... Сохранился его автопортрет — хрупкий молодой человек с яркокрасными губами, одетый в белоснежную рубашку с жабо и стоячим воротником и коричневый костюм. Так выглядел один из героев этой книги, рядовой труженик науки XVIII в.

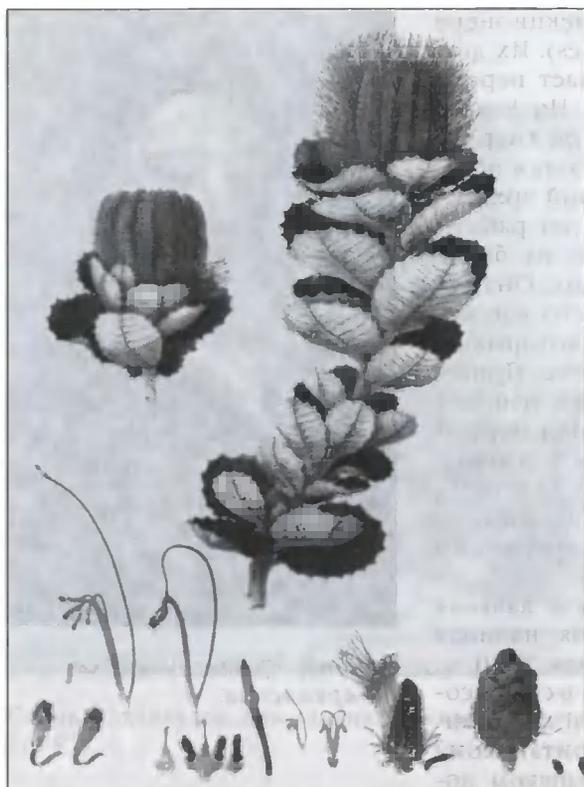
Экспедициям Кука посвящена и следующая глава книги, шестая. В ней говорится о плавании на корабле «Резо-



Автопортрет художника С.Паркинсона.

льшн» в 1772—1775 гг., в котором принимали участие натуралист И.Форстер (J. Forster) и художник Г.Форстер (G. Forster) — отец и сын. За пять лет до того Форстер-старший служил в России, где подготовил для императрицы Екатерины II доклад о немецких поселениях на Волге, вместе с ним был и 11-летний сын. В 1773 г. Кук впервые в истории пересек Южный полярный круг. Тогда среди рисунков юного художника появились изображения снежного буреветника и королевского пингвина. Многие изученные в плавании растения и животные оказались новыми для науки, но описания их, сделанные И.Форстером, были опубликованы только в 1844 г., спустя 46 лет после смерти автора.

Седьмая глава вновь переносит читателя в Тихий океан, но теперь на корабль «Инвестигейтор» капитана М.Флиндерса (M. Flinders) во времена изучения Австралии в 1801—



Представитель флоры Западной Австралии (*Banksia coccinea*). Рисунок Ф.Бауэра.



Лангуст из вод о.Тристан-да-Кунья (*Jasus tristani*). По материалам «Челленджера».

1805 г. В плавании принимали участие ботаник Р.Браун (R.Brown) и художник Ф.Бауэр (F.Bauer), оставивший среди множества великолепных рисунков изображения кенгуру, короткошерстного вомбата, коала и утконоса. После окончания экспедиции Бауэр еще пять лет проработал над иллюстрациями флоры Новой Голландии, как тогда называли шестой континент, исследованный в трех плаваниях Флиндерса и только в 1814 г. получивший по его инициативе название «Австралия».

Тема восьмой главы — всемирно известная экспедиция 1831—1836 г. В ней принимал участие Ч.Дарвин (C.Darwin) на военном парусном корвете «Бигл» под командованием Р.Фицроя (R.Fitz Roy). Все иллюстрации, посвященные ей, напоминают о возникновении дарвинизма и труда «Происхождение видов путем естественного отбора» (1859), опубликованного после окончания плавания. Это ископаемые останки гигантского ленивца милодона и ламаподобного мозолоногого, различные представители фауны Галапагосских о-вов, в том числе вьюрки Дарвина, изученные Д.Гульдом, а также виды других птиц, названные именем Дарвина — танагра Дарвина, нанду Дарвина, ящерица геккон Дарвина. На «Бигле» работали два художника, сменившие один другого — А.Эйрл (A.Earle) и К.Мартенс (C.Martens). Рисунки ландшафтов последнего хорошо известны читателю по русскому изданию книги Дарвина<sup>2</sup>.

Заключительная глава рассказывает о кругосветном плавании на военном корвете «Челленджер» в 1872—1876 г. под командованием Г.С.Нэрса (G.S.Nares). Цель — всестороннее изучение океана. На борту судна находилась научная

<sup>2</sup> Д а р в и н Ч. Путешествие натуралиста вокруг света на корабле «Бигл». М., 1955.

группа во главе с зоологом Ч.У.Томсоном (Ch.W.Thomson), в нее входили еще три зоолога и среди них Дж.Мюррей (J.Murray), химик и художник — Дж.Дж.Уайлд (J.J.Wild). За 1281 день плавания «Челленджер» выполнил 362 станции (так стали называть места работ в океане), провел много глубоководных тралений, а лотовой трубкой поднял 14 видов простейших животных

фораминифер с глубины 7220 м. По материалам экспедиции описано 4 тыс. новых видов, а научное наследие составило 50 толстых томов, включающих 29552 страницы. Это фундаментальное издание называют «священным писанием глубоководной океанографии». На борту имелся фотоаппарат, который использовали при ландшафтных, этнографических и портретных

съемках, но, изображая глубоководных животных, отдавали предпочтение рисунку.

Книга завершается эпилогом, где описаны возможности современной микроскопии и фотографии. Одновременно приводится два современных акварельных наброска лишайников, напоминая еще раз о значении рисунка в современном научном исследовании. ■

### Охрана природы

**А.А.Чибилев.** ЭНЦИКЛОПЕДИЯ: ОРЕНБУРЖЬЕ. Т.1: Природа. Калуга: Золотая аллея, 2000. 192 с.

Книга необычна по своему строению. Это комплексное издание, в котором сочетаются два принципа систематизации материала (тематический и алфавитный), имеется обширное приложение.

Тематический принцип дает возможность свести воедино накопленные знания, алфавитный — обеспечивает простоту и удобство пользования. Приложение содержит ряд первоисточников: труды первооткрывателей и современных исследователей, мемуары государственных и общественных деятелей.

Первоначально предполагалось издать энциклопедию в двух томах, где первый том — емкий и многоплановый очерк по истории края, а второй — перечень ключевых слов (понятий, терминов, названий исторических мест). Перед издателями стояла цель — избежать дублирования общероссийских словарей и энциклопедий.

В итоге первый том разбили на семь частей (самостоятельных разделов): природа, история, экономика, наука и образование, культура, искусство, литература. Вероятно, будет разбит на части и второй (алфавитный) том.

### Энтомология. Охрана природы

**НАСЕКОМЫЕ СИБИРСКИХ ЛЕСОВ. АТЛАС ЦВЕТНЫХ ФОТОГРАФИЙ ДЛЯ СПЕЦИАЛИСТОВ ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА /** Под общ. ред. Д.Л.Гродницкого, Е.Н.Пальниковой. Красноярск: Центр защиты леса, 1999. 96 с.

Слово «насекомое» часто вызывает улыбки. Однако кому довелось видеть нашествия саранчи или лугового мотылька, уничтожающих всходы на полях, тот уже никогда не будет думать о насекомых несерьезно.

Содержание книги составляют справочные сведения об основных видах насекомых-вредителей (боярышнице, рогохвосте, сибирском шелкопряде, тополевой моли, лишайнице, малом сосновом лубоеде и других), живущих на деревьях и кустарниках в Центральной Сибири. Для каждого вида приводится фотография со следами наносимых повреждений, для некоторых — серии фотографий, отражающих ход жизненного цикла.

В книгу также включены кадры, на которых показаны насекомые, не причиняющие вреда, но обитающие совместно с вредоносными либо внешне их напоминающие. Это поможет читателям отличить вредителя от любого другого вида.

На обложке — участок темной хвойной тайги, погибшей от

повреждения сибирским шелкопрядом. Крупным планом показана гусеница шелкопряда, поедая хвою кедра.

### Гидробиология

**СПРАВОЧНИК ПО ХИМИЧЕСКОМУ СОСТАВУ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ СВОЙСТВАМ ВОДОРΟΣЛЕЙ, БЕСПОЗВОНОЧНЫХ И МОРСКИХ МЛЕКОПИТАЮЩИХ /** Под ред. В.П.Быкова. М.: ВНИРО, 1999. 262 с.

Интенсивное развитие океанического рыболовства способствует изучению и освоению новых районов Мирового океана и нетрадиционных видов промыслов.

Существует немало справочников по морским и океаническим рыбам, подготовленных и изданных рыбохозяйственными институтами (ВНИРО, ТИНРО, ПИНРО, АтлантНИРО, ЮгНИРО). Но до сих пор аналогичных обобщений по нерыбным объектам промысла — водорослям, беспозвоночным и морским млекопитающим — не проводилось.

Вышел новый справочник. Тематически он состоит из трех частей: водоросли (макрофиты), морские беспозвоночные и морские млекопитающие. Их описание дается в соответствии с систематикой. Алфавитные указатели названий приводятся на русском и латинском языках. В описании указаны синонимы назва-

ний, районы распространения, размеры, массовый состав, химический состав мяса (содержание жира, белка, минеральных веществ), направления хозяйственного использования, а также рекомендации по обработке.

### Минералогия

МИНЕРАЛЬНОЕ СЫРЬЕ: КРАТКИЙ СПРАВОЧНИК / Под ред. В.П.Орлова; Сост. А.Н.Еремесев, А.Е.Лисицын, П.Е.Остапенко. М.: ЗАО Геоинформмарк, 1999. 309 с.

Первая систематизация минерального сырья проводилась в 1945—1954 гг. В итоге был составлен справочник «Требования промышленности к качеству минерального сырья», в 66 выпусках которого рассматривались 75 видов полезных ископаемых.

На сегодняшний день издание сильно устарело. За прошедшие 40 лет выявлены новые типы полезных ископаемых (уран, скандий, бор, стронций, селен) и месторождений, созданы и усовершенствованы технологии переработки минерального сырья, найдены новые области его применения.

В книге рассмотрены металлические виды минерального сырья (черные, цветные, редкие, благородные, радиоактивные металлы) и неметаллические. Последние включают горно-химическое, горнотехническое, минерально-строительное кристаллическое и камнесамоцветное, топливно-энергетическое, гидроминеральное и синтетическое сырье.

В отличие от предыдущих изданий в справочнике имеются расширенные разделы по промышленной подготовке сырья и его рациональному использованию.

Собраны сведения о влиянии на окружающую среду геологоразведочных работ, добычи и переработки минерального сырья.

### История науки

Дубинин Н.П.: ПРОБЛЕМЫ ГЕНА И ЭВОЛЮЦИИ / Сост. Л.Г.Дубинина; Отв. ред. А.П.Акифьев и И.Ф.Жигулев. М.: Наука, 2000. 546 с. (Избранные труды)

Николай Петрович Дубинин (1907—1998) — выдающийся отечественный биолог XX в. Он посвятил генетике 75 лет своей жизни: занимался эволюционной, радиационной, молекулярной и космической генетикой, цитогенетикой, проблемами наследственности человека. В 1966 г. Дубинин стал лауреатом Ленинской премии за разработку хромосомной теории наследственности и теории мутаций.

К 95-летию со дня рождения ученого готовится четыре тома его избранных трудов, пока что изданы лишь два. В первый вошли биография ученого, материалы, касающиеся его научной и общественной деятельности, теоретические и экспериментальные исследования. Второй том посвящен проблемам радиационного и химического мутагенеза, в частности влиянию ионизирующих излучений на человека. В него также включены фундаментальные статьи по медицинской генетике.

ПРОБЛЕМЫ РЕПРОДУКТИВНОЙ БИОЛОГИИ В ТРУДАХ ПРОФЕССОРА С.И.КУЛАЕВА И ЕГО ПОСЛЕДОВАТЕЛЕЙ / Под ред. В.А.Садовниченко. М.: МГУ, 1998. 349 с.

Книга посвящена 100-летию со дня рождения известного русского эмбриолога, профессора Московского университета Степана Ивановича Кулаева (1896—1944). В нее вошли материалы фундаментальных исследований в области гаметогенеза у самцов костистых рыб и беспозвоночных животных, а также сезонных изменений семенников речного окуня. Главная научная тема ученого — цикломорфоз половых желез.

Представлены работы по современному состоянию проблем биологии размножения, написанные его последователями. В отдельные главы включены воспоминания видных ученых нашей страны о научной, педагогической и организаторской деятельности Кулаева.

Степан Иванович организовывал работу университета в годы войны в эвакуации — в Ашхабаде, затем в Свердловске. В мирное время заведовал кафедрой зоологии и анатомии Института птицеводства в Загорске, работал на Болшевской биологической станции.

Книгу открывает вступление, написанное ректором МГУ, профессором В.А.Садовничим и прочитанное им на расширенном заседании ученого совета биологического факультета, посвященном Кулаеву.

Ф.И.ВОЛЬФСОН: ВОСПОМИНАНИЯ / Сост.: Г.М.Мейтув, А.В.Канцель, И.Ф.Вольфсон. М.: АСТ, 2000. 293 с.

Не каждому, даже очень крупному ученому посчастливилось оставить после себя память в сердцах многочисленных коллег и благодарных учеников.

Таким был Федор Иосифович Вольфсон (1907—1989). Выдающийся ученый, доктор геолого-минералогических наук, профессор, первооткрыватель многих месторождений, он создал свою школу в геологии. Вольфсон — один из основоположников минерально-сырьевой базы цветной металлургии и уранодобывающей промышленности, автор многих книг, педагог.

Книга памяти Федора Иосифовича, куда вошли его собственные записки и воспоминания коллег, задумывалась давно. Инициатором ее издания стал его ученик Григорий Маркович Мейтув, который и собрал воспоминания об учителе. Все горячо откликнулись: в создании книги приняло участие 30 авторов. ■

К сожалению, только после выхода в свет номера «Природы», посвященного И.П.Павлову, Ю.Н.Вавилов (сын Н.И.Вавилова) вспомнил и разыскал в своем архиве письмо отца к его старшему другу П.П.Подъяпольскому\* в Саратов о лекции Павлова, прочитанной в 1922 г. Рукописный текст письма Юрию Николаевичу передала дочь Подъяпольского Елена Петровна, оставив себе машинописную копию с ошибкой в дате написания. В известном издании «Эпистолярного наследия» (Николай Иванович Вавилов. Из эпистолярного наследия 1911—1928 гг. М., 1980. Составитель и автор комментариев В.Д.Есаков) на с.76—77 письмо напечатано по этой копии, но без одного абзаца: включение его тогда могло сорвать все издание. Предлагаем полный текст письма.

Доклад Павлова, о котором идет речь, впервые опубликован в 1975 г. в сборнике «Неопубликованные и малоизвестные материалы И.П.Павлова», как это отмечено В.Д.Есаковым в комментарии к письму. В этой публикации экскурс в политику, выделенный нами курсивом, естественно, тоже отсутствует.

## 12/XI-22, Петроград Морская 44

Дорогой Петр Павлович

Сегодня были на докладе Ив. Петр. Павлова «Общее физиологическое понимание всего поведения животного» в Обществе естествоиспытателей. Доклад был блестящим, и, зная, что Вас больше, чем кого-либо, он поинтересует, пишу Вам об нем. Вся деятельность животного регулируется рефлексамии: условными и безусловными, рефлексамии синтетическими, аналитическими, рефлексамии торможения и индукции. Мозг представляет в обычном виде

деятельности мозаику участков в активном и пассивном (заторможенном) состоянии. Путем развития условных рефлексов (что доказано сотнями опытов) можно определенно активировать и тормозить деятельность разных участков. Гипнотизм сводится к тем же условным рефлексам. В экспериментальной строго расчлененной обстановке с собаками физиолог в сущности проделывает то же, что и гипнолог. Вся психология теряет метафизический облик и становится рефлексологией. Многие еще непоняты, работы хватит на много поколений, но пути постижения найдены. Научились количественно (по учету слюны, активности мускульных движений и т.д.) учитывать реакцию полушарий мозга на внешние факторы.

Вот все в двух словах, что говорилось за два часа.

*В начале была политика. Рефлексы есть и другие, кроме упомянутых. Есть безусловно рефлекс свободы. Это не метафизика, а реальный факт. У собак, у некоторых, он хорошо выражен, сначала его не понимали. Одна собачка никак не поддавалась опытам. В станке она рвалась и металась и никакими угрозами и прикармливанием не удалось ее смирить. Но средство нашлось. Стали регулярно не кормить дня по 1½ собачку, отощала, извелась... И тогда, тогда все наладилось, собачка стала послушной... «Что такое диктатура пролетариата, система террора и насилий — это тоже лишение свободы. И большевики преуспели, так как проделали над страной тот же опыт, что физиолог с собачкой».*

*...Это все было сказано резко, смело.*

\*Подробнее о П.П.Подъяпольском, профессоре гипнологии и гипнотерапии Саратовского государственного университета, см.: Наука против паранауки // Природа. 1987. №7. С.80—99.

Вообще, и сам Иван Петрович, и вся аудитория (председательствовал И.П.Бородин<sup>1</sup>, рядом сидел Карпинский<sup>2</sup>, был весь ученый Петроград) надолго останется в памяти. И.Петр. бодр. Я нередко бывая на разных заседаниях смотрю на него, Карпинского, Бородина и как-то не верится, что это семидесятилетние старцы, да еще в наше время, после 19 и 20 года в Питере. Жив дух, и много еще моральной силы и жизни. Прочитайте в «Наука и ее деяте-

ли»<sup>3</sup> об юбилее Карпинского и Бородина.

Ну, надо за дело. Сижу над курсом «Основы селекции». Хочется, чтоб он был хорошим. Подъитоживаю все, что видел, читал и что сами сделали. Много несовершенного.

Ну, а как курс гипнотизма (или, кажется, правильно гипнологии)? Надо непременно написать и издать.

Слышал от Евг. Серг. Кузнецовой<sup>4</sup>, что Drang nach West<sup>5</sup> продолжается. Двигаются

коренные саратовцы... Как нормад понимаю это движение, но боюсь давать советы.

Привет всем.  
Ваш **Н.Вавилов.**

P.S. Книга Wüning «Die pflanzen im alten Aegypten»<sup>6</sup> есть у проф. Баллода<sup>7</sup> в Саратове.

Публикация **Ю.Н.Вавилова**  
и **М.Е.Раменской** ■

<sup>1</sup> Иван Парфентьевич Бородин (1847—1930), академик, в те годы президент Русского ботанического общества.

<sup>2</sup> Александр Петрович Карпинский (1847—1936), геолог, академик, президент Академии наук с 1917 по 1936 г.

<sup>3</sup> Ферсман А.Е. Два юбилея // Наука и ее работник. 1922. №1. С.3—7.

<sup>4</sup> Евгения Сергеевна Кузнецова — выпускница агрономического факультета Саратовского университета, ученица Н.И.Вавилова.

<sup>5</sup> Drang nach West (движение на запад, нем.) — употреблено автором письма с целью сообщить о массовом переезде саратовцев, как правило в Москву и Петроград, вызванному голодом в Поволжье. Уехали в эти города и большинство детей П.П.Подъяпольского.

<sup>6</sup> Растения Древнего Египта (нем.).

<sup>7</sup> Фран Владимирович Баллод — археолог, с 1916 г. — профессор Саратовского университета.

# ПРИРОДА

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**

Перевод

**П.А.ХОМЯКОВ**

Набор

**Е.Е.ЖУКОВА**

Корректоры

**В.А.ЕРМОЛАЕВА**

**Л.М.ФЕДОРОВА**

Графика, верстка

**Д.А.БРАГИН**

Адрес редакции:

117810, Москва, ГСП-1

Мароновский пер., 26

Тел.: 238-24-56, 238-25-77

Факс: (095) 238-26-33

Подписано в печать 23.10.2000

Формат 60×88 1/8

Бумага типографская №1

Офсетная печать

Усл. печ. л. 10,32

Усл. кр.-отт. 67,8 тыс.

Уч.-изд. л. 15,1

Заказ 4052

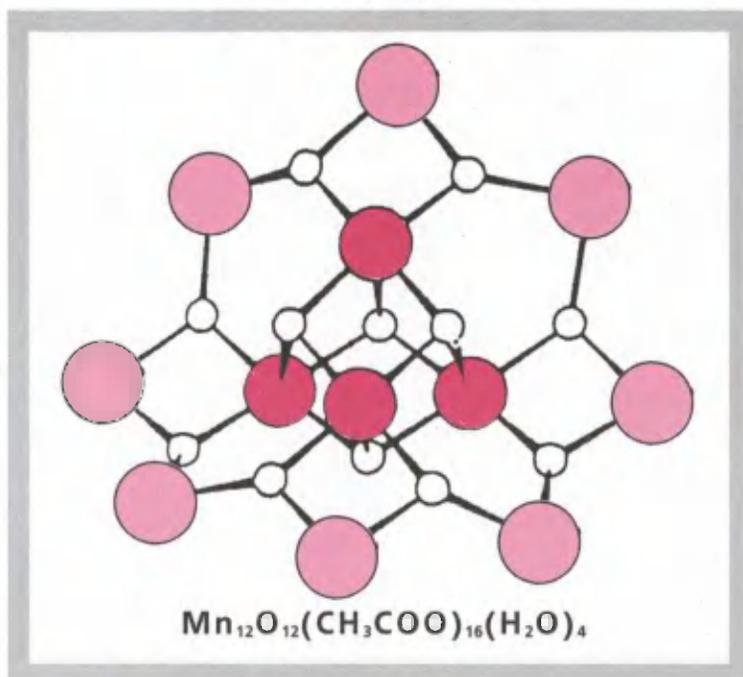
Набрано и сверстано в редакции

Отпечатано в ППП

типографии «Наука»

Академиздатцентра «Наука» РАН,

121099, Москва, Шубинский пер., 6



В последние годы ученые, да уже и технологи, активно внедряются в область, которую принято называть мезоскопией. Изучение частиц, состоящих из небольшого числа атомов (10–10 000), принципиально, так как позволяет проследить переход от микроскопических закономерностей к макроскопическим. Этот трудно уловимый вот уже многие годы «контрапункт» – сочетание в физических объектах микро- и макросвойств – получает, наконец, шанс быть понятым.

Среди исследуемых наночастиц магнитные составляют особый класс благодаря наличию дополнительной степени свободы – магнитного момента. Это не только значительно обогащает список свойств таких нанообъектов, но и позволяет управлять их состоянием с помощью внешнего магнитного поля.

Большой интерес прикован к высокоспиновым металлорганическим молекулам, построенным с участием ионов переходных элементов. Например, молекулярный кристалл, состоящий из кластеров  $\text{Mn}_{12}$ , аналогичен упорядоченному массиву идентичных, очень слабо взаимодействующих однодоменных частиц со спином  $S = 10$ . В этой макроскопической системе, пожалуй, впервые прослежен квантовый характер гистерезиса.

Технологи уже давно и серьезно рассматривают наночастицы как «крупные блоки» для конструирования новых материалов и приборов. Вообще же мезоскопика – богатейший источник идей для новых разработок в электронике, информационных технологиях, микромеханике и биомедицине.

Звездин А.К. МАГНИТНЫЕ МОЛЕКУЛЫ И КВАНТОВАЯ МЕХАНИКА

